

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS  
ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS  
CFAP – CENTRO DE FORMAÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA  
CURSO DE MESTRADO EXECUTIVO EM GESTÃO EMPRESARIAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR  
CARLOS ALEXANDRE MATIAS**

**TÍTULO**  
**CO-EVOLUÇÃO DOS COMPONENTES DO MARCO INSTITUCIONAL  
E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES  
TECNOLÓGICAS NO SETOR DE AGRO-ENERGIA (ETANOL) NO  
BRASIL (1970-2009)**

**PROFESSOR ORIENTADOR**  
**PAULO N. FIGUEIREDO, Ph. D.**

**RIO DE JANEIRO**

**2011**

**CARLOS ALEXANDRE MATIAS**

**CO-EVOLUÇÃO DOS COMPONENTES DO MARCO INSTITUCIONAL  
E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES  
TECNOLÓGICAS NO SETOR DE AGRO-ENERGIA (ETANOL) NO  
BRASIL (1970-2009)**

Dissertação apresentada à Escola Brasileira de Administração  
Pública e de Empresas para obtenção do grau de mestre em gestão  
empresarial.

Área de concentração: Acumulação de Capacidades Tecnológicas  
Inovadoras, Instituições, e Gestão da Inovação Tecnológica

Orientador Acadêmico: Dr. Paulo N. Figueiredo, Ph.D.

**RIO DE JANEIRO**

**2011**

**CARLOS ALEXANDRE MATIAS**

**CO-EVOLUÇÃO DOS COMPONENTES DO MARCO INSTITUCIONAL  
E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES  
TECNOLÓGICAS NO SETOR DE AGRO-ENERGIA (ETANOL) NO  
BRASIL (1970-2009)**

Dissertação apresentada à Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas para  
obtenção do grau de mestre.

E aprovada em 22 de Março de 2011

Pela comissão Examinadora

---

**PAULO N. FIGUEIREDO**

**Ph.D. EM GESTÃO DA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – EBAPE/FGV**

---

**ALVARO BRUNO CYRINO**

**Ph.D. EM ESTRATÉGIA E POLÍTICA DE EMPRESAS – EBAPE/FGV**

---

**JOSÉ VITOR BOMTEMPO MARTINS**

**Ph.D. EM ECONOMIA INDUSTRIAL - IQ/UFRJ**

*Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Lucia e aos meus professores, que tiveram a paciência e a dedicação para ensinar a navegar pelos caminhos da moderna administração e sempre me incentivaram para que eu pudesse superar todos os desafios e conseguisse ir além dos limites do conhecimento.*

## **AGRADECIMENTOS**

---

Eu gostaria de agradecer inicialmente, ao professor Paulo N. Figueiredo, pelo seu constante apoio, orientação, empenho e dedicação em cada momento sempre em busca da qualidade do resultado.

À Fundação Getulio Vargas, especialmente, à EBAPE – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, pela oportunidade e privilégio de poder cursar um dos cursos de mestrados de maior destaque nacional e de grande visibilidade internacional.

Ao professor Saulo Gomes pelas discussões sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol e pela troca de experiências acadêmicas e profissionais ao longo dos últimos anos.

## RESUMO

Esta dissertação centra-se no exame da evolução dos componentes do marco institucional em associação com as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação em setores à base de recursos naturais em economias emergentes. Esse relacionamento é examinado no setor de etanol brasileiro, no período entre 1970 e 2009.

O marco institucional é operacionalizado à base das macro-instituições (os regimes complexos constituídos por políticas públicas), meso-instituições (as relações políticas e estruturas burocráticas) e as instituições baseadas em conhecimento (os institutos de pesquisa e as universidades). As trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas são examinadas à base de níveis de inovação. A dissertação baseia-se em um estudo de caso em nível setorial. Além disso, o estudo baseia-se em evidências obtidas a partir de fontes diversas, em nível de indústria, em documentos governamentais e também em evidências secundárias em nível de empresa.

Os principais resultados desta dissertação são os seguintes:

- (1) O setor de etanol atingiu níveis inovadores de capacidade tecnológica nas duas funções analisadas. Numa escala de 1 a 5, o setor adquiriu, durante o 1º período (1970-1989), capacidades tecnológicas industriais (produto e processo) no Nível 3 e, durante o 2º período (1990-2009), o setor de etanol acumulou capacidades tecnológicas industriais no Nível 5. No tocante à acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola (matéria-prima), durante o 1º período, o setor adquiriu capacidades tecnológicas no Nível 4 e apenas no período seguinte atingiu o Nível 5.
- (2) As instituições desempenharam um papel relevante sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol brasileiro. Entre elas destaca-se às atividades de P&D desenvolvidas em instituições baseadas em conhecimento, que acumularam capacidades tecnológicas de produção e inovação, compartilhadas com as empresas.
- (3) Entretanto, o estudo aponta para algumas vulnerabilidades do setor de etanol brasileiro no que se refere a sua capacidade de sustentar o seu desempenho inovador. Entre elas destaca-se: (1) grande parte das atividades inovadoras em nível de P&D é realizada a base de arranjos externos, com pouco esforço de atividades realizadas a partir das empresas; (2) apesar do enorme esforço governamental para desenvolver o setor, esse está direcionado (locked-in) à trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de etanol de 1ª geração; (3) os componentes do marco institucional incentivaram as atividades de pesquisa em universidades e institutos de pesquisa, em nível de bancada, que resultaram em invenções e projetos experimentais; (4) as condições favoráveis de mercado, a grande disponibilidade de cana-de-açúcar e a flexibilidade de produção de etanol/álcool contribuíram para a acomodação do setor de etanol, ou seja, parece haver uma zona de conforto no setor. Desta forma, as evidências alertam sobre a necessidade de investimentos em atividades inovadoras de P&D dentro das empresas (foco em inovações, riqueza e na diversificação para outros setores).

Portanto, os resultados desta dissertação permitem apontar sugestões para gestores governamentais. As novas políticas públicas podem: (1) redirecionar as estratégias de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, fortemente focadas na sustentação das trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para produzir etanol de 1ª geração; (2) impulsionar a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação na trajetória emergente para produzir etanol de 2ª geração, atualmente em nível experimental e largamente desenvolvida dentro das instituições baseadas em conhecimento, e para diversificar os produtos para novos setores e linhas de negócio.

Os resultados desta dissertação também sugerem aos gestores de empresas no setor brasileiro de etanol: (1) reformular as estratégias empresariais com a finalidade de expandir as atividades inovadoras dentro das empresas do setor de etanol, que poderão resultar na criação de inovações em escala industrial; (2) as empresas do setor de etanol deveriam assumir um comportamento proativo com a finalidade de coordenar os esforços de P&D em direção aos problemas e desafios futuros a serem enfrentados pelo setor brasileiro de etanol.

## ABSTRACT

This dissertation focuses on examining the evolution of the components of the institutional framework in association with the trajectories of technological capabilities accumulation in production and innovation in industries based on natural resources in emerging economies. This relationship is examined in the Brazilian ethanol industry, in the period between 1970 and 2009.

The institutional framework is examined on the basis of macro-institutions (regimes consisting of complex public policies), meso-institutions (the political and bureaucratic structures) and knowledge-based institutions (research institutes and universities). The trajectories of technological capabilities accumulation are assessed based on innovation levels. The dissertation is based on a case study at the sector level. Moreover, the study is based on evidence obtained from various sources, in the industry level, government documents and also draws on secondary evidence at the enterprise level.

The main results of this dissertation are:

- (1) The ethanol industry has reached levels of innovative technological capabilities in two functions. On a scale of 1 to 5, the sector has acquired during the 1<sup>st</sup> period (1970-1989), industrial technological capabilities (product and process) at Level 3 and, during the 2<sup>nd</sup> period (1990-2009), the ethanol industry accumulated industrial technological capabilities at Level 5. Regarding the accumulation of technological capabilities in the agricultural area (raw materials), during the 1st period the sector acquired technological capabilities at Level 4 and only in the following period reached Level 5.
- (2) The institutions have played an important role on the trajectories of technological capabilities accumulation in the Brazilian ethanol industry. Among them, are the R&D activities developed at research based institutions, which have accumulated production and innovation technological capabilities, shared with companies.
- (3) However, the study points to some vulnerability in the Brazilian ethanol industry regarding its ability to sustain their innovation performance. Among them stands out: (1) large proportion of innovative activities at R&D level is carried out based on external arrangements, with little effort from enterprises activities; (2) despite the massive government effort to develop the sector, this is directed (locked-in) to the trajectory of technological capabilities accumulation of 1st generation ethanol; (3) components of the institutional framework encouraged research activities at universities and research institutes, at bench level, which resulted in experimental designs and inventions; (4) the favorable market conditions, the widespread availability of sugar cane and ethanol/sugar production flexibility contributed to accommodate the ethanol sector and there seems to be a comfort zone in the sector. Thus, the evidence warns about the need for investments in innovative R&D activities within companies (focus on innovations, wealth, and diversifying into other sectors).

Therefore, the results of this dissertation may point out suggestions for government officials. The new public policies should: (1) redirect the accumulation strategies of innovative technological capabilities, strongly linked and focused on the support of the trajectories of technological capabilities accumulation to produce ethanol from 1<sup>st</sup> generation; (2) foster the accumulation of production and innovation technological capabilities in the emerging trajectory to produce ethanol from 2<sup>nd</sup> generation, currently at an experimental level and widely developed within the knowledge-based institutions, and to diversify products to new sectors and new business lines.

The results of this dissertation also suggest to the company managers of the Brazilian ethanol industry: (1) reshape the business strategies in order to expand the innovative activities of enterprises within the ethanol industry, which could result in the creation of innovations in industrial scale; (2) companies of the ethanol industry should take a proactive behavior in order to coordinate the R&D efforts towards the problems and future challenges to be faced by the Brazilian ethanol sector.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO .....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE TABELAS .....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XV
CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Apresentação do tema .....	16
1.2. Questões da dissertação .....	21
1.3. Estrutura da dissertação .....	21
CAPÍTULO 2 : RELEVÂNCIA DA DISSERTAÇÃO .....	23
2.1 Revisão de algumas pesquisas sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em economias emergentes .....	23
2.2 Revisão de algumas pesquisas sobre os papéis desempenhados pelas instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas .....	30
2.3 Revisão das principais pesquisas no setor de etanol no Brasil .....	38
CAPÍTULO 3 : MODELO DE ANÁLISE DA DISSERTAÇÃO .....	42
3.1 Trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes .....	42
3.2 Papel dos componentes do marco institucional no processo de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes.....	45
3.3 Operacionalização dos constructos .....	49
3.3.1 <i>Taxonomia para identificação da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação</i> .....	49
3.3.1.1 <i>Níveis de capacidade tecnológica agrícola (matéria-prima)</i> .....	54
3.3.1.2 <i>Níveis de capacidade tecnológica industrial (processo e produto)</i> .....	55
3.3.2 <i>Taxonomia para identificação do papel desempenhado pelos componentes do marco institucional</i> .....	57



3.4	Limitações dessa dissertação .....	58
CAPÍTULO 4 : DESENHO E MÉTODO DA DISSERTAÇÃO.....		60
4.1	Elementos chave do desenho e do método de pesquisa.....	60
4.1.1	<i>Estratégia da dissertação .....</i>	60
4.1.2	<i>Unidade de análise da dissertação.....</i>	61
4.1.3	<i>Combinação de critérios qualitativos e quantitativos .....</i>	61
4.2	Tipos de evidências utilizadas na dissertação .....	61
4.3	Fonte de evidências utilizadas na dissertação .....	62
4.4	Processo de análise das evidências empíricas coletadas.....	64
CAPÍTULO 5 : CONTEXTO EMPÍRICO DA DISSERTAÇÃO .....		67
5.1	Tecnologia para conversão de biocombustíveis .....	67
5.1.1	<i>Principais tecnologias para a produção de biocombustíveis.....</i>	67
5.1.2	<i>Tecnologia para produzir etanol de cana-de-açúcar de 1ª geração.....</i>	72
5.1.3	<i>Tecnologia para produzir etanol de cana-de-açúcar de 2ª geração.....</i>	75
5.2	Maiores empresas produtoras de etanol de 1ª geração no Brasil .....	77
5.3	Evolução da produção de etanol em nível internacional e no Brasil .....	81
5.3.1	<i>Principais países produtores de etanol em nível internacional .....</i>	81
5.3.2	<i>O setor brasileiro de produção de etanol de cana-de-açúcar.....</i>	85
CAPÍTULO 6 : CO-EVOLUÇÃO DO MARCO INSTITUCIONAL E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE ETANOL NO BRASIL DURANTE O REGIME DE INDUSTRIALIZAÇÃO POR SUBSTITUIÇÃO DE IMPORTAÇÕES – 1º PERÍODO (1970-1989) .....		88
6.1	Evolução das instituições no setor de etanol (1970-1989) .....	88
6.1.1	<i>Evolução das macro-instituições e meso-instituições (1970-1989) .....</i>	88
6.1.2	<i>Evolução dos institutos de pesquisa e universidades (1970-1989) .....</i>	96
6.2	Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol (1970-1989) .....	102

6.2.1	<i>Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola (1970-1989).....</i>	102
6.2.2	<i>Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial (1970-1989).....</i>	109
CAPÍTULO 7 : CO-EVOLUÇÃO DO MARCO INSTITUCIONAL E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE ETANOL NO BRASIL DURANTE O REGIME DE ECONOMIA ABERTA – 2º PERÍODO (1990-2009) .....		
7.1	Evolução das instituições no setor de etanol (1990-2009) .....	115
7.1.1	<i>Evolução das macro-instituições e meso-instituições (1990-2009) .....</i>	115
7.1.2	<i>Evolução dos institutos de pesquisa e universidades (1990-2009) .....</i>	125
7.2	Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol (1990-2009) .....	129
7.2.1	<i>Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola (1990-2009).....</i>	129
7.2.2	<i>Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial (1990-2009).....</i>	138
CAPÍTULO 8 : ANÁLISES E DISCUSSÕES .....		
8.1	Síntese da trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol (1970-2009) .....	147
8.2	Síntese do papel desempenhado pelas instituições na trajetória de acumulação tecnológica do setor brasileiro de etanol (1970-2009) .....	153
8.2.1	<i>O papel desempenhado pelas macro-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009)</i>	153
8.2.2	<i>O papel desempenhado pelas meso-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009)</i>	158
8.2.3	<i>O papel desempenhado pelos institutos de pesquisas e pelas universidades sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009) .....</i>	162

CAPÍTULO 9 : CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	168
9.1 Questões examinadas na dissertação .....	168
9.2 Conclusões sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol no Brasil (1970-2009) .....	169
9.3 Conclusões sobre o papel desempenhado pelas instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol no Brasil (1970-2009) ....	172
9.4 Implicações para as políticas públicas e para as estratégias empresariais .....	178
9.5 Implicações para a literatura de acumulação de capacidades tecnológicas .....	181
9.6 Sugestões para futuras pesquisas .....	182
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	184

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 – Trajetória de acumulação de capacidade tecnológica em empresas de países em desenvolvimento (modelo ilustrativo de catching-up e overtaking) .....	44
Figura 3-2 – Representação do modelo de análise aplicado nesta dissertação.....	48
Figura 5-1 – Custo aproximado de produção de etanol de 1ª geração (U\$/litro) .....	69
Figura 5-2 – Rota tecnológica para produção de açúcar e etanol de 1ª geração.....	73
Figura 5-3 – Rota tecnológica para produção de etanol de 2ª geração.....	76
Figura 5-4 – Ranking de produção de etanol de 1ª geração por grupos (Safrá 2007/2008) ..	80
Figura 5-5 – Visão panorâmica da produção mundial de etanol (1975 - 2009) .....	82
Figura 5-6 – Produção de etanol no Brasil e EUA em m <sup>3</sup> (1997 – 2009) .....	83
Figura 5-7 – Evolução da produção brasileira de etanol em m <sup>3</sup> (1970 - 2009).....	86
Figura 6-1 – Evolução da regulamentação do teor de etanol misturado na gasolina entre 1970 e 1989 no Brasil.....	90
Figura 6-2 – Comercialização de automóveis por tipo de combustível entre 1979 e 1989.....	93
Figura 6-3 – Variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo Planalsucar para cultivo aos produtores brasileiros (1977 – 1988).....	104
Figura 6-4 – Variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo IAC para cultivo aos produtores brasileiros (1974 – 1989).....	106
Figura 6-5– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.....	107
Figura 6-6 – Tecnologia tradicional de produção de açúcar e energia excedente: fluxograma para produção de açúcar e bagaço excedente (Antes do Proálcool – antes de 1975).....	109
Figura 6-7 – Tecnologia tradicional de produção de açúcar, etanol e energia excedente: Fluxograma para produção de açúcar, etanol e bagaço excedente (Início do Proálcool - após 1976). .....	110
Figura 6-8 – Tecnologia tradicional de produção de etanol e energia excedente: Fluxograma para produção de etanol e bagaço excedente (Início do Proálcool - após 1979) .....	112
Figura 6-9– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.....	113
Figura 7-1 – Evolução do marco regulatório do teor de etanol misturado na gasolina entre 1990 e 2010 .....	117

### XIII

Figura 7-2 – Comercialização de automóveis por tipo de combustível entre 1990 e 2009. .....	119
Figura 7-3 - Prazo para a eliminação da queima da palha da cana no estado de São Paulo .....	122
Figura 7-4 – Novas variedades de cana-de-açúcar liberadas pela RIDESA entre 1970 e 2010.....	130
Figura 7-5 – Novas variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo IAC entre 1990 e 2010	134
Figura 7-6– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1990 e 2009.....	137
Figura 7-7 – Tecnologia de produção de etanol de 2ª geração: Fluxograma para produção de etanol (Fase experimental).....	143
Figura 7-8– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1990 e 2009.....	146
Figura 8-1 – Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1970 e 2009.....	148
Figura 8-2 – Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 2009.....	150
Figura 8-3 – Representação do impacto das macro-instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009).....	154
Figura 8-4 – Representação do impacto das meso-instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009).....	159
Figura 8-5 – Evolução da moldura institucional e da produção brasileira de etanol em m <sup>3</sup> (1970 - 2009).....	160
Figura 8-6 – Representação do impacto das instituições baseadas em conhecimento na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009) ...	163

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 3-1 – Relacionamento entre os níveis de capacidades tecnológicas e os graus de novidade das inovações no Manual de Oslo (OECD, 1997). .....	51
Tabela 3-2 – Modelo para análise de capacidades tecnológicas no setor de etanol .....	52
Tabela 3-3 – Modelo para identificar o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional. ....	57
Tabela 5-1 – Tipos de biocombustíveis: visão genérica com a tecnologia, matéria-prima e co-produtos. ....	71
Tabela 5-2 – Ranking de produção por grupos (Safra 2007/2008) .....	78
Tabela 5-3 – Evolução da produção mundial de etanol em m <sup>3</sup> (1997 – 2009).....	84
Tabela 5-4 – Evolução da produção brasileira de etanol em m <sup>3</sup> (1970 – 2008).....	85
Tabela 8-1 – Análise sintética dos principais componentes do marco institucional no setor de etanol (1970-2009).....	155

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BP	British Petroleum
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CEPAAL	Coligação das Entidades Produtoras de Açúcar e Alcool
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CTC	Centro de Tecnologia Copersucar
COPERSUCAR	Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases do Efeito Estufa
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IEA	International Energy Agency Bioenergy
MAPA	Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OBM	Original Brand Manufacturer
ODM	Original Design Manufacturer
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSCI	Organização Social Civil de Interesse Público
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PLANALSUCAR	Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
RIDESA	Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro
UNEP-DTIE	United Nations Environment Programme - Division of Technology, Industry, and Economics
UNICA	União da Agroindústria Canavieira de São Paulo
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

## CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO

---

### 1.1. Apresentação do tema

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto de pesquisa intitulado “**Innovation Capability Building, Learning and Institutional Frameworks in Latin America's Natural Resource Processing Industries: Experiences from Argentina, Brazil and Chile**”. Trata-se do projeto de pesquisa no. 105165-001 financiado pelo International Development Research Centre (IDRC) dentro do Programa de Pesquisa em Gestão da Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil da EBAPE/FGV. O projeto examina o processo de inovação em setores industriais à base de recursos naturais no Brasil, Argentina e Chile e o seu desenvolvimento industrial nesses três países.

Nesse contexto, esta dissertação examina o processo de acumulação de capacidades tecnológicas e o papel desempenhado pelas macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisas e universidades ao longo de dois distintos regimes industriais vivenciados pela economia brasileira: o Regime de Industrialização por Substituição das Importações, marcado pela intervenção do governo nos setores da economia brasileira e pelo fortalecimento do mercado interno; e o Regime de Economia Aberta, caracterizado pela redução do papel do governo na economia, na abertura às importações de bens e serviços e na entrada de capital de risco no país. O estudo foi realizado no setor de etanol brasileiro de cana-de-açúcar, durante o período de 1970 a 2009. As empresas desse setor produzem principalmente etanol anidro e hidratado, utilizados como combustível nos automóveis flex-fuel.

A partir da década de 1990, o Brasil vivenciou uma série de mudanças no seu regime industrial, até então voltado para o mercado interno, em direção ao regime voltado para a economia aberta, exposto à globalização. No entanto, o debate sobre os impactos dessas alterações sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras permanece vivo. Até 1970, as questões relacionadas aos diferentes regimes industriais e à acumulação de capacidades tecnológicas em países em desenvolvimento eram explicadas pelos conceitos da teoria da dependência. Desenvolvidas a partir da análise estrutural de Raul Prebisch e colegas, realizada nos anos 1940 e 1950, esta teoria afirmava que apesar de



ter ocorrido um crescimento substancial na produção industrial devido ao Regime de Industrialização por Substituição das Importações, por outro lado, esse não resultou na expansão esperada das atividades inovadoras (Bell, 2006).

No entanto, a partir dos anos 1970, as premissas da teoria da dependência foram desafiadas por um conjunto de estudos empíricos pioneiros, que adotaram uma perspectiva dinâmica sobre a tecnologia nas empresas da América Latina e da Ásia, reduzindo a importância da escolha estática de um determinado conjunto de técnicas (Figueiredo, 2008). Os estudos desenvolvidos na América Latina, liderado por Jorge Katz, em 1975, resultaram em uma enorme quantidade de material empírico e teórico sobre a emergência de atividades tecnológicas criativas nas indústrias em fase de desenvolvimento (Bell, 2006). No entanto, ao longo dos últimos anos estudos empíricos sobre as implicações das reformas estruturais na América Latina, durante a década de 1990, sobre o desenvolvimento industrial tendem a adotar uma visão polarizada desta questão, isto é, o primeiro grupo defende as implicações positivas dessa mudança e o segundo argumenta sobre ineficácia dessas alterações na industrialização de países da América Latina (Figueiredo, 2008).

Nos últimos anos, o debate da literatura sobre acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação esteve tradicionalmente pautado na abordagem direcionada à pesquisa sobre a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas situadas em países em desenvolvimento (Bell e Pavitt 1993; Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Miranda e Figueiredo 2010). Essa linha de pesquisa concentrou-se nos mecanismos de aprendizagem intra e inter organizacionais, utilizados pelas empresas, no contexto de países em desenvolvimento, para acumular um estoque inicial de conhecimento e capacidades tecnológicas de produção e de inovação. No entanto, essa perspectiva teórica destinou pouca importância e até mesmo ignorou a existência das instituições formais e informais, relacionadas ao processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação em indústrias de países em desenvolvimento, como, por exemplo, o Brasil. Apenas alguns autores realizaram estudos sobre a acumulação de capacidades tecnológicas ao longo de regimes industriais distintos como, por exemplo, na indústria química no Brasil (Fonseca, 2008), nas empresas do setor de eletro-eletrônicos, motocicletas e bicicletas, do Pólo Industrial de Manaus (Figueiredo, 2008) e em empresas de celulose e de papel no Brasil (Garcia e Figueiredo, 2009).

Além desse argumento, grande parte dos estudos empíricos sobre a relação entre os fatores institucionais e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas também foi realizada em empresas, localizadas na fronteira tecnológica internacional, dos países economicamente e tecnologicamente desenvolvidos. Murmann (2003) analisou a relação do domínio alemão na indústria de corantes sintéticos, até a Primeira Guerra Mundial, com os sucessos e insucessos obtidos na modificação das leis de patentes, no financiamento da ciência, na criação de conhecimento universitário e nas atividades de lobby tarifários. Nos últimos anos, apenas Evans (1995) realizou um importante estudo sobre a influência governamental na promoção do crescimento da indústria de tecnologia da informação no Brasil, Índia e Coreia.

Nesse contexto, durante as últimas quatro décadas foi possível observar a constituição gradual de uma base institucional sólida no setor de etanol brasileiro, juntamente com a evolução das capacidades tecnológicas e o surgimento de uma trajetória tecnológica nova para o mundo (Dantas e Figueiredo, 2009). Entretanto, a criação de um sistema energético sustentável brasileiro, novo para o mundo, incita uma série de questões, apresentadas na Seção 1.2, quanto à co-evolução entre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e os fatores institucionais da indústria. A busca de respostas para essas perguntas impulsionam o presente estudo a examinar a co-evolução entre os principais elementos do marco institucional e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas percorrida pelo setor de etanol de cana-de-açúcar, no Brasil, durante o período de 1970 a 2009. Esse estudo pretende contribuir com as evidências empíricas de um setor de etanol ainda pouco explorado nesta linha de pesquisa empírica. Desta forma, esse estudo pretende apresentar as evidências empíricas qualitativas e quantitativas, que deram lugar à consolidação do etanol como fonte alternativa e sustentável de energia no Brasil.

Desta forma, em consonância com Dantas e Figueiredo (2009), os próximos capítulos serão estruturados em quatro períodos, que marcaram o desenvolvimento institucional e tecnológico do setor. O primeiro deles, entre 1975 e 1978, engloba o período de estabelecimento do setor e a primeira fase do Programa Nacional do Alcool. O segundo período, correspondente aos anos de 1979 a 1985, é caracterizado pela forte expansão do setor devido principalmente à consolidação do Proálcool. O terceiro período, compreendido entre 1986 e 2002, está representado pelo colapso dos preços do petróleo

em 1986, e seguido posteriormente pela estagnação do Proálcool. Finalmente, o último período de 2003 a 2009, é marcado pelo ressurgimento da produção de etanol no Brasil com a expansão da frota de carros bicomcombustíveis.

Portanto, a perspectiva tecnológica e institucional apresenta-se como uma alternativa complementar para explicar a criação de uma trajetória tecnológica nova para o mundo no setor de etanol brasileiro, contextualizada em uma economia em desenvolvimento. Apesar de a literatura referente à acumulação de capacidades tecnológicas em empresas inseridas em economias emergentes ter evoluído nos últimos anos, ainda são raros os estudos, que examinam o longo do tempo, a dinâmica do processo de acumulação de capacidades tecnológicas em setores como, por exemplo, o setor de etanol no Brasil. Portanto, esta dissertação analisará o tema do relacionamento entre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e os fatores institucionais no setor de etanol brasileiro.

A capacidade tecnológica é o elemento essencial desta dissertação, entendida aqui segundo a definição de Bell e Pavitt (1993): *“As capacidades de produção incorporam os recursos utilizados para produzir bens industriais em determinados níveis de eficiência e combinações de insumos e matérias primas. As capacidades tecnológicas consistem dos recursos necessários para gerar e gerenciar a mudança tecnológica, incluindo habilidades, conhecimentos e experiências, e as estruturas e as relações institucionais”*. Além disso, Figueiredo (2009) expande a literatura de capacidade tecnológica com a seguinte definição: um estoque de recursos à base de conhecimento tecnológico armazenado em pelo menos quatro componentes: (1) sistemas técnico-físicos; (2) tecido e sistemas organizacionais e gerenciais; (3) pessoas ou capital humano (4) produtos e serviços.

O conceito de instituição é outro elemento fundamental para essa dissertação, definido aqui sob a perspectiva de North (1990), ou seja, as regras de um jogo, que são constituídas tanto pelas regras formalmente escritas quanto pelos códigos de conduta implícitos. Nelson e Sampat (2001) associam o termo instituição à tecnologia social, ou seja, a forma como as pessoas inteligentes atuam e interagem. Murmann (2003) complementa o termo instituição nesse estudo com a seguinte definição: ações, regras, estruturas sociais, práticas, idéias e valores, persistentes ao longo do tempo e localizados além da fronteira de uma única organização. Por sua vez, Nelson (2008) define instituição como as estruturas e as forças

que sustentam as tecnologias sociais. Nessa dissertação, será utilizada também a classificação de instituições em três categorias, identificadas por Bell e Figueiredo (2010): (1) As macro-instituições: os regimes complexos constituídos por políticas públicas onde as empresas operam; (2) As meso-instituições: as relações políticas e estruturas burocráticas que sustentam esses regimes. (3) As instituições baseadas em conhecimento: os institutos de pesquisa, as universidades e as organizações interessadas em atividades de educação, treinamento e pesquisa. O foco dessa dissertação está direcionado para as macro e meso instituições, portanto, analisa-se superficialmente as instituições baseadas em pesquisa.

O modelo de análise aplicado nessa dissertação para examinar as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas distingue as atividades para operar tecnologias (capacidades de produção) das atividades para modificar ou criar tecnologias (capacidades de inovação) (Figueiredo, 2009). A análise da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação será realizada por meio dos modelos desenvolvidos em Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010), ou seja, as organizações latecomers se movimentam em novas direções (catch-up) através de uma trajetória de acumulação de capacidades de produção e inovação, até mesmo ultrapassando (overtaking) as empresas precursoras na fronteira tecnológica. Adaptado à terminologia adequada ao setor estudado, o modelo é apresentado em colunas, que correspondem às capacidades tecnológicas na área agrícola e na área industrial. A mensuração é realizada através do tipo de projeto ou atividade que evidencia o nível de capacidade tecnológica, ou seja, o tipo de atividade ou projeto que o setor é capaz de executar. Desta forma, fundamentado nos resultados obtidos por meio da aplicação empírica deste modelo, será possível analisar a existência (ou inexistência) de uma associação entre as instituições e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol. Esta relação está representada na estrutura analítica apresentada na Seção 3.2, que descreve o modelo conceitual aplicado nessa dissertação.

Resumindo, esta dissertação pretende contribuir para o preenchimento desse espaço, por meio da análise entre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e o papel das instituições, ao nível setorial no contexto de economias emergentes. Este relacionamento é analisado por meio de estudo de caso do setor de etanol do Brasil, no período entre 1970 e 2009.

## **1.2. Questões da dissertação**

Esta dissertação tem como objetivo final examinar as seguintes questões:

- (1) Como evoluiu a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol entre os anos de 1970 e 2009?
- (2) Qual foi o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional em nível macro e meso e aqueles à base de conhecimento (institutos de pesquisa e universidades) sobre a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol durante o período acima?

## **1.3. Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em 8 capítulos, além deste Capítulo 1, introdutório.

### Capítulo 2 – Relevância da Dissertação

Este capítulo apresenta os antecedentes deste estudo e as principais motivações que levaram à sua realização.

### Capítulo 3 – Modelo de Análise da Dissertação

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos básicos e estruturas analíticas fundamentais para a análise das evidências empíricas desta dissertação.

### Capítulo 4 – Desenho e Método da Dissertação

Neste capítulo apresentamos os principais componentes do desenho, da estratégia e os métodos utilizados nesta dissertação. Além de apresentar as questões da dissertação, serão detalhados os procedimentos de coleta dos dados e o processo de análise das evidências.

### Capítulo 5 – Contexto Empírico da Dissertação

Este capítulo fornece uma visão panorâmica da indústria de bioenergia mundial e descreve as suas principais trajetórias tecnológicas. Além disso, apresenta a indústria de etanol brasileira, sob a perspectiva da inovação, examinando brevemente as iniciativas e os principais fatores históricos que influenciaram ou restringiram a acumulação das capacidades tecnológicas na indústria.

Capítulo 6 – Co-Evolução do Marco Institucional e das Trajetórias de Acumulação de Capacidades Tecnológicas no Setor de Etanol no Brasil durante o Regime de Industrialização por Substituição de Importações – 1º período (1970-1989)

Este capítulo discorre, embasado no modelo apresentado no Capítulo 3, sobre co-evolução institucional e tecnológica no setor sucroalcooleiro brasileiro durante o regime de industrialização por substituição de importações, entre 1970 e 1989. Primeiro, apresentarei a evolução das macro-instituições e meso-instituições durante o regime de industrialização por substituição de importações. Segundo, introduzirei a evolução na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas e industriais, ocorrida entre 1970 e 1989, no setor de etanol no Brasil.

Capítulo 7 – Co-Evolução do Marco Institucional e das Trajetórias de Acumulação de Capacidades Tecnológicas no Setor de Etanol no Brasil durante o Regime de Economia Aberta – 2º período (1990-2009)

Este capítulo examina, fundamentada no modelo apresentado no Capítulo 3, a co-evolução institucional e tecnológica no setor de etanol brasileiro durante a liberalização econômica e a desregulamentação do setor, entre 1990 e 2009. Primeiro, apresentarei a evolução das macro-instituições e meso-instituições durante o período de liberalização econômica e desregulamentação do setor de etanol. Segundo, introduzirei a evolução na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas e industriais, ocorrida entre 1990 e 2009, no setor de etanol no Brasil.

Capítulo 8 – Análises e Discussões da Co-evolução Institucional e Tecnológica na Indústria de Etanol Brasileira

Este capítulo apresenta uma análise das evidências empíricas apresentadas nos Capítulo 6 e Capítulo 7, buscando examinar o relacionamento entre a co-evolução dos fatores institucionais e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na indústria de etanol brasileira. As evidências empíricas são analisadas por meio do modelo apresentado no Capítulo 3.

Capítulo 9 – Conclusões e Recomendações

O último capítulo apresenta os resultados finais e contribuições desta dissertação. Não obstante, o capítulo também discute as implicações desta dissertação para a indústria de etanol brasileira e apresenta sugestões para futuras dissertações.

## **CAPÍTULO 2 : RELEVÂNCIA DA DISSERTAÇÃO**

---

Este capítulo apresenta alguns dos principais estudos anteriores a esta dissertação e as principais motivações que influenciaram a realização deste estudo. A Seção 2.1 revisa algumas pesquisas envolvendo a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas, no contexto de economias em desenvolvimento. A Seção 2.2 faz uma revisão de algumas pesquisas relacionadas à influência das instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas. A Seção 2.3 revisa algumas pesquisas relacionadas ao setor de biocombustíveis, reforçando a necessidade de pesquisas, em nível setorial, com uma abordagem metodológica similar ao adotado nesse estudo.

### **2.1 Revisão de algumas pesquisas sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em economias emergentes**

Bell e Pavitt (1993) explicitam as diferenças entre a natureza da aprendizagem tecnológica nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nas economias industrializadas, as empresas possuem o conhecimento e habilidades inerentes à atividade criativa. Desta forma, os modelos conceituais utilizados por Leonard (1995), Teece e Pisano (1997), Christensen (1997 e 2003) foram desenvolvidos no contexto das economias industrializadas, onde os usuários de capacidades tecnológicas já possuem o conhecimento, as capacidades e as habilidades inerentes à atividade criativa. No entanto, nos países em desenvolvimento, essas capacidades devem ser adquiridas antes que as empresas possam se beneficiar das possibilidades da difusão tecnológica. As empresas devem adquirir o conhecimento, as habilidades e a experiência indispensáveis à criação de inovações incrementais e radicais.

Hobday (1995) apresenta as vantagens e as desvantagens competitivas enfrentadas pelas empresas latecomers asiáticas ao competirem em mercados mundiais. Hobday (1995) identifica uma trajetória tecnológica, a qual é percorrida pelas empresas asiáticas em três etapas. Primeiramente, as empresas iniciam o processo de acumulação de capacidade tecnológica com a assimilação dos processos de produção, por meio de desenhos de terceiros (OEM). Após essa fase as empresas evoluem as suas capacidades tecnológicas com a incorporação dos seus próprios desenhos de produtos e processos (ODM). Na última

fase, as empresas alcançam a fronteira tecnológica e desenvolvem uma marca própria para seus produtos (OBM).

Kim (1997) descreve o processo da imitação à inovação tecnológica nos setores industriais ao analisar o aprendizado contínuo e descontínuo das empresas coreanas. Kim (1997) identifica três fases (aquisição, assimilação e aperfeiçoamento) na trajetória tecnológica nos países em processo de desenvolvimento. Na fase inicial, os países em desenvolvimento adquirem tecnologias estrangeiras maduras dos países altamente industrializados e passam a desenvolver operações locais de fabricação e montagem a partir de insumos estrangeiros. A assimilação bem sucedida, o aumento das exportações, o desenvolvimento da engenharia e da pesquisa levam ao aperfeiçoamento gradual dessa tecnologia. Nessa perspectiva, as empresas em processo de catching-up invertem o processo de pesquisa, desenvolvimento e engenharia.

O modelo de catching-up de capacidades tecnológicas e mercados, desenvolvido por Lee e Lim (2001), é uma evolução em relação ao modelo analítico descrito em Hobday (1995) e Kim (1997) porque identifica padrões diferenciados na acumulação de capacidades tecnológicas. Lee e Lim (2001) identificam três padrões de trajetórias tecnológicas referentes ao movimento de catching-up em empresas latecomers. Esses apresentam algumas características peculiares, não existentes na trajetória tecnológica padrão (estágio A -> estágio B -> estágio C -> estágio D), percorrida pelas empresas que estão na fronteira tecnológica inovadora. Muitas vezes, as empresas saltam estágios dessa trajetória ou até mesmo criam a sua própria trajetória tecnológica as quais se diferenciam das trajetórias tecnológicas de seus precursores. Lee e Lim (2001) examinam as experiências das empresas na indústria coreana que realizaram o movimento de acumulação tecnológica e em alguns casos conseguiram ultrapassar a fronteira tecnológica.

O primeiro padrão, identificado por Lee e Lim (2001), é o path-following catching-up (acumulação tecnológica por meio de um caminho único: estágio A -> estágio B -> estágio C -> estágio D), ou seja, esse ocorre quando uma empresa latecomer segue a mesma trajetória percorrida por uma empresa precursora. O segundo padrão é o stage-skipping catching-up (acumulação tecnológica por meio de saltos de estágios: estágio A -----> estágio C -> estágio D). Nesse padrão, as empresas latecomers seguem o caminho até certo ponto, mas saltam algum estágio e, portanto, economizam tempo durante o percurso de



acumulação tecnológica. Finalmente, Lee e Lim (2001) apresentam o terceiro e último padrão: o path-creating catching-up (acumulação tecnológica por meio da criação de uma nova trajetória tecnológica: estágio A -> estágio B -> estágio C' -> estágio D'). As empresas, que percorrem essa trajetória, seguem até certo ponto o mesmo caminho, percorrido pelas empresas que estão na fronteira tecnológica, mas em seguida desenvolvem uma nova trajetória tecnológica.

O mérito de Lee e Lim (2001) está sintetizado na identificação de estágios em rotas alternativas referentes aos movimentos de catching-up em empresas coreanas. No entanto, as limitações dos padrões podem ser consolidadas na identificação de apenas alguns estágios diferenciados em relação à rota principal. O estudo de Figueiredo (2010) na indústria de celulose e papel expande a perspectiva de Lee e Lim (2001) com a identificação de um desvio qualitativo nos primeiros estágios da trajetória tecnológica percorrido pelas empresas latecomers. Outra limitação da pesquisa de Lee e Lim (2001) está na qualificação das funções ou atividades tecnológicas desenvolvidas em cada estágio. Os autores Lee e Lim (2001), ao contrário de Ariffin e Figueiredo (2004) e Figueiredo (2009), não distinguem as capacidades tecnológicas em diferentes níveis.

Ariffin e Figueiredo (2004) desenvolvem um modelo para avaliar as capacidades tecnológicas inovadoras na indústria de eletroeletrônicos da Malásia e do Brasil (Manaus). Esse modelo é hierarquizado em níveis de capacidades tecnológicas, caracterizados por funções de níveis básicos (pequenas adaptações e melhorias incrementais de qualidade), intermediários (desenho e engenharia de diversos tipos de produtos e processos) e avançados ou baseados em pesquisa (desenvolvimento de conhecimento para desenhar novos produtos e processos). Os resultados do estudo de Ariffin e Figueiredo (2004) demonstram que as empresas locais e as subsidiárias de empresas estrangeiras, situadas na Malásia e no Brasil, mais especificamente em Manaus, se atualizaram constantemente e também desenvolveram diversos tipos de atividades inovadoras localizados em níveis básicos, intermediários e até mesmo avançados.

Por outro lado, Quadros e Consoni (2009) utilizam um modelo para avaliar a acumulação de capacidades tecnológicas fundamentado no indicador de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) o qual está fortemente relacionado com a atividade de desenvolvimento de produto. Esse modelo exclui uma série de atividades inovadoras

desenvolvidos em níveis mais básicos e intermediários como, por exemplo, no modelo desenvolvido em Ariffin e Figueiredo (2004). O modelo utilizado em Ariffin e Figueiredo (2004) apresenta uma alternativa às medidas de avaliação por meio de estatísticas de patentes, total de recursos humanos e investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Esses indicadores refletem apenas as atividades e as funções tecnológicas enquadradas nos altos níveis do modelo de acumulação de capacidades tecnológicas e, portanto, tendem a excluir a maior parte das atividades tecnológicas existentes em níveis inferiores do modelo de capacidade tecnológica aplicado em Ariffin e Figueiredo (2004).

Além do exposto acima, Figueiredo (2009) chama a atenção, no contexto economias emergentes, para a maior relevância da gestão da capacidade tecnológica a respeito dos componentes recursos humanos e sistemas organizacionais e gerenciais sobre os sistemas técnico-físicos, produtos e serviços. No contexto de economias emergentes, os componentes recursos humanos e sistemas organizacionais e gerenciais têm maior importância em relação aos sistemas técnico-físicos e produtos e serviços. Porém, o autor vai além das perspectivas anteriores (Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001) e distingue as capacidades tecnológicas em diferentes níveis e as qualifica em capacidades de produção (operar e usar tecnologias e sistemas de produção existentes) e em capacidades de inovação (mudar e inovar tecnologias de produção e de produtos existentes).

Além desses, os resultados da pesquisa apresentada em Figueiredo (2010), comparadas à luz do terceiro padrão de trajetória tecnológica descrito em Lee e Lim (2001), indicam que as empresas brasileiras da indústria florestal, polpa e papel realizaram um movimento de "path-creating catch-up". Essas empresas provocaram um desvio qualitativo logo no primeiro estágio de sua trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras. No estágio inicial de desenvolvimento de suas capacidades inovadoras, as empresas do setor de celulose e papel já iniciaram a divergência qualitativa na sua trajetória tecnológica (path-creating catching-up: estágio A -> estágio B -> estágio C' -> estágio D') em relação à trajetória percorrida pelas empresas finlandesas e suecas que estavam na fronteira tecnológica, que trabalham com outros tipos de fibras.

As abordagens de Lee e Lim (2001) e Figueiredo (2010) são similares ao criarem uma rota tecnológica alternativa àquela percorrida pelas empresas nórdicas que estavam na fronteira

tecnológica, mas as mesmas abordagens diferem em relação ao tempo ou momento em que as novas trajetórias iniciam a sua divergência em relação à rota principal. No modelo de Figueiredo (2010), a divergência ocorre no primeiro estágio (A), por outro lado no modelo de Lee e Lim (2001) a divergência de trajetória é iniciada em um estágio mais avançado (C) da trajetória tecnológica.

Além disso, as evidências empíricas em Figueiredo (2010) comprovam o desenvolvimento de atividades inovadoras nas empresas brasileiras de polpa e papel a base de árvores de eucalipto, as quais não haviam sido desenvolvidas previamente por empresas concorrentes dos países nórdicos. Portanto, as empresas brasileiras estavam impossibilitadas de simplesmente copiar e imitar os líderes globais no setor e com isso foram forçadas a desenvolverem tecnologias adequadas à sua realidade operacional. Além disso, o estudo de Figueiredo (2010) caracteriza a fronteira tecnológica não como um ponto final ou um alvo em movimento, mas sim como uma área fluida ou um novo horizonte a ser explorado.

Dantas e Figueiredo (2009) pesquisam a criação do sistema de inovação tecnológico "novo-para-o-mundo", no contexto dos países em desenvolvimento, mais especificamente, o sistema de inovação do setor brasileiro de biocombustíveis e incitam os pesquisadores a realizar novos estudos empíricos a respeito da criação tecnológica dos sistemas de inovação. Os resultados preliminares do estudo realizado por Dantas e Figueiredo (2009) indicam inicialmente a implantação de tecnologias simples, pequenas adaptações incrementais em atividade de engenharia e design, seguidos pela introdução de novas tecnologias baseadas em P&D, dentro da trajetória tecnológica existente de produção de etanol. Por outro lado, de acordo com Dantas e Figueiredo (2009), a tecnologia da indústria de biocombustíveis brasileira está em fase de transição devido à criação de alternativas tecnológicas (produção de biodiesel e pesquisa sobre etanol de segunda e terceira geração), o que possibilitará a exploração de novas inovações tecnológicas nesse setor.

Figueiredo (2008) analisou o impacto das mudanças políticas nos anos 1990 sobre as empresas do setor de eletroeletrônicos, motocicletas e bicicletas, do Pólo Industrial de Manaus, isto é, as evidências apresentadas indicam uma influência positiva na taxa de acumulação de capacidades tecnológicas devido às mudanças institucionais políticas ocorridas após 1990. Fonseca (2008) examinou o desenvolvimento de capacidades

tecnológicas e suas implicações para o aprimoramento de indicadores de desempenho operacional sob diferentes regimes industriais, em nível de empresa da indústria química no Brasil, no período de 1980 a 2007, portanto, o autor apresenta evidências que confirmam a relação mais forte entre capacidades tecnológicas e desempenho da empresa em regimes de economia aberta. Finalmente, Garcia e Figueiredo (2009) realizaram um estudo sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológica em empresas de celulose e de papel no Brasil ao longo de diferentes regimes industriais (1970-2004) e concluíram que as empresas responderam positivamente às mudanças para uma economia aberta, entretanto, os aprimoramentos em seus indicadores de desempenho técnico-econômico não resultaram das mudanças do regime industrial, mas, principalmente, dos seus esforços internos para acumulação de capacidades tecnológicas.

Vedovello (2001) também argumenta que a interação entre empresas e universidades pode influenciar positivamente na melhoria do desempenho competitivo por meio do processo crescente de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras. Para tanto, Vedovello (1997, 2001) apresenta uma taxonomia com a finalidade de analisar a natureza das ligações estabelecidas entre empresas e universidades, ou seja, esses relacionamentos são classificados em três grupos (informais, recursos humanos e formais) de acordo com o grau de comprometimento dos agentes envolvidos. Os resultados do estudo de Vedovello (2001) corroboram a viabilidade da interação entre as empresas, as universidades e os centros de pesquisa por meio do estabelecimento de ligações informais e da absorção de recursos humanos mais qualificados. Entretanto, no que se refere às ligações formais, baseadas em atividades de P&D, as empresas devem agir de forma mais ativa a fim de estabelecer relações mais concretas dessa natureza.

Figueiredo e Vedovello (2004) também analisam as implicações de um conjunto de arranjos institucionais sobre o processo de acumulação de capacidades inovadoras em empresas da indústria eletroeletrônica, bicicletas e motocicletas e seus principais fornecedores. Mais tarde, Figueiredo et al (2005) adicionam evidências à literatura de acumulação de capacidades tecnológicas, isto é, os autores utilizam o modelo de Vedovello (1997, 2001) para analisar a influência dos institutos de pesquisa e tecnologia (na indústria da tecnologia da informação e comunicação no Brasil) sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras. Os resultados da pesquisa de Figueiredo et al (2005) demonstram a acumulação progressiva de capacidades tecnológicas

inovadoras, após as mudanças institucionais em 1990, contrariando a abordagem fundamentada na teoria da dependência.

Por fim, o estudo presente utilizará a definição de trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação desenvolvida por Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010) e Ariffin e Figueiredo (2004). Nessa perspectiva, as empresas latecomers, utilizam um conjunto de rotinas e mecanismos de aprendizagem para incorporar conhecimento e acumular capacidades tecnológicas, inicialmente de produção e posteriormente de inovação. Essas organizações latecomers se movimentam em uma trajetória existente (catch-up) ou em novas direções por meio do processo de acumulação de capacidades de produção e inovação, alcançando e até mesmo ultrapassando (overtaking) as empresas precursoras na fronteira tecnológica. No entanto, esse processo pode ser desencadeado por meio de um desvio qualitativo na trajetória tecnológica do setor, com a movimentação dessas empresas em novas rotas tecnológicas alternativas e descontínuas. Além disso, essa definição está alinhada à realidade das organizações contextualizadas em países em desenvolvimento, como é o caso do setor de etanol no Brasil.

Resumindo, o debate sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação esteve tradicionalmente pautado em estudos empíricos sobre os mecanismos de aprendizagem intra e inter organizacionais, utilizados pelas empresas, no contexto de países em desenvolvimento, para acumular capacidades tecnológicas de produção e de inovação (Figueiredo 2003, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Miranda e Figueiredo 2010). Esses autores pesquisaram os processos de aprendizagem, utilizados na acumulação de um quantum de conhecimento, durante os estágios iniciais da trajetória de acumulação tecnológica, essenciais à realização de atividades inovadoras básicas e intermediárias.

Nessa perspectiva, os processos de aprendizagem organizacionais, a coordenação dos mecanismos de aprendizagem e a integração de novos conhecimentos às rotinas organizacionais se tornaram fatores indispensáveis à acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras. No entanto, essa abordagem teórica destinou pouca importância à existência das instituições formais e informais, relacionadas ao processo de acumulação de capacidades tecnológica em indústrias situadas em países em desenvolvimento. Alguns estudos analisaram o impacto de diferentes regimes industriais sobre a acumulação de

capacidades tecnológicas produtivas e inovadoras (Figueiredo 2008; Fonseca 2008; Garcia e Figueiredo 2009). Nesta direção, torna-se indispensável complementar e combinar a literatura a literatura de acumulação de capacidade tecnológica com a literatura institucional, no contexto de países em desenvolvimento, a fim de compreendermos o desenvolvimento tecnológico no setor de etanol brasileiro.

## **2.2 Revisão de algumas pesquisas sobre os papéis desempenhados pelas instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas**

No início da década de 1980, DiMaggio e Powell (1983) já argumentavam sobre a influência do campo organizacional na homogeneização das organizações, ou seja, esse campo exerce influência nas estruturas organizacionais das empresas. A estruturação de um campo organizacional torna as organizações mais equivalentes do que eficientes. Esse campo organizacional é definido pelas organizações que constituem o ambiente institucional: fornecedores chaves, consumidores de recursos e produtos, agências reguladoras, e outras organizações que produzem serviços e produtos similares, ou seja, todos os atores relevantes. Sob a perspectiva de DiMaggio e Powell (1983), o processo de homogeneização das organizações resulta principalmente das ações do governo e da instituição de profissões padronizadas.

No início da década de 1990, North (1990) caracterizava o termo instituição como qualquer forma de restrição, desenvolvida por humanos, com a finalidade de influenciar a interação humana. Essas instituições são qualificadas em formais (regras desenvolvidas por humanos) e informais (convenções e comportamentos) e, além disso, são criadas e evoluem ao longo do tempo. As restrições institucionais englobam as proibições impostas aos indivíduos e também quais condições alguns indivíduos podem desenvolver certas atividades, ou seja, são as estruturas subjacentes à interação humana. North (1990) estabelece uma analogia do termo instituição com as regras de um jogo esportivo, que são constituídas tanto pelas regras formalmente escritas quanto pelos códigos de conduta implícitos (por exemplo, não machucar um jogador). Essas regras informais sustentam e complementam as regras formais. Nessa perspectiva, as regras esportivas formais e informais influenciam toda a caracterização do jogo.

Sob a perspectiva de Lall (1992), o relacionamento entre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas e a estrutura de incentivos para a produção e o investimento somente se desenvolve em consonância com as condições específicas das instituições de mercado e de não-mercado, portanto, as instituições externas às empresas (instituições industriais, instituições de treinamento e instituições de tecnologia) afetam diretamente as capacidades industriais. Além disso, quando o mercado não cria as instituições necessárias naturalmente, torna-se indispensável a constituições de uma moldura institucional adequada ao desenvolvimento do setor.

Mais tarde, na metade da década de 1990, Evans (1995) realiza uma análise empírica seminal sobre o relacionamento do governo na promoção do crescimento industrial, mais especificamente, no crescimento da indústria de tecnologia da informação, por meio de uma narrativa comparativa entre Brasil, Índia e Coréia, desde os anos 1970 até 1980. Esses governos empreendedores são constituídos de uma burocracia weberiana coerente e autônoma (autonomy). No entanto, esse governo organizado e desenvolvimentista não pode agir isolado da sociedade e está incorporado (embedded) em um conjunto de relações sociais, consolidadas em um canal institucionalizado, responsável pela negociação e renegociação de políticas e objetivos entre o governo e sociedade. Essa combinação, aparentemente contraditória, entre organização estatal e suas respectivas relações com a sociedade estão concretizadas no termo *embedded autonomy*, ou seja, o pilar fundamental para o sucesso do envolvimento entre o governo e a transformação industrial.

“Uma coisa é clara: as variações no estado interno das organizações e nas relações entre Estado e sociedade criam graus distintos de capacidade de desenvolvimento. O desenvolvimento depende do que os estados fazem com os recursos que eles têm, qual papel eles desempenham, e como as suas contrapartes respondem.” (EVANS 1995, p. 73).

Apesar disso, os sucessos e insucessos apresentados nesse estudo não podem simplesmente ser replicados em outras indústrias. Evans (1995) chama a atenção do leitor para a dinâmica temporal da eficácia das estruturas organizacionais dominantes e das funções desempenhadas pelo governo na promoção industrial. Essas estruturas e funções (*embedded autonomy*) devem co-evoluir em sintonia com o desenvolvimento da indústria em questão. “Nevertheless, if state and society are mutually constitutive, having changed

society the developmental state itself must change.” (Evans 1995, p. 230). Essa co-evolução está refletida nas ações do fundador da Hyundai, ícone da transformação industrial estatal, entre 1970 e 1980, quem defendeu ativamente a redução da influência do governo sobre os negócios coreanos, durante as eleições presidenciais de 1992 na Coreia. Evans (1995) incita a necessidade de repensarmos a *embedded autonomy*, pois essas rotinas governamentais não podem ser prescritas ou copiadas de nações bem sucedidas. A construção de um governo empreendedor, criador de bem estar social, está condicionado ao contexto e a realidade de determinada indústria.

Mais tarde, no início da década de 2000, Scott (2001) propõe um modelo analítico institucional embasado na combinação entre as principais correntes contemporâneas do pensamento social, político e econômico. Esse modelo está fundamentado em três elementos básicos: sistemas reguladores (leis, regras formais e informais), sistemas normativos (normas e valores) e sistemas cultural-cognitivos (cultura). Nesse sentido, Scott (2001) define instituição nas seguintes palavras:

“As instituições são estruturas sociais que atingiram um alto grau de resiliência. As instituições são compostas por elementos culturais, cognitivos, normativos e regulamentares, que, juntamente com atividades associadas e recursos, proporcionam estabilidade e significado à vida social. As instituições são transmitidas através de vários canais, incluindo sistemas simbólicos, sistemas relacionais, rotinas e artefatos. Instituições operam em múltiplos níveis de jurisdição, desde o sistema mundial até ao localizado nas relações interpessoais. Instituições conotam estabilidade, mas estão sujeitas aos processos de mudança, tanto incremental quanto descontínua.” (SCOTT, 2001, p. 48).

Nesse mesmo período, apesar das divergências entre as diversas perspectivas Nelson e Sampat (2001) identificam um conjunto de conceitos institucionais universais ao analisarem o papel das instituições e suas mudanças no crescimento econômico de determinada nação. Eles reconhecem a interação multilateral envolvida na operação da maioria das atividades econômicas produtivas. Nessa abordagem, o termo instituição é associado à tecnologia social, ou seja, a forma como as pessoas atuam e interagem, quando a coordenação das interações é a chave para alcançar resultados. No entanto, nem todas as



tecnologias sociais são instituições, portanto, o termo instituição define apenas as tecnologias sociais padronizadas.

“Minha proposta básica é que o conceito de "tecnologias sociais", que complementa as tecnologias "físicas", e das "instituições" como as estruturas e as forças que apóiam e mantenha as tecnologias sociais, juntamente apontam o caminho para um design conciliador.” (NELSON, 2008, p. 10)

O conceito de instituição, formulado em Nelson e Sampat (2001), também corresponde aos "hábitos de ação difundidos" e à "maneira como o jogo é jogado". Nesse sentido, apesar do termo instituição não estar limitado a fatores como "as regras do jogo", "as estruturas governantes" ou "as crenças e normas culturais", é legítimo usar a definição de instituição nesse contexto, contanto que os padrões de comportamento e as estruturas subjacentes estejam interligados. Além de serem influenciadas pelas estruturas governantes e organizacionais, as tecnologias sociais padronizadas também são formadas no contexto amplo do sistema de normas, crenças e regras do jogo, prevalecentes em uma sociedade.

Nelson e Sampat (2001) também utilizam a linguagem de rotinas (Nelson e Winter, 1982) para caracterizar as tecnologias sociais descritas acima. Entretanto, uma das características de uma rotina, utilizada extensivamente em uma economia, refere-se a sua abrangência e difusão da mesma em diversas organizações. Os elementos padronizados dessas rotinas são culturalmente compartilhados. Além disso, rotinas particulares fazem parte de um sistema de rotinas. Isso requer o conhecimento mútuo sobre a sincronização dessas rotinas a fim de coordenar a iteração entre as partes e alcançar objetivos comuns. Portanto, a proposta de Nelson e Sampat (2001) sobre o programa armazenado em uma rotina é composta por dois aspectos: (1) uma receita anônima sobre a divisão do trabalho e (2) uma divisão do trabalho conjugada com um modo de coordenação. O primeiro aspecto está relacionado com o sentido convencional de tecnologia, o qual será chamado de tecnologia física. O segundo aspecto engloba a coordenação da ação humana, a tecnologia social.

Na visão de Nelson e Sampat (2001), a compreensão das tecnologias sociais predominantes é tão importante quanto à compreensão sobre as tecnologias físicas. Por exemplo, no exemplo da produção de um bolo, o açúcar e a farinha são vendidos em um tipo de loja, a qual pode também vender liquidificadores, mas dificilmente venderá fornos.

Esses são encontrados em outro tipo de loja. Com isso, os produtos vendidos por uma loja e a forma como recebemos a comunicação sobre a promoção desses produtos definem o contexto institucional para se fazer um bolo e, portanto, a produção de um bolo requer não apenas o conhecimento da receita, mas também sobre como obter os produtos adequados. Nesse exemplo, as instituições predominantes englobam a coordenação de indivíduos e organizações.

Apesar dos exemplos apresentados acima estarem contextualizados em economias situadas na fronteira tecnológica, Nelson e Sampat (2001) defendem a aplicação desses conceitos na análise do processo de desenvolvimento de países que estão distantes dessa fronteira, ou seja, os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Nessa perspectiva, a importância chave para o desenvolvimento de uma nação está na reformulação das suas instituições (tecnologias sociais), que facilitem a adoção ou criação de tecnologias físicas com o objetivo de acumular capacidades tecnológicas e avançar em direção, alcançar, e até mesmo ultrapassar ou redefinir a fronteira tecnológica de uma nação.

Inspirado nas tecnologias sociais de Nelson e Sampat (2001), Murmann (2003) analisa historicamente, por meio de uma narrativa comparativa, os fatores institucionais responsáveis pela transição na liderança da indústria de corantes entre a Inglaterra, a Alemanha e os Estados Unidos. Murmann (2003) argumenta sobre a relação do domínio alemão na indústria de corantes sintéticos até a Primeira Guerra Mundial com os sucessos e insucessos obtidos nas leis de patentes, no financiamento da ciência e nas atividades de lobby tarifários entre os três países em questão.

O estudo de Murmann (2003) é direcionado à evolução das instituições nacionais as quais são definidas como padrões persistentes de ações ou padrões duradouros de ideias e valores. *"Eu uso o termo para denotar ações, regras, estruturas sociais e práticas, as quais persistem ao longo do tempo e são características de agregados sociais, que estão além da fronteira de uma única organização"* (Murmann, 2003). Uma prática será qualificada como uma instituição somente se existir em várias empresas da indústria de corantes que operam no mesmo ambiente.

Por exemplo, Murmann (2003) argumenta sobre a influência das leis de patentes e das universidades no desenvolvimento tecnológico de determinado país. Naquela época, uma

das principais capacidades tecnológicas inerentes ao desenvolvimento da indústria sintética de corantes está sintetizada no acesso ao conhecimento sobre química orgânica e inovações de corantes nas universidades. Além da transferência de conhecimento sobre corantes sintéticos, essa rede informal serviu como um mecanismo para organizar a ação coletiva para definir e aperfeiçoar leis de patentes e políticas universitárias, viabilizada por meio do fortalecimento significativo de uma rede de atores que abrangiam a indústria, a academia e o governo.

Desta forma, a principal contribuição de Murmann (2003) está consolidada na identificação da influência das empresas na construção do ambiente institucional onde atuam, ou seja, como as ações coletivas dessas empresas moldaram o ambiente social e institucional no qual essas empresas operavam. Murmann (2003) apresenta diversas evidências, que corroboram como a ascensão das grandes empresas gerenciadas exigiu a construção de um regime institucional propício a essas empresas, em detrimento de outras formas de organização. Portanto, as instituições nacionais organizam a coordenação dos esforços humanos e, conseqüentemente, podem influenciar profundamente a transformação tecnológica de uma indústria ou economia de um país.

As empresas alemãs da indústria de corantes sintéticos alcançaram maior sucesso, em relação aos seus concorrentes ingleses e americanos, ao moldarem e aperfeiçoarem os seus ambientes institucionais. A narrativa de Murmann (2003) mostra que a Bayer obteve vantagem econômica porque se tornou uma jogadora chave em atividades de lobby, que favoreceram o desenvolvimento de um ambiente institucional favorável. Os líderes da Bayer assumiram funções importantes na associação comercial da indústria química e participaram na ação coletiva para aperfeiçoar o sistema educacional alemão na disciplina de química. Além disso, também contribuíram para mudar a lei de patente na Alemanha e com isso as grandes empresas desenvolveram vantagens em relação a seus competidores internacionais e pequenas empresas domésticas rivais.

Rodrik et al (2004), argumentam que a acumulação tecnológica e a mudança tecnológica são capazes de explicar, apenas parcialmente, as causas, ou seja, os fatores que influenciam e promovem o crescimento econômico de uma nação. *“Mas por que algumas sociedades conseguem acumular e inovar mais rapidamente do que outras?”* (RODRIK et al, 2004, p. 133). O modelo utilizado para mensurar a qualidade das instituições é um

indicador composto por um conjunto de elementos, representativos do grau de proteção dos direitos autorais e da força da legislação (-2.5 = instituições fracas; +2.5 = instituições fortes). Rodrik et al (2004) utilizam a análise de regressão estatística, por meio de uma equação composta de três variáveis dependentes (instituições, integração comercial e geografia) e uma variável independente (renda per capita de um país), com o intuito de responder as seguintes questões:

“Como grande parte da impressionante variação de rendimentos entre nações em todo o mundo pode ser explicada pela geografia, pela integração e pelas instituições? Será que esses fatores atuam aditivamente, ou eles interagem entre si? São todos igualmente importantes? Será que uma explicação triunfa sobre as demais?” (RODRIK et al, 2004, p. 133)

O estudo de Rodrik et al (2004) apresenta resultados surpreendentes quanto à supremacia da influência institucional, em comparação à geografia e à integração comercial de um país, na renda per capita dos países em questão. “*Mais importante, descobrimos que a qualidade das instituições prevalece sobre todo o resto.*” (RODRIK et al, 2004, p. 135). A magnitude dos resultados é explicitada por meio de uma análise de regressão em dois países africanos: Ilhas Maurício e Nigéria. Os resultados da análise sugerem, por exemplo, que a renda per capita das Ilhas Maurício deveria ser 10.3 vezes maior do que o da Nigéria. Essa superioridade é explicada da seguinte forma: 77% se devem a excelência das instituições, 9% devido à maior integração comercial e 14% devido à melhor localização. Na realidade, a renda per capita das Ilhas Maurício (US\$ 11.400,00) é 14.8 vezes maior do que a da Nigéria (US\$ 770), o que justifica a importância das instituições para o desenvolvimento econômico das nações.

Peng et al (2008) também incitam os leitores sobre a importância e a influência das instituições na estratégia e no desempenho das empresas, em economias em desenvolvimento. Os autores criticam as perspectivas baseadas em indústria e em recursos porque essas posicionam as instituições em segundo plano e ignoram as instituições formais e informais subjacentes. A visão institucional contribui, no contexto de economias emergentes, para expandir a compreensão sobre a disciplina de estratégia em negócios internacionais e também a relação entre as instituições e o desempenho de empresas, indústrias e nações.

"A questão chave para as empresas domésticas e as estrangeiras que operam em países de economia emergentes é a seguinte: como jogar, quando as regras do jogo mudam e não são completamente conhecidas?" (PENG et al, 2008)

Bodas et al (2010) analisam o papel desempenhado pelas instituições globais nos processos nacionais de difusão de tecnologias, mais especificamente o impacto dos mecanismos do Protocolo de Kyoto na difusão de tecnologias referentes às energias renováveis nos países que constituem os BRICS (Brasil, China Índia, Rússia e África do Sul). Os resultados desse estudo mostram que os mecanismos do protocolo de Kyoto sustentam principalmente a disseminação de tecnologias maduras em vez de disseminar novas tecnologias de energias renováveis. Além disso, Bodas et al (2010) indicam que a disseminação de tecnologias renováveis está relacionada aos níveis elevados de educação, aos recursos naturais e às políticas nacionais de desenvolvimento, entretanto, o desenvolvimento econômico e social, as capacidades tecnológicas acumuladas e a internacionalização das empresas incentivam a disseminação de tecnologias de combustíveis fósseis. À luz dessas conclusões, esses autores argumentam sobre a ineficácia dos mecanismos institucionais globais na difusão de novas tecnologias de energias renováveis em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Resumindo, grande parte dos estudos empíricos sobre o relacionamento entre os fatores institucionais e a acumulação de capacidades tecnológicas de indústrias e organizações também foi realizada em empresas, localizadas na fronteira tecnológica internacional, dos países economicamente e tecnologicamente desenvolvidos. Entretanto, Evans (1995) analisou a importância das instituições sobre a acumulação de capacidades tecnológicas nas indústrias localizadas em países em desenvolvimento. Após a realização do estudo de Evans (1995), há uma escassez de pesquisas empíricas no contexto de economias emergentes, portanto, a dissertação corrente apresentará uma análise do papel desempenhado pelas instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação, na indústria de etanol brasileira, no período entre 1970 e 2009. A originalidade dessa dissertação também pretende complementar a literatura institucional empírica, no nível setorial, no contexto de países em desenvolvimento.

## **2.3 Revisão das principais pesquisas no setor de etanol no Brasil**

Belik (1992) realizou um estudo sobre o relacionamento entre a política agroindustrial no Brasil e o desenvolvimento da agroindústria sucroalcooleira, no período entre 1965 e 1985, portanto, o autor argumenta que o desenvolvimento do setor ocorreu devido à conjugação entre a determinação governamental em promover os setores da agroindústria, a organização destes interesses setoriais e o seu relacionamento com as agências governamentais na elaboração de políticas para o setor. Bacha e Shikida (1999) analisam a evolução da agroindústria canavieira do Brasil de 1975 a 1995 (período relacionado à instituição do Proálcool) à luz das ideias neoschumpeterianas e neocorporativistas. Mais tarde, Barros e Moraes (2002) analisam os atores mais importantes e as arenas de decisões envolvidas na desregulamentação do setor de açúcar e álcool do Brasil, utilizando conceitos da Economia Política. Por sua vez, Shikida et al (2004) examinaram o novo paradigma institucionalizado na agroindústria canavieira e as novas formas de gestão e articulação política pós-desregulamentação à luz do referencial teórico do neocorporativismo.

Mariotoni (2004) apresenta o desenvolvimento tecnológico das usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo no período entre 1975 e 1985, utilizando uma abordagem dos fatores genéricos que explicam a formação e consolidação do setor canavieiro em São Paulo. Mais recentemente, Avó (2008) realiza uma pesquisa sobre a estratégia de empresas familiares em setores turbulentos, mais especificamente o ramo sucroalcooleiro brasileiro, no período entre 2003 e 2008. Esse setor, tradicionalmente formado por empresas familiares, é marcado, no período citado, por turbulências devido ao crescimento da demanda e à expectativa de maior crescimento no futuro próximo. Por sua vez, Souza e Hasenclever (2008) apresentam um estudo de caso sobre a importância do processo de padronização para o sistema brasileiro de inovação do etanol. Esse mostra evidências da importância do papel estratégico do governo para aproveitar as oportunidades abertas durante uma mudança paradigmática, iniciada, na visão dos autores, durante a crise energética na década de 1970, quando o governo brasileiro incentivou a criação de políticas para o setor de etanol.

Furtado et al (2008) analisaram os principais aspectos do sistema de inovação brasileiro construído ao redor da indústria da cana-de-açúcar. Os autores afirmam que o sucesso não pode ser entendido apenas como base de uma vantagem comparativa natural, mas como um resultado do acúmulo de esforços, que terminou em uma trajetória positiva da aprendizagem tecnológica, baseando-se, sobretudo, em inovações incrementais. O trabalho é também baseado na abordagem dos sistemas nacionais de inovação, segundo a qual o desempenho inovador de um determinado país, região ou mesmo de um setor, não pode ser ilustrada apenas pela concentração de esforços e desempenho de empresas isoladas. O estudo conclui sobre a necessidade de intensificar o esforço produtivo e tecnológico para atender às novas perspectivas de expansão da produção de etanol, chamando a atenção para um maior envolvimento dos agentes públicos a fim de financiar e coordenar os esforços de inovação para o setor. Rosário e Fonseca (2008) também apresentaram um estudo sobre as modificações na estrutura industrial do setor sucroenergético no Brasil a partir de sua desregulamentação em 1990, utilizando o marco analítico do sistema setorial de inovações.

Dantas e Figueiredo (2009) argumentam sobre a recente mudança no foco de análise da pesquisa sobre sistemas de inovação para funções ou processos que devem estar presentes na dinâmica desses sistemas. No entanto, na visão dos autores, até agora, a análise conceitual das funções dinâmicas e os estudos empíricos existentes refletem apenas as realidades dos países desenvolvidos. Os resultados do estudo indicam que a evolução da função de acumulação do conhecimento na formação do sistema brasileiro de inovação de biocombustíveis envolveu inicialmente a implantação de uma tecnologia simples, seguida por mudanças incrementais sobre esta mesma tecnologia e, posteriormente, pela geração de novos conhecimentos dentro da trajetória tecnológica existente. Atualmente, de acordo com os autores, a função de acumulação do conhecimento está passando por uma grande transição, caracterizada pela criação de uma variedade de alternativas tecnológicas e de múltiplas direções na busca de novas trajetórias tecnológicas.

Winter et al (2010) realizam um estudo com a finalidade de mapear as tecnologias brasileiras utilizadas na cadeia produtiva do etanol de cana-de-açúcar por meio da análise das informações obtidas em documentos de patentes. Esses autores utilizam a abordagem de depósitos de pedidos de patentes para analisar a evolução tecnológica do setor de etanol no Brasil. Primeiramente, apresentam uma visão dos pedidos de patentes na trajetória

tecnológica como um todo, desde a etapa inicial do plantio da cana-de-açúcar até produção do etanol. Durante o Proálcool, Winter et al (2010) destacam a elevação do número de pedidos de patentes depositados no Brasil, entretanto, ocorreu a redução e a estabilidade do número de pedidos de patentes após o fim do programa. O ressurgimento do interesse pelo etanol e a introdução dos carros flex-fuel provocaram novamente uma elevação expressiva anual no número de pedidos de patentes depositados no Brasil.

Goldemberg e Guardabassi (2010) exploram o potencial de expansão na produção de etanol de 1ª geração por meio dos ganhos de produtividade em uma mesma área de plantação da cana-de-açúcar e também por meio da expansão para outras áreas geográficas. A produção de 22.5 bilhões de litros de etanol de 1ª geração, produzido a partir da cana-de-açúcar, na safra de 2007/2008, substituiu 1% da gasolina utilizada no mundo. Entretanto, o potencial de expansão na produção de etanol de 1ª geração está longe de ser exaurido, ou seja, os ganhos de produtividade com novas variedades de cana e a expansão geográfica de plantações de cana-de-açúcar podem ainda viabilizar a substituição de 10% da gasolina consumida no mundo, antes mesmo da tecnologia de produção de etanol de 2ª geração tornar-se viável (Goldemberg e Guardabassi, 2010).

Resumindo este capítulo, esta dissertação pretende responder às questões levantadas, por meio da análise do papel desempenhado pelas macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisa e as universidades sobre a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação, em nível setorial, ao longo de regimes industriais distintos vivenciados pela economia brasileira (o Regime de Industrialização por Substituição de Importações e o Regime Liberal). Essa análise será realizada por meio de um modelo analítico sintetizado a partir da combinação entre as literaturas de acumulação de capacidade tecnológica e a institucional. Desta forma, as questões levantadas ao longo deste capítulo podem ser alinhadas da seguinte maneira:

- (1) Como evoluiu a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol entre os anos de 1970 e 2009?
- (2) Qual foi o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional em nível macro e meso e aqueles à base de conhecimento (institutos de pesquisa e universidades) sobre a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol durante o período acima?



Por fim, esta dissertação tem como objetivo contribuir para a elucidação dessas questões e para o preenchimento de uma importante lacuna da literatura de acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de economias em desenvolvimento, ou seja, o estudo complementa a abordagem direcionada à pesquisa fundamentada na abordagem da acumulação de capacidades tecnológicas em empresas situadas em países em desenvolvimento (Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010). Além disso, há uma escassez de estudos que utilizam a combinação entre a abordagem de acumulação de capacidades tecnológicas para atividades de produção e de inovação e a abordagem institucional no setor brasileiro de etanol. Nesta direção, as evidências apresentadas nesse estudo acrescentam ao debate sobre as implicações das mudanças institucionais ocorridas no Brasil, durante o período de transição entre os regimes intervencionista e liberal, incorporando evidências relacionadas ao papel desempenhado pelas macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisa e as universidades sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas.

## **CAPÍTULO 3 : MODELO DE ANÁLISE DA DISSERTAÇÃO**

---

Neste capítulo, são apresentados os modelos analíticos da dissertação à luz dos quais analisaremos a co-evolução entre as instituições e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol. Primeiro, a Seção 3.1 introduz o conceito de trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes. A Seção 3.2 define o conceito do papel desempenhado pelos componentes do marco institucional no processo de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes. Na Seção 3.3 serão operacionalizados os constructos dessa dissertação. Na Seção 3.3.1 é apresentada a taxonomia para identificar a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação. A Seção 3.3.2 mostra a taxonomia para identificação do papel desempenhado pelos componentes do marco institucional. Por fim, a Seção 3.4 apresenta as limitações dessa dissertação.

### **3.1 Trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes**

Nelson e Winter (1982) já utilizavam o termo "rotina" para descrever os padrões comportamentais das empresas. Na teoria econômica evolucionária, essas rotinas assumem a mesma função desempenhada pelos genes na teoria evolucionária das ciências biológicas. Essas são características persistentes nas organizações e determinam o seu comportamento. Além disso, são hereditárias porque as novas organizações criadas a partir das existentes hoje (a construção de uma nova fábrica) podem ser constituídas por muitas das características existentes nas rotinas anteriores. Por fim, essas rotinas são selecionadas de acordo com a superioridade do desempenho de umas sobre as demais.

Além das rotinas utilizadas para descrever o padrão comportamental das empresas, Nelson e Winter (1982) descrevem um segundo grupo de rotinas que determinam o crescimento ou a diminuição periódica no estoque de capacidade das empresas. Nesse grupo, o primeiro mecanismo é utilizado para selecionar as características das empresas mais lucrativas em relação às menos lucrativas, ou seja, está fundamentado no processo da seleção natural. Ainda nesse mesmo grupo, o segundo mecanismo está substanciado nas

rotinas desenvolvidas pelas empresas ao longo do tempo para modificar os diversos aspectos de suas características. Esses processos (rotinas) de mudanças são representados na forma de “buscas”, ou seja, mecanismos utilizados para modificar as rotinas existentes ou até mesmo assimilar novas rotinas, similar ao conceito de mutação incorporado a partir da teoria evolucionária nas ciências biológicas.

Nesse sentido, o termo rotina será utilizado nessa dissertação ora para representar as capacidades tecnológicas incorporadas às empresas (rotina organizacional das empresas) e ora para representar os mecanismos (rotinas) de aprendizagem, indispensáveis para criar, adquirir e modificar essas capacidades tecnológicas e até mesmo incorporar novas capacidades.

Na década seguinte, Bell e Pavitt (1993) complementaram a literatura de capacidades tecnológicas inovadoras com o esclarecimento sobre as diferenças na acumulação de capacidade tecnológica entre indústrias de países industrializados e as indústrias de países contemporâneos, em fase de desenvolvimento. Nos últimos anos, acreditava-se na transformação tecnológica dos países em desenvolvimento por meio da difusão de tecnologias dos países desenvolvidos. Assim, a expansão do investimento em bens de capital impulsionaria o crescimento nas taxas de produtividade do trabalho nas indústrias. No entanto, essa premissa mostrou-se extremamente equivocada e, frequentemente, restringiu o desenvolvimento de muitos países emergentes, ou seja, limitou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras ("catching-up").

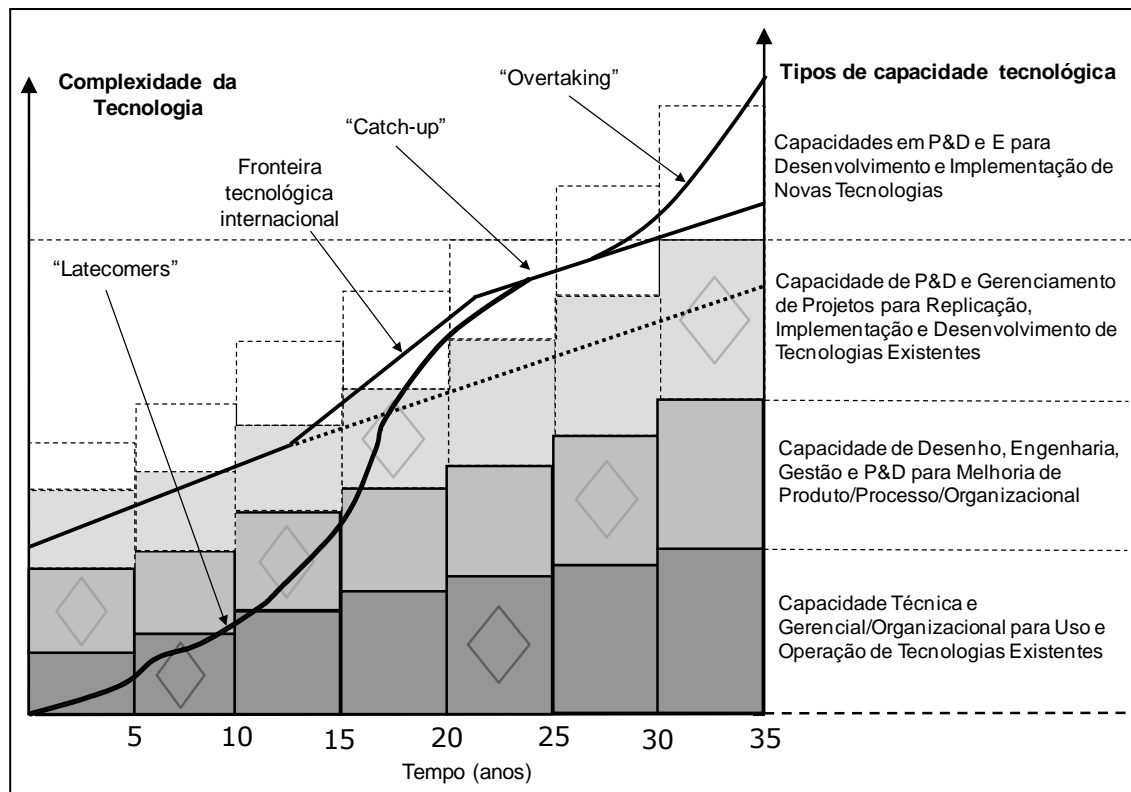
Nessa perspectiva, Bell e Pavitt (1993, p. 159) definem acumulação tecnológica como sendo um estoque de recursos, ou seja, habilidades e conhecimentos constituem a capacidade de um país para gerar e gerir o processo de mudança de suas capacidades tecnológicas. Além disso, Bell e Pavitt (1993) explicitam as diferenças entre dois estoques de capacidades: capacidades de produção e capacidades tecnológicas.

"As capacidades de produção incorporam os recursos utilizados para produzir bens industriais em determinados níveis de eficiência e combinações de insumos e matérias primas: equipamentos, habilidades no trabalho, especificações de produtos e matérias-primas, os métodos organizacionais e os sistemas utilizados. As capacidades tecnológicas

consistem dos recursos necessários para gerar e gerenciar a mudança tecnológica, incluindo habilidades, conhecimentos e experiências, e as estruturas e as relações institucionais" (BELL e PAVITT, 1993, p. 163).

Mais tarde, Figueiredo (2009) expande a literatura de capacidade tecnológica com a seguinte definição: um estoque de recursos à base de conhecimento tecnológico armazenado em pelo menos quatro componentes: (1) sistemas técnico-físicos; (2) tecido e sistemas organizacionais e gerenciais; (3) pessoas ou capital humano (4) produtos e serviços. “A capacidade das empresas para criar, adaptar, gerir e gerar esses quatro componentes e a interação entre eles é denominado capacidade tecnológica” (FIGUEIREDO, 2009, p. 23). Inspirado na definição de Bell e Pavitt (1993), Figueiredo (2009) distingue as atividades para operar (ou usar) tecnologias e sistemas de produção existentes (capacidades de produção ou operação) das atividades para modificar de tecnologias e sistemas de produção existentes ou criar novas tecnologias e novos sistemas de produção de bens e serviços (capacidades de inovação).

**Figura 3-1 – Trajetória de acumulação de capacidade tecnológica em empresas de países em desenvolvimento (modelo ilustrativo de catching-up e overtaking)**



Fonte: (Figueiredo 2009, p53).

Nessa dissertação aplicarei o conceito de capacidades tecnológicas desenvolvido por Nelson e Winter (1982), Bell e Pavitt (1993) e Figueiredo (2009). Essa definição de capacidade tecnológica é abrangente o bastante para descrever a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em indústrias e organizações. Não menos importante, essa definição está contextualizada na realidade das organizações que operam em países em desenvolvimento, como é o caso do setor de etanol no Brasil.

Finalmente, o processo de acumulação de capacidades tecnológicas não pode ser representado por meio de uma analogia a uma corrida em uma trajetória tecnológica única. Inicialmente as empresas adquirem capacidades tecnológicas para operar e usar tecnologias existentes e posteriormente adquirem capacidades mais inovadoras. Essa característica é evidenciada na Figura 3-1, ou seja, as empresas realizam movimentos em novas direções (catching-up) e conseqüentemente ultrapassam (overtaking) as empresas que já estão na fronteira tecnológica, de acordo com a perspectiva de Figueiredo (2009). Além disso, as empresas podem também desencadear um desvio qualitativo na trajetória tecnológica do setor por meio de tecnologias radicais, ou seja, essas empresas se movimentam em novas rotas tecnológicas alternativas e descontínuas quando comparadas às rotas percorridas pelas empresas precursoras.

### **3.2 Papel dos componentes do marco institucional no processo de acumulação de capacidade tecnológica industrial em economias emergentes**

A perspectiva institucional pode ajudar as empresas, situadas em países em desenvolvimento, a aumentar sua competitividade e também a obter vantagens comparativas (Peng et al, 2008). Nesse contexto, a evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas está relacionada às condições impostas pelas forças institucionais em certas indústrias. No entanto, as organizações também exercem influência sobre o contexto institucional de seus setores. Nessa perspectiva, o processo de inovação é influenciado pela co-evolução entre instituições e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas. Portanto, a variedade das rotas tecnológicas exploradas pelas organizações de determinado setor depende das instituições existentes em um dado

período. Esse aparato institucional muitas vezes pode representar a diferença entre a vida e a morte das organizações.

Desta forma, o estudo presente utilizará a definição de instituição emprestada de North (1990), ou seja, as regras de um jogo, que são constituídas tanto pelas regras formalmente escritas quanto pelos códigos de conduta implícitos (por exemplo, não machucar um jogador). Nessa perspectiva, as regras formais e informais são criadas e evoluem ao longo do tempo, influenciando a caracterização do jogo. Lall (1992) classifica as instituições externas às empresas em três grupos: instituições industriais, instituições de treinamento e instituições de tecnologia. Nelson e Sampat (2001) associam o termo instituição à tecnologia social, ou seja, a forma como as pessoas racionais atuam e interagem. Mais tarde, essa será complementada por Nelson (2008) que define instituição como as estruturas e as forças que sustentam as tecnologias sociais.

Além disso, o termo instituição referenciado nessa dissertação está em sintonia com os mecanismos descritos por Evans (1995), que sintetiza um conjunto de padrões de relacionamento entre o governo e as empresas ao classificar as funções desempenhadas pelos governos na transformação de suas respectivas indústrias. Finalmente, Murmann (2003) também será convidado a complementar o termo instituição nesse estudo com a seguinte definição: ações, regras, estruturas sociais, práticas, idéias e valores, persistentes ao longo do tempo e disseminados além da fronteira de uma única organização. Entre as instituições analisadas no estudo de Murmann (2003) destacam-se as universidades, ou seja, organizações de ensino que compartilham um dos principais recursos tecnológicos inerentes ao desenvolvimento industrial: o acesso ao conhecimento técnico e científico.

Desta forma, essa dissertação está preocupada em analisar o relacionamento entre os componentes do marco institucional e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para atividades de produção e de inovação no setor de etanol brasileiro. Nesse contexto, essa dissertação reconhece a importância dos mecanismos de aprendizagem para o processo de acumulação de capacidades tecnológicas (Figueiredo 2003, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004), porém, a análise de outros fatores além desses, como por exemplo, o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas, complementa a compreensão sobre a evolução tecnológica no setor de etanol brasileiro.

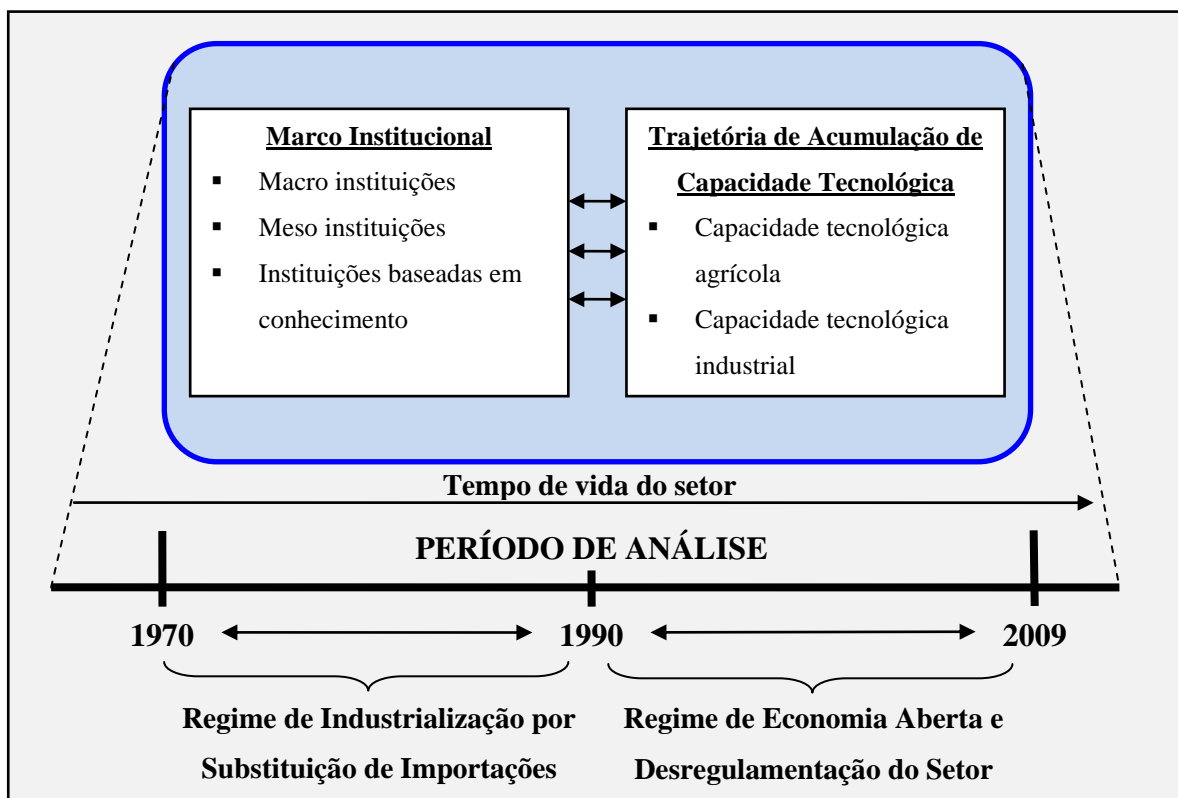
Nesses estudos empíricos (Figueiredo 2003, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004), os autores destinaram pouca importância e até mesmo ignoraram a existência das instituições formais e informais no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação. Por exemplo, o estudo empírico de Figueiredo (2008) mostra a influência positiva na taxa de acumulação de capacidades tecnológicas devido às mudanças políticas institucionais deliberadas após 1990. Garcia e Figueiredo (2009) examinaram o processo de acumulação de capacidades tecnológica em empresas de celulose e de papel no Brasil ao longo de diferentes regimes industriais. Fonseca (2008) analisou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas e suas implicações para o desempenho operacional sob diferentes regimes industriais, em nível de empresa, na indústria química no Brasil.

Portanto, é indispensável combinar e complementar a literatura de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação, com a literatura institucional no contexto de países em desenvolvimento a fim de compreendermos o desenvolvimento tecnológico no setor de etanol brasileiro. Nos últimos anos, a importância institucional para o crescimento e transformação industrial de países retornou ao debate central em pesquisas realizadas no contexto de países desenvolvidos (Murmann 2003 e Rodrik 2004). Nesse sentido, a questão institucional tem sido pesquisada principalmente através das lentes dos economistas que estavam preocupados principalmente com as diferenças entre o desempenho econômico de países distintos e, portanto, há raros estudos direcionados à análise do relacionamento entre as instituições e a transformação tecnológica de setores.

Além disso, há uma escassez de estudos realizados em países em desenvolvimento como, por exemplo, o Brasil. Sabe-se muito pouco sobre as relações e a influência exercida entre os diversos mecanismos institucionais e a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no contexto de economias em desenvolvimento. Nesse sentido, Evans (1995) analisou há 15 anos os mecanismos, e a transformação desses ao longo do tempo, utilizados pelo governo para promover o crescimento da indústria de tecnologia da informação no Brasil, entre 1970 até 1980. Desde então, poucos estudos dedicaram esforços na compreensão entre o marco institucional e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação em outros setores brasileiros.

Portanto, a perspectiva institucional (DiMaggio e Powel 1983; Lall 1992; Evans 1995; Scott 2001; Nelson e Sampat 2001; Murmann 2003; Nelson 2008; Peng et al 2008) complementa essa dissertação com a finalidade de analisar a co-evolução institucional, tecnológica e o desempenho de indústrias localizadas em países desenvolvidos e em desenvolvimento (Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Dantas e Figueiredo 2009). Aparentemente, uma das principais causas da escassez desse tipo de pesquisa deve-se ao fato de ainda não possuímos uma definição coerente e representativa sobre o termo instituição (Bell e Figueiredo, 2010). Bell e Figueiredo (2010) classificam as instituições em três categorias: macro-instituições (os regimes complexos constituídos por políticas públicas), meso-instituições (as relações políticas e estruturas burocráticas) e as instituições baseadas em conhecimento (os institutos de pesquisa e as universidades). Nesse sentido, a dissertação, sustentada pela combinação das perspectivas expostas acima e no modelo apresentado na Figura 3-2, analisará o relacionamento entre o marco institucional e a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol, entre os anos de 1970 e 2009.

**Figura 3-2 – Representação do modelo de análise aplicado nesta dissertação.**



*Fonte:* Elaborado nesta dissertação com base em Figueiredo (2001).



Nesse contexto, a Figura 3-2 apresenta uma visão geral das relações analisadas nessa dissertação. O retângulo oval azul representa a influência das instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica ao longo dos diferentes regimes industriais existentes no período analisado (1970-2009). Portanto, o foco de análise dessa dissertação está direcionado para o exame da co-evolução entre as instituições (macro instituições, meso instituições e as instituições baseadas em conhecimento) e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas agrícola e industrial para atividades de produção e de inovação, no setor brasileiro de etanol. As linhas tracejadas limitam o tempo de vida do setor enquanto os marcos verticais delimitam, no eixo principal, o período de análise dessa dissertação.

### **3.3 Operacionalização dos constructos**

#### ***3.3.1 Taxonomia para identificação da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação***

Essa dissertação utilizará um modelo fundamentado em Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010), Ariffin e Figueiredo (2004), Miranda e Figueiredo (2010) para identificar, qualificar e classificar as capacidades tecnológicas de produção e de inovação na indústria de etanol brasileira. O modelo de referência está estruturado em diferentes tipos (produção e inovação) e níveis (1 a 5) de capacidades tecnológicas. Portanto, as capacidades tecnológicas de inovação estão classificadas em cinco níveis: Nível 1 (Produção), Nível 2 (Inovador Básico), Nível 3 (Inovador Intermediário), Nível 4 (Inovador Avançado) e Nível 5 (Inovador Global).

A taxonomia do modelo também está fundamentada na pesquisa de Bell e Pavitt (1993), Hobday (1995) e Kim (1997), que desenvolveram modelos estruturados em estágios para mensurar a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação. Além disso, esse modelo continua sendo aprimorado e validado em pesquisas empíricas sobre a acumulação de capacidades tecnológica e mecanismos de aprendizagem em empresas contextualizadas em economias em desenvolvimento (Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010, Ariffin e Figueiredo 2004, Miranda e Figueiredo 2010).

Nessa perspectiva, a Tabela 3-1 mostra uma taxonomia hierarquizada em níveis de capacidades tecnológicas, constituída por funções enquadradas em níveis básico, intermediário, avançado e global. Bell e Pavitt (1993) diferenciam as capacidades de usar e operar tecnologias existentes e as capacidades para alterar e criar tecnologias. O modelo também introduz as diferenças entre as capacidades de produção, relacionadas à operação de tecnologias, e as capacidades dinâmicas de inovação, mais avançadas, que envolvem maior complexidade e são indispensáveis ao processo inovador. O primeiro conjunto de capacidades compreende as "capacidades de produção" e o segundo engloba as "capacidades de inovação". Essas são definidas da seguinte maneira:

- **Capacidades de produção:** Capacidade tecnológica para utilizar e explorar as tecnologias e os sistemas de produções existentes, de acordo com especificações adquiridas de terceiros.
- **Capacidades de inovação:** Capacidade tecnológica para incorporar e gerir mudanças tecnológicas, em diferentes níveis de complexidade, nos produtos, processos e matérias-primas da empresa.

Além dessa classificação, a Tabela 3-1 inclui três conceitos, extraídos do Manual de Oslo (1997), relacionados ao grau de novidade das inovações: **nova para a empresa**, **nova para o mercado**, e **nova para o mundo**. O requisito mínimo para se considerar uma inovação é que a mudança introduzida tenha sido nova para a empresa. Os conceitos de nova para o mercado e nova para o mundo estão relacionados ao fato de determinada inovação ter sido ou não implementada por outras empresas, ou de a empresa ter sido a primeira no mercado, na indústria ou no mundo a implementar tal inovação. As inovações são novas para o mercado quando a empresa é a primeira a introduzir a inovação em seu mercado. Uma inovação é nova para o mundo quando a empresa é a primeira a introduzir a inovação em todos os mercados e indústrias, domésticos ou internacionais. Portanto, uma inovação nova para o mundo implica em um grau de novidade qualitativamente maior.

Desta forma, as capacidades tecnológicas incorporadas nesse modelo refletem a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação nas etapas agrícola e industrial do setor brasileiro de etanol. Nesse setor, a trajetória tecnológica em análise

está fundamentada na matéria-prima da cana-de-açúcar, a qual é utilizada para produção de etanol anidro e hidratado. Essas capacidades de produção e inovação do setor de etanol estão incorporadas em atividades relacionadas ao cultivo de cana-de-açúcar e ao processo de produção de etanol comercializado posteriormente pelas organizações.

**Tabela 3-1 – Relacionamento entre os níveis de capacidades tecnológicas e os graus de novidade das inovações no Manual de Oslo (OECD, 1997).**

NÍVEL	CAPACIDADE	GRAU	DEFINIÇÃO
5	Inovador Global	Nova para o mundo	Capacidades para <b>alterar</b> e <b>criar</b> tecnologias
4	Inovador Avançado	Nova para o mercado	
3	Inovador Intermediário	Nova para a empresa	
2	Inovador Básico	Intermitente	
1	Produção	Referência global no uso de tecnologias existentes	Capacidades para <b>usar</b> e <b>operar</b> tecnologias existentes

*Fonte:* Modificado de Figueiredo (2009).

Primeiro, a etapa agrícola da rota tecnológica do etanol é constituída principalmente pelo desenvolvimento de mudas, plantio, colheita, transporte da cana-de-açúcar. Além disso, essa etapa pode ser analisada em etapas menores como, por exemplo, o melhoramento genético de plantas e o desenvolvimento de praguicidas. A etapa seguinte, a industrial, engloba a moagem para obtenção do caldo para fermentação, o processo de fermentação e o processo de destilação. Essa etapa do processo também pode ser analisada em etapas mais detalhadas como o desenvolvimento de novos micro-organismos e enzimas para os processos de fermentação. Por sua vez, essas atividades estão classificadas em funções representadas a seguir:

- **Atividades relacionadas à etapa agrícola.** Esta função inclui o plantio, colheita, transporte da cana-de-açúcar para a produção de etanol. Inclui tanto a seleção de sementes (processos de seleção, criação e produção), o plantio de cana-de-açúcar e a utilização de insumos agrícolas.
- **Atividades relacionadas à etapa industrial.** Esta função consiste em atividades relacionadas ao processo de produção de etanol da empresa. Inclui atividades relacionadas às etapas de moagem para obtenção do caldo para fermentação, o processo de fermentação e o processo de destilação.

Tabela 3-2 – Modelo para análise de capacidades tecnológicas no setor de etanol

Níveis de Capacidades	Funções tecnológicas e Atividades Relacionadas	
	Capacidades Agrícolas (Matérias-primas)	Capacidades Industriais (Processos e produtos)
<b>Capacidades de inovação (capacidade para realizar e gerir mudanças tecnológicas)</b>		
<b>(5) Inovador global</b>	P&D para a introdução de matéria-prima com tecnologia de ponta, na fronteira internacional, em direções substancialmente diferenciadas das linhas convencionais anteriormente exercidas na indústria (por exemplo, projetos de P&D em tecnologias de DNA recombinante e as tecnologias transgênicas para aumentar a produtividade e as características de matérias-primas).	P&D para a introdução de processos de produção de classe mundial, empurrando a fronteira tecnológica internacional (por exemplo, novos processos para produzir etanol celulósico). Diversificação para novos setores com a introdução de produtos baseados em P&D próprio (bioplásticos).
<b>(4) Avançado</b>	P&D para introduzir novos processos agrícolas e matérias-primas existentes ao longo de linhas de P&D (por exemplo: novo germoplasma e variedades com características desejáveis para aumentar a produtividade e a eficiência de conversão). Projetos para identificar as espécies com variação genética significativa. Pesquisas para definir valores de produção sustentável de biomassa por área. Desenvolvimento de processos e recursos automatizados para definir a aplicação adequada de insumos.	P&D para a introdução de novos processos de produção ao longo de trajetórias existentes (por exemplo, fermentação de novos métodos e destilação). Mudança contínua nos processos de produção de acordo com as características das matérias-primas utilizadas (por exemplo, as características da cana de açúcar ou grãos). P&D para introduzir de novos produtos e alterar as especificações de acordo com demandas dos distribuidores de combustíveis e produtores de motores (por exemplo, combustíveis para automóveis, ônibus, aviões, etc.).
<b>(3) Intermediário</b>	O melhoramento convencional das variedades de matérias-primas adaptáveis a diferentes condições ambientais e com maior produtividade. Melhorias nos métodos de gestão de solos (por exemplo, uso de fertilizantes, irrigação, culturas de cobertura, as práticas de manejo). Mudanças incrementais nos processos de maturação (de cana, por exemplo) através do uso de produtos químicos e insumos orgânicos. Criação de procedimentos para monitoramento remoto das terras cultivadas.	Esforços de engenharia para adaptar e melhorar os processos de produção e sistemas de equipamentos. Re-design, engenharia reversa de processos e os ajustes de processos de produção. As alterações das especificações dos insumos especiais (por exemplo, enzimas, leveduras, catalisadores) para melhorar processos de produção. Esforços de engenharia para adaptar os produtos e melhorar gradualmente as especificações. A melhoria contínua das características do produto, como resultado da automação.
<b>(2) Básico</b>	Gestão de variedades em função do solo, clima, tempo e demanda. Pequenas mudanças em equipamentos e métodos para o transporte de matéria-prima, manipulação e armazenamento. Gestão de processos de preparo do solo e plantio de acordo com a utilização de novos implementos agrícolas. Informações sobre a implantação do sistema de produção e de gestão da qualidade e controle.	Seleção, aquisição, instalação e assimilação de novas tecnologias de processo (por exemplo, processos de fermentação e equipamentos novos). Modificação de processos associados com características de matéria-prima. Garantir a qualidade dos produtos derivados da produção primária de acordo com a evolução das exigências do mercado.
<b>Capacidades de produção (capacidade de usar tecnologias existentes e sistemas de produção)</b>		
<b>(1) Produção</b>	Implantação de fazendas de mudas com controle de doenças. Implantação de técnicas de plantio (por exemplo, a agricultura tráfego controlado ou plantio direto de cultivo). Processos básicos de controle de pragas em áreas de lavoura. Solução de problemas e gargalos no transporte de matéria-prima, manipulação e armazenamento.	Solução de problemas e padronização de processos de produção. Melhoria da eficiência com base na experiência acumulada das atividades existentes. Produção de acordo com as especificações do produto fornecido. Garantir a qualidade dos produtos através do processo de produção de acordo com as especificações do cliente e normas do órgão regulador da indústria.

Fonte: Adaptado de IDRC (2009).

A Tabela 3-2 apresenta o modelo adaptado para aplicação empírica no setor analisado nesta dissertação. Algumas modificações foram realizadas, fundamentadas no modelo utilizado por IDRC (2009) para mensurar os níveis de capacidades tecnológicas, em nível de empresa, no setor de etanol. O modelo citado foi utilizado devido às semelhanças do setor de etanol e também em função do foco em matérias-primas, processos e produtos, entretanto, as funções processo e produtos foram consolidados a fim de realizar uma análise em nível setorial. Além disso, a análise em nível de empresas e a comparação entre empresas não estão incluídos nos objetivos dessa dissertação.

Nesta dissertação, os níveis de capacidades estão definidos pelo grau de complexidade e novidade dos projetos e das atividades tecnológicas que a empresa é capaz de empreender. No tocante à complexidade, essas se distinguem em dois conjuntos de capacidades: produção e inovação (Figueiredo, 2009). Primeiro, as "capacidades de produção", compreendem os tipos de recursos, competências e conhecimentos, relacionados ao uso não-criativo e à operação de tecnologias. Por sua vez, o segundo conjunto, "as capacidades de inovação", engloba as capacidades dinâmicas, associadas às atividades criativas necessárias para modificar e alterar tecnologias. No que se referem à novidade, as capacidades de inovação são classificadas de acordo com o nível ou o grau de complexidade das mudanças tecnológicas. Nessa perspectiva, as capacidades de inovação estão diferenciadas nos quatro níveis seguintes:

- **Nível 1 (*Produção*)**: Capacidade tecnológica para utilizar e explorar as tecnologias e os sistemas de produções existentes, de acordo com especificações adquiridas de terceiros.
- **Nível 2 (*Inovador Básico*)**: Capacidade para introduzir pequenas mudanças tecnológicas, baseado principalmente na experiência, ou dependem da introdução de novas tecnologias em sistemas de produção.
- **Nível 3 (*Inovador Intermediário*)**: Capacidade para introduzir mudanças tecnológicas, ou seja, adaptações e alterações em tecnologias, baseadas em atividades de design e engenharia, como, por exemplo, re-design de processos de produção (não há formalização de atividades de P&D).

- **Nível 4 (*Inovador Avançado*):** Capacidade para introduzir mudanças tecnológicas baseadas em P&D, próximo à fronteira tecnológica, dentro de uma trajetória existente. Por exemplo, a introdução de um novo método, baseado em atividades de P&D, para fermentar o açúcar e converter em etanol, ou seja, essa mudança ocorre dentro da trajetória convencional para produzir biocombustíveis de primeira geração.
- **Nível 5 (*Inovador Global*):** Capacidade para introduzir mudanças tecnológicas baseadas em P&D em nível mundial, avançando a fronteira tecnológica e estabelecendo novas direções e as trajetórias tecnológicas. Por exemplo, a introdução de uma nova variedade transgênica como matéria-prima para produção de etanol.

#### **3.3.1.1 Níveis de capacidade tecnológica agrícola (matéria-prima)**

Esta função inclui a produção e fornecimento de matéria-prima, mais especificamente cana-de-açúcar, utilizada para a produção de biocombustíveis. Além disso, essa função compreende a produção de insumos agrícolas, incluindo os processos de criação, seleção e produção. Os itens seguintes definem os diversos níveis que distinguem a acumulação de capacidades tecnológicas para a função matéria-prima.

- **Nível 1 (*Produção*):** Implantação de fazendas de mudas com controle de doenças. Gestão de variedades em função do solo, clima, tempo e demanda. Implantação de técnicas de plantio (por exemplo, a agricultura tráfego controlado ou plantio direto de cultivo). Processos básicos de controle de pragas em áreas de lavoura. Solução de problemas e gargalos no transporte de matéria-prima, manipulação e armazenamento.
- **Nível 2 (*Básico*):** Gestão de variedades em função do solo, clima, tempo e demanda. Pequenas mudanças em equipamentos e métodos para o transporte de matéria-prima, manipulação e armazenamento. Gestão de processos de preparo do solo e plantio de acordo com a utilização de novos implementos agrícolas. Informações sobre a implantação do sistema de produção e de gestão da qualidade e controle.

- **Nível 3 (Intermediário):** O melhoramento convencional das variedades de matérias-primas adaptáveis a diferentes condições ambientais e com maior produtividade. Melhorias nos métodos de gestão de solos (por exemplo, uso de fertilizantes, irrigação, culturas de cobertura, as práticas de manejo). Mudanças incrementais nos processos de maturação (de cana, por exemplo) através do uso de produtos químicos e insumos orgânicos. Criação de procedimentos para monitoramento remoto das terras cultivadas.
- **Nível 4 (Avançado):** P&D para introduzir novos processos agrícolas e matérias-primas existentes ao longo de linhas de P&D (por exemplo: novo germoplasma e cultivares com características desejáveis para aumentar a produtividade e a eficiência de conversão). Projetos para identificar as espécies com variação genética significativa. Pesquisas para definir valores de produção sustentável de biomassa por área. Desenvolvimento de processos e recursos automatizados para definir a aplicação adequada de insumos.
- **Nível 5 (Inovador Global):** P&D para a introdução de matéria-prima com tecnologia de ponta, na fronteira internacional, em direções substancialmente diferenciadas das linhas convencionais anteriormente exercidas na indústria (por exemplo, projetos de P&D em tecnologias de DNA recombinante e as tecnologias transgênicas para aumentar a produtividade e as características de matérias-primas).

### 3.3.1.2 Níveis de capacidade tecnológica industrial (processo e produto)

No tocante ao processo, a função inclui tanto o pré-processamento de matérias-primas quanto à produção dos produtos finais. Ela compreende as atividades relacionadas à forma como, por quem, onde o produto da empresa deve ser produzido. Além disso, essa inclui a seleção dos equipamentos, mão-de-obra, matérias-primas, componentes, insumos, rotinas, engenharia, planejamento e controle do processo de produção. No que se refere ao produto, a função inclui a definição e concepção dos produtos da empresa. Esta engloba as atividades relacionadas à finalidade e a função do produto da empresa, incluindo a definição de parâmetros, especificações, os requisitos e as características do produto (por

exemplo, desempenho, funcionalidades, custo e qualidade). Os itens seguintes definem os diversos níveis que distinguem a acumulação de capacidades tecnológicas para a função processo e produto.

- ***Produção***: Solução de problemas e padronização de processos de produção. Melhoria da eficiência com base na experiência acumulada das atividades existentes. Produção de acordo com as especificações do produto fornecido. Garantir a qualidade dos produtos através do processo de produção de acordo com as especificações do cliente e normas do órgão regulador da indústria.
- ***Nível 1 (Básico)***: Seleção, aquisição, instalação e assimilação de novas tecnologias de processo (por exemplo, processos de fermentação e equipamentos novos). Modificação de processos associados com características de matéria-prima. Garantir a qualidade dos produtos derivados da produção primária de acordo com a evolução das exigências do mercado. Melhorias nas características do produto e de normalização, como resultado da automação.
- ***Nível 2 (Intermediário)***: Esforços de engenharia para adaptar e melhorar os processos de produção e sistemas de equipamentos. Re-design, engenharia reversa de processos de engenharia, e os ajustes de produção. As alterações das especificações dos insumos especiais (por exemplo, enzimas, leveduras, catalisadores) para melhorar processos de produção. Esforços de engenharia para adaptar os produtos e melhorar gradualmente as especificações. A melhoria contínua das características do produto e de normalização.
- ***Nível 3 (Avançado)***: P&D para a introdução de novos processos de produção ao longo de trajetórias existentes (por exemplo, fermentação de novos métodos e destilação). Mudança contínua nos processos de produção de acordo com as características das matérias-primas utilizadas (por exemplo, as características da cana de açúcar ou grãos). P&D para a introdução de novos produtos e alterar as especificações de acordo com demandas dos distribuidores de combustíveis e produtores de motores (por exemplo, automóveis, navios, comboios, aviões, etc.).



- Nível 4 (Inovador Global): P&D para a introdução de processos de produção de classe mundial, empurrando a fronteira tecnológica internacional (por exemplo, novos processos para produzir etanol celulósico). P&D para a introdução de novos tipos de biocombustíveis de condução à fronteira tecnológica (por exemplo, os combustíveis para aviação). Diversificação para novos setores com a introdução de produtos baseados em P&D próprio (bioplásticos).

### 3.3.2 *Taxonomia para identificação do papel desempenhado pelos componentes do marco institucional*

A operacionalização do modelo utilizado nesta dissertação com a finalidade de analisar o relacionamento entre as instituições e a trajetória de acumulação tecnológica no setor de etanol está alinhada à perspectiva de Bell e Figueiredo (2010), ou seja, o modelo segue uma classificação em três categorias, de acordo com a Tabela 3-3: (1) Macro-instituições: os regimes complexos constituídos por políticas públicas onde as empresas operam; (2) Meso-instituições: As relações políticas e estruturas burocráticas que sustentam esses regimes; (3) Instituições baseadas em conhecimento: os institutos de pesquisa, as universidades e as organizações interessadas em atividades de educação, treinamento e pesquisa.

**Tabela 3-3 – Modelo para identificar o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional.**

COMPONENTES DO MARCO INSTITUCIONAL			CAPACIDADES
<b>Macro-Instituições:</b> os regimes complexos constituídos por políticas públicas onde as empresas operam.	- Regimes Industriais; - Regimes protecionistas, voltados para o mercado interno. - Regimes liberais, expostos à competição global.	➡	<b>Trajетórias de Acumulação de Capacidades Tecnológicas de Produção e Inovação</b>
<b>Meso-Instituições:</b> As relações políticas e estruturas burocráticas que sustentam esses regimes.	- Políticas governamentais. - Programas governamentais. - Incentivos e subsídios financeiros. - Medidas protecionistas.	➡	
<b>Instituições Baseadas em Conhecimento:</b> os institutos de pesquisa e as universidades.	- Atividades de P&D para introduzir capacidades tecnológicas inovadoras na área agrícola e na área industrial.	➡	

*Fonte:* Elaborado nesta dissertação com base em Bell e Figueiredo (2010).

No tocante ao marco institucional, utilizarei a classificação institucional de Bell e Figueiredo (2010). Nesta direção, o primeiro foco desse estudo está direcionado para a análise das macro-instituições, ou seja, os regimes políticos e econômicos, formados por um conjunto de políticas governamentais, que se tornaram práticas persistentes ao longo do tempo no setor de etanol. Segundo, o estudo está preocupado em estudar as meso-instituições, que são definidas como as relações, as estruturas e os programas governamentais que sustentam esses regimes e influenciam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor. Por fim, analisarei as atividades e o relacionamento dos institutos de pesquisa, das universidades e das organizações, interessadas em desenvolver atividades de educação, treinamento e pesquisa tecnológica com o setor brasileiro de etanol.

Nesse contexto, a teoria co-evolucionária estabelece conexões entre a dinâmica tecnológica e institucional, onde múltiplos fatores evoluem conjuntamente (Murmann, 2003). Portanto, o meu estudo analisa a co-evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação e as instituições no setor de etanol no Brasil, conforme o modelo mostrado na Figura 3-2. Apesar disso, o processo evolucionário institucional e tecnológico não será analisado de forma independente. Nessa dissertação, utilizarei o termo co-evolução, alinhado à Murmann (2003), para descrever o processo co-evolucionário entre os fatores em análise, ou seja, ocorrerá co-evolução entre instituições e a trajetória de acumulação tecnológica apenas se houver um impacto causal significativo entre esses dois fatores e o relacionamento também persistir no tempo.

### **3.4 Limitações dessa dissertação**

O modelo analítico utilizado nesta dissertação possui várias limitações, das quais se podem citar:

- Nesse estudo não serão abordados os mecanismos de aprendizagem intra e inter organizacionais, utilizados pelas empresas, no contexto de países em desenvolvimento, para acumular capacidades tecnológicas de produção e de inovação (Bell e Pavitt 1993; Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Miranda e

Figueiredo 2010). Nessa perspectiva, os processos de aprendizagem organizacionais, a coordenação dos mecanismos de aprendizagem e a integração de novos conhecimentos às rotinas organizacionais são fatores indispensáveis à acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras.

- Não será utilizada nesse trabalho a perspectiva teórica representada pela literatura de gestão estratégica, mais especificamente, sobre a construção de capacidades ou competências estratégicas essenciais (core capabilities ou core competences), por empresas localizadas na fronteira tecnológica internacional de países desenvolvidos ou avançados a fim de obterem vantagem competitiva (Porter 1980 e 1985; Leonard 1995; Teece e Pisano 1997; Christensen 1997 e 2003; Chesbrough 2003).
- O exame do relacionamento entre os elementos do marco institucional e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas é realizado em nível setorial. Desta forma, o foco direcionado ao nível macro e meso não pretende realizar uma análise comparativa entre as empresas do setor e também não tem a objetivo de examinar detalhadamente as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para atividades de produção e de inovação, em nível de empresa do setor brasileiro de etanol.
- A relação do processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação com o desempenho operacional das empresas também não foi considerada nesse estudo.
- Não serão analisadas as empresas de engenharia e também as fornecedoras de equipamentos para as principais empresas brasileiras produtoras de etanol de 1ª geração.

## **CAPÍTULO 4 : DESENHO E MÉTODO DA DISSERTAÇÃO**

---

Neste capítulo são introduzidos os principais componentes do desenho, da estratégia e dos métodos de pesquisa aplicados nesta dissertação. Na Seção 4.1, são apresentados os elementos chave do desenho da dissertação. A Seção 4.1.1 introduz a estratégia da dissertação. Na Seção 4.1.2, é apresentada a unidade de análise da dissertação. Finalmente, na Seção 4.1.3, definirei a combinação de critérios qualitativos e quantitativos. Por fim, nas Seções 4.2 e 4.3, são abordados, respectivamente, os tipos e as fontes de informação. Na Seção 4.4, apresenta-se o processo de análise das evidências empíricas coletadas.

### **4.1 Elementos chave do desenho e do método de pesquisa**

Nessa Seção serão descritos os elementos chave do desenho e do método de pesquisa empregados para auxiliar a responder as questões identificadas nesse projeto de pesquisa.

#### **4.1.1 Estratégia da dissertação**

A estratégia adotada nesta dissertação está embasada no estudo de caso individual explanatório. A necessidade do estudo de caso surgiu devido à necessidade de analisar empiricamente a evolução tecnológica e institucional do setor de etanol brasileiro com o intuito de compreender a interação complexa entre esses dois fatores. Além disso, “*A forma de uma questão fornece um indício importante para traçar a estratégia de pesquisa que será adotada*” (Yin, 2005, p. 26). Nessa perspectiva, selecionei essa estratégia, pois a questão fundamental identificada nesse estudo é do tipo “como”.

A falta de controle sobre os acontecimentos ocorridos e a característica longitudinal do caso em análise também foram determinantes quanto à decisão de utilizar a estratégia acima. O presente estudo de caso longitudinal no setor de etanol brasileiro pretende estudar certas condições especificadas pela teoria ao longo do tempo. Entretanto, o uso dessa não pretende alcançar uma interpretação completa sobre os eventos desencadeados nesse setor porque estarei lidando com condições contextuais complexas.

#### **4.1.2 *Unidade de análise da dissertação***

Nesta dissertação, a unidade de análise é a questão que se almeja primeiramente apresentar e em seguida compreender, ou seja, o relacionamento entre a co-evolução do marco institucional e da trajetória de acumulação tecnológica no setor brasileiro de etanol. Além desses, pretendo incluir a análise dos impactos e resultados alcançados por meio da interação entre essas duas variáveis.

#### **4.1.3 *Combinação de critérios qualitativos e quantitativos***

O estudo englobará uma combinação de elementos quantitativos e qualitativos. No entanto, as abordagens qualitativas e quantitativas não são estratégias de pesquisa mutuamente exclusivas. A abordagem qualitativa auxiliará na compreensão a respeito da co-evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e institucional no setor em questão. Por sua vez, a abordagem quantitativa fortalecerá a análise das questões apresentadas acima, mais especificamente as relações entre o marco institucional e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas, tornando mais consistente, a análise dessas questões.

Finalmente, os dados qualitativos também serão utilizados na interpretação e compreensão dos dados quantitativos. A aplicação dessa estratégia de coleta de dados resultará em ricas evidências qualitativas e quantitativas. Em vez de reduzir os dados qualitativos a dados quantitativos, a estratégia proposta combina os dois tipos a fim de enriquecer a análise empírica.

### **4.2 Tipos de evidências utilizadas na dissertação**

A análise da evolução da trajetória de acumulação tecnológica no setor brasileiro de etanol entre os anos de 1970 e 2009 demandou a utilização de diferentes tipos de dados. O estudo da trajetória de acumulação tecnológica agrícola do setor demandou a busca de informações sobre suas atividades de plantio da cana-de-açúcar, melhoramento genético da cana, biotecnologia, controle biológico de pragas, práticas agrícolas, mecanização, colheita, transporte e tecnologia da informação, bem como sobre a evolução dessas no

tempo. Além disso, foram necessárias informações sobre suas estruturas organizacionais, bem como sobre o grau de qualificação dos colaboradores dos institutos e empresas pesquisados.

No tocante ao estudo da trajetória de acumulação tecnológica industrial, utilizou-se informações sobre suas atividades do processo produtivo de 1ª geração de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, abrangendo suas melhorias incrementais, e também os aspectos relacionados às tecnologias radicais de 2ª geração.

No que diz respeito às instituições do setor de etanol, o estudo da evolução institucional abrange a análise ao longo do tempo das 3 categorias definidas em Bell e Figueiredo (2010): (1) instituições baseadas em conhecimento, ou seja, institutos de pesquisa, universidades e organizações interessadas em atividades de educação, treinamento, pesquisa e outros; (2) regimes complexos constituídos por políticas públicas onde as empresas operam; (3) relações e estruturas políticas e burocráticas que sustentam regimes políticos específicos.

Para o exame do relacionamento entre o marco institucional e a trajetória de acumulação tecnológica no setor brasileiro de etanol, por sua vez, foram necessárias informações acerca das diferentes ligações entre as instituições pesquisadas e os componentes da infraestrutura tecnológica do setor, priorizando os resultados e benefícios provenientes das mesmas.

### **4.3 Fonte de evidências utilizadas na dissertação**

O estudo de caso utilizou as seguintes fontes de dados:

- Fontes primárias: (a) transcrições de entrevistas com gestores das empresas e institutos de pesquisa estudados; (b) transcrições de entrevistas com pesquisadores e especialistas do setor; (c) entrevistas de revistas com profissionais e pesquisadores de destaque do setor;
- Fontes secundárias: (c) relatórios especializados sobre o setor agroindustrial de etanol brasileiro; (d) publicações sobre o setor e sobre as empresas estudadas; (e) documentos fornecidos por empresas estudadas; (f) documentos e relatórios de

órgãos governamentais de fomento à pesquisa; (g) sites na internet das principais instituições e empresas estudadas;

Diversas fontes de dados serão examinadas no estudo em questão, como, por exemplo, gestores de empresas, engenheiros, pesquisadores, diretores e presidentes, especialistas do setor, pesquisadores em institutos de pesquisas e universidades, professores universitários, e outros profissionais. As fontes de dados secundárias podem ser relatórios e materiais publicados pelas organizações empresariais, artigos de professores universitários, publicações de associações industriais e publicações governamentais.

O exame minucioso e aprofundado das questões da dissertação requereu a busca e coleta de evidências empíricas primárias e também dados secundários sobre os principais desenvolvimentos tecnológicos agroindustriais em paralelo com a evolução institucional do setor. As evidências empíricas utilizadas na dissertação foram coletadas entre o final de 2009 e ao longo de 2010, por meio de diversas fontes como, por exemplo, transcrições de entrevistas, análise de documentos e relatórios.

Além desses, foram consultadas diversas entrevistas na revista *Opiniões sobre o Setor Sucroenergético*. As edições da revista são constituídas por pessoas de destaque no setor agroindustrial de etanol brasileiro, com vivência diária de muitos anos, construída, principalmente, através de erros e acertos, e hoje tem legitimidade para emitir opiniões a respeito dos assuntos estratégicos de seu setor.

Nesse sentido, os maiores especialistas do país no assunto são convidados a compartilhar suas opiniões nas edições da revista. Além disso, a revista estimula os grupos de pensamentos favoráveis e conflitantes a defenderem suas opiniões, englobando representantes de toda a cadeia produtiva. A finalidade dessa metodologia é contribuir para que o leitor, após tomar conhecimento desta multiplicidade de opiniões, possa construir, de uma forma embasada, a sua própria opinião a respeito do assunto tratado no setor sucroalcooleiro brasileiro.

#### **4.4 Processo de análise das evidências empíricas coletadas**

As evidências empíricas, obtidas a partir de fontes diversas, em nível de indústria, em documentos governamentais e também as evidências secundárias em nível de empresa, foram organizadas sistematicamente de acordo com as ferramentas metodológicas da dissertação, apresentadas no Capítulo 3. Para analisar o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação, essas evidências foram inicialmente estruturadas em matrizes, cujas linhas representavam as atividades ou funções tecnológicas estudadas e as colunas o período de tempo examinado. Cada uma das células identificou os projetos e as atividades que representam o nível de capacidade tecnológica de produção e inovação para as funções agrícolas (matéria-prima) e industriais (processo e produto) durante um período de tempo determinado. Além dessas, para examinar os elementos do marco institucional também se organiza em matrizes os regimes industriais, as políticas e os programas governamentais e também os principais mecanismos utilizados pelo governo brasileiro para incentivar o processo de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol o Brasil.

Desta forma, as evidências referentes ao processo de acumulação de capacidades tecnológicas foram organizadas e classificadas nos diferentes níveis de cada função tecnológica, ao longo do período analisado, a fim de qualificar as atividades inovadoras no setor brasileiro de etanol, alinhado ao modelo de análise operacionalizado no Capítulo 3 desta dissertação. Posteriormente, classificam-se, a cada intervalo de 5 anos, os níveis previamente definidos, com a finalidade de obter como resultado final uma representação gráfica evolutiva das trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação nas áreas agrícola e industrial, as quais são apresentadas graficamente e analisadas no Capítulo 8. Paralelamente, analisam-se as implicações, os impactos e a interação entre os elementos do marco institucional e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação, ou seja, busca-se uma relação de causa e efeito entre as duas variáveis examinadas nesta dissertação.

Nesta estrutura, as atividades e os projetos realizados no setor de etanol foram utilizados para identificar semelhanças e mudanças do nível de capacidades tecnológicas do setor brasileiro de etanol ao longo do período analisado. Essas são organizadas em dois períodos



de tempo distintos, descritos mais detalhadamente ao longo do Capítulo 6 e do Capítulo 7. O primeiro período compreende a descrição das atividades e dos projetos executados no setor de etanol, na época marcada pelo Regime de Industrialização por Substituição de Importações, entre 1970 e 1989. O segundo período descreve as atividades e os projetos realizados no setor de etanol durante o Regime de Economia Aberta, marcado pela liberalização econômica e a desregulamentação do setor de etanol, entre 1990 e 2009.

Nesse sentido, a partir das evidências organizadas em matrizes descreve-se no Capítulo 6 o relacionamento entre a evolução dos componentes do marco institucional e o processo de acumulação de capacidades tecnológicas no setor etanol brasileiro durante o período marcado pelo Regime de Industrialização por Substituição de Importações, entre 1970 e 1989. Durante o 1º período, se introduz a evolução das macro-instituições, meso-instituições e as instituições baseadas em conhecimento (institutos de pesquisa e universidades), que exerceram influência nesse período sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol. Paralelamente, se apresenta também a evolução na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação agrícolas e industriais, ocorrida entre 1970 e 1989, no setor de etanol no Brasil, buscando evidências a respeito do relacionamento entre as duas variáveis em análise nesta dissertação.

Posteriormente, a partir das evidências organizadas em matrizes descreve-se no Capítulo 7 o relacionamento entre a evolução dos componentes do marco institucional e o processo de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol brasileiro durante o Regime de Economia Aberta, representado pela desregulamentação do setor de etanol brasileiro, entre 1990 e 2009. Durante o 2º período, mostra-se a evolução das macro-instituições, meso-instituições e as instituições baseadas em conhecimento (institutos de pesquisa e universidades), com a finalidade de identificar o relacionamento desses componentes do marco institucional com as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para atividades de produção e de inovação. Simultaneamente, apresenta-se a evolução das trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação agrícolas e industriais, ocorrida entre 1990 e 2009, no setor de etanol no Brasil. Portanto, as descrições dos elementos do marco institucional e as atividades inovadoras realizadas ao longo do tempo foram utilizadas para identificar o relacionamento entre as instituições e as

trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas em nível setorial ao longo do tempo.

Finalmente, o Capítulo 8 tem como finalidade discutir as evidências empíricas e analisar o relacionamento entre os componentes do marco institucional e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas em nível setorial apresentadas anteriormente. Para tanto, a análise será realizada por meio do modelo descrito no Capítulo 3. Desta forma, será analisado o relacionamento entre as macro-instituições, meso-instituições e as instituições baseadas em conhecimento (institutos de pesquisa e universidades) e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol, no período entre 1970 e 2009. Primeiro examina-se a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol. Posteriormente, apresenta-se a análise do relacionamento entre os componentes do marco institucional e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol. Por fim, descreve-se a interação entre as instituições baseadas em conhecimento (institutos de pesquisas e universidades) e as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol.

## **CAPÍTULO 5 : CONTEXTO EMPÍRICO DA DISSERTAÇÃO**

---

Este capítulo fornece uma visão geral das principais tecnologias utilizadas na produção de biocombustíveis no mundo. Em seguida, apresento a capacidade tecnológica utilizada no Brasil para a produção de etanol de 1ª geração. Além disso, apresento sucintamente a evolução do setor de etanol mundial e brasileiro. Primeiramente, a Seção 5.1 introduz a tecnologia para produção de biocombustíveis. A Seção 5.1.1 introduz as principais tecnologias e matérias-primas usadas internacionalmente para produzir vários tipos de biocombustíveis. Após, a Seção 5.1.2 introduz a tecnologia aplicada nas usinas brasileiras para produzir o etanol hidratado e anidro de 1ª geração. A Seção 5.1.3 introduz a tecnologia experimental usada na produção do etanol de 2ª geração. A Seção 5.2 apresenta as dez maiores empresas produtoras de etanol de 1ª geração no Brasil. Finalmente, a Seção 5.3 apresenta a evolução da produção de etanol em nível internacional e no Brasil. Neste contexto, a Seção 5.3.1 mostra a evolução dos principais países produtores de etanol no mundo. Finalmente, a Seção 5.3.2 encerra o capítulo com a apresentação de uma visão panorâmica da evolução da produção de etanol, no Brasil, no período entre 1970 e 2009.

### **5.1 Tecnologia para conversão de biocombustíveis**

#### ***5.1.1 Principais tecnologias para a produção de biocombustíveis***

A matéria-prima utilizada na produção de biocombustíveis é a biomassa derivada de plantas, animais, microrganismos e resíduos orgânicos. Os biocombustíveis podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, ou seja, englobam todos os tipos de biomassa e seus derivados utilizados com o propósito de gerar energia. A sua vantagem competitiva em relação aos combustíveis fósseis reside na característica renovadora. Desta forma, além do uso tradicional, a bioenergia moderna compreende os biocombustíveis utilizados com a finalidade de transporte, geração de calor e de eletricidade. Apesar da falta de consenso quanto à classificação dos biocombustíveis, IEA (2009) separa os biocombustíveis em diferentes gerações, de acordo com o nível de desenvolvimento e as matérias-primas utilizadas no processo de produção. Além dessa, UNEP-DTIE (2009) também classificam os biocombustíveis em gerações de acordo com a Tabela 5-1.

A 1ª geração de biocombustíveis, de acordo com IEA (2009), inclui as tecnologias maduras e convencionais, aplicadas na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar ou milho, de biodiesel a partir de oleaginosas e gorduras animais, e de biometano a partir da digestão anaeróbica de biomassa. Nesse processo, as matérias-primas fundamentais são as sementes, os grãos e as plantas, como, por exemplo, milho, cana-de-açúcar, colza ou couve-nabiça, trigo, girassol e dendê. Os biocombustíveis de primeira geração mais consumidos no mundo são o etanol, que representa mais de 80% da produção de biocombustíveis líquidos, seguido pelo biodiesel, óleos vegetais e biogás (UNEP-DTIE, 2009).

Os biocombustíveis de 2ª geração abrangem um conjunto de biocombustíveis produzidos a partir de novas matérias-primas. IEA (2009) inclui nessa classificação o etanol e o biodiesel produzido a partir de tecnologias maduras, mas com novas matérias-primas como o açúcar de pinhão manso, mandioca ou miscanthus. Além desses, uma série de biocombustíveis inovadores (etanol, butanol e syndiesel) serão produzidos no futuro a partir de materiais lignocelulósicos, ou seja, fibras, palha, madeira, e grama. No entanto, essas tecnologias ainda estão em fase experimental.

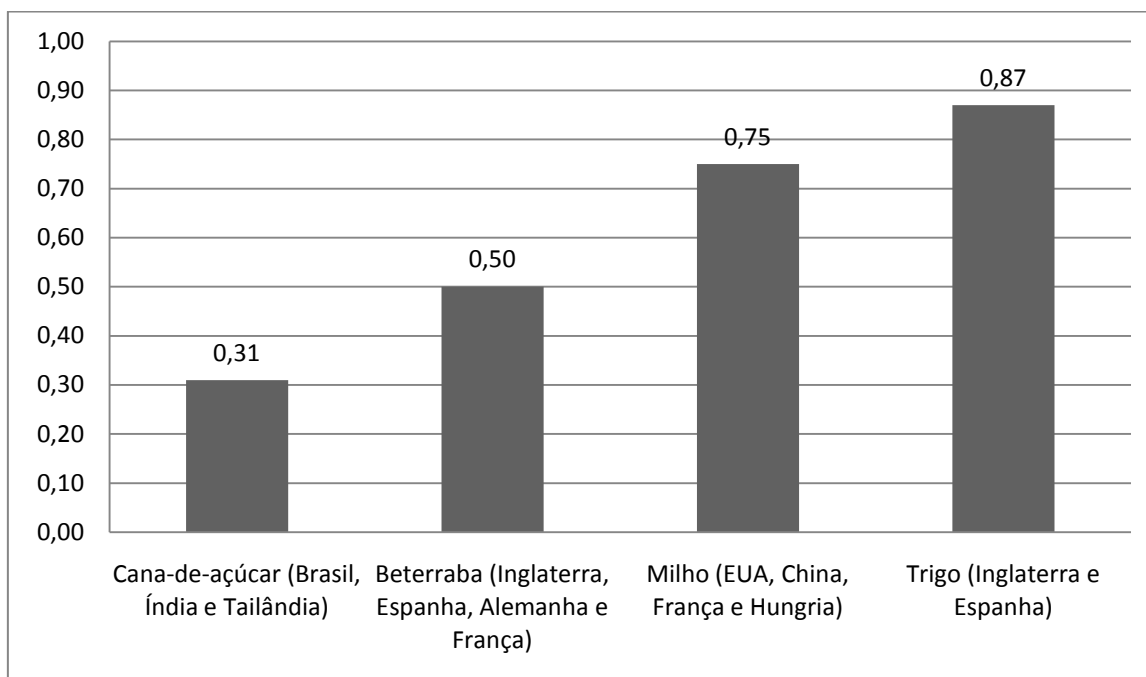
Por fim, a 3ª geração de biocombustíveis geralmente envolve as rotas de produção de biocombustíveis que estão ainda nos seus estágios iniciais de pesquisa e desenvolvimento ou não possuem aplicação comercial como, por exemplo, os biocombustíveis a partir de algas e o hidrogênio a partir de biomassa (IEA, 2009). Outros tipos de biocombustíveis dessa geração incluem álcoois como biopropanol e butanol, que devido à falta de experiência em plantas de produção, não são normalmente considerados relevantes para a comercialização no mercado de combustíveis antes de 2050 (UNEP-DTIE, 2009).

No tocante aos biocombustíveis de primeira geração, o conhecimento, utilizado para produzir etanol a partir da cana-de-açúcar e milho, alcançou os níveis mais altos de maturidade tecnológica e comercial. No entanto, ainda existem inovações incrementais a serem realizadas como, por exemplo, novas enzimas para converter açúcares (hidrólise), novas bactérias na etapa de fermentação, novos métodos de separação a base de água e novos co-produtos de maior valor agregado (IEA, 2009). Além desse, a produção de biodiesel a partir da biomassa (óleos vegetais e gorduras animais), que utiliza as tecnologias de transesterificação e hidrogenação, também apresenta alta maturidade,

porém a primeira prevalece entre as duas tecnologias. Por fim, alguns países também utilizam o biogás convertido em biometano e injetado na rede de gás natural para abastecer veículos movidos a gás.

Não menos importante, as tecnologias de biocombustíveis de 2ª geração, como o etanol de biomassa lignocelulósica (matéria orgânica que contém lignina, celulose e hemicelulose), apresentam um alto potencial para impulsionar a produção internacional de biocombustíveis. Essa tecnologia utiliza os resíduos agrícolas (palha e bagaço da cana), os resíduos urbanos e as plantações energéticas (miscanthus) na produção de etanol. Nesse processo, a primeira etapa é responsável pela ruptura da celulose e hemicelulose e a conversão desses em açúcares, que serão fermentados por meio das tecnologias de primeira geração. Entretanto, a matéria lignocelulósica apresenta grande resistência, demandando um pré-tratamento mais avançado.

**Figura 5-1 – Custo aproximado de produção de etanol de 1ª geração (U\$/litro)**



Fonte: IEA (2009).

Desta maneira, há algumas tecnologias de produção etanol de 2ª geração em estágio mais avançados de desenvolvimento. Entretanto, essas tecnologias ainda demandam avanços tecnológicos em diversas etapas do processo como, por exemplo, a hidrólise enzimática. Essas inovações são imprescindíveis para reduzir custos e tornar a produção de etanol de

2ª geração uma alternativa competitiva comercialmente. Nesta direção, existem esforços de P&D ocorrendo atualmente nos EUA, na Europa (com os seus grandes recursos florestais), e no Brasil (com a sua produção de etanol de primeira geração e a disponibilidade de cana e do bagaço). Os resultados desses esforços de P&D poderão transformar o setor, viabilizando a implantação de fábricas de produção em escala comercial ao longo da próxima década.

Portanto, no contexto internacional dos biocombustíveis, o foco dessa dissertação está direcionado à análise da evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol de 1ª e 2ª geração no Brasil. Desta forma, a superioridade do etanol brasileiro está refletida na diferença brutal entre os custos de produção de 1 litro desses biocombustível em comparação aos diversos países em análise nesse trabalho, como demonstra a Figura 5-1. Por exemplo, no Brasil, a produção de 1 litro de etanol de cana-de-açúcar custa U\$0,31/litro, nos EUA o etanol de milho custa cerca de U\$0,75/litro, atingindo o máximo de U\$0,87/litro na Inglaterra e na Espanha com a produção de etanol a partir do trigo.

No setor de biocombustíveis, os custos da matéria-prima representam cerca de 50% na produção de etanol de cana-açúcar, podendo alcançar valores ainda mais elevados como, por exemplo, o etanol produzido nos EUA a partir do milho. Nesse sentido, essa dissertação pretende compreender os fatores tecnológicos e institucionais que colocam o Brasil em posição de destaque internacional em termos de desempenho econômico e tecnológico.

Tabela 5-1 – Tipos de biocombustíveis: visão genérica com a tecnologia, matéria-prima e co-produtos.

BIOCOMBUSTÍVEL	TECNOLOGIA	MATÉRIA-PRIMA	CO-PRODUTO
<i>Biocombustíveis sólidos</i>	Uso tradicional de biomassa como energia	Madeira e esterco seco	-
<b>BIOCOMBUSTÍVEIS DE 1ª GERAÇÃO</b>			
<i>Óleo de plantas</i>	(1) Adaptação de plantas ou motores para utilizar o óleo como biocombustível (2) Geração de eletricidade e calor	(1) Colza, girassol, outros óleos de plantas, resíduos de óleos vegetais (2) Colza, óleo de palma, pinhão manso e outros óleos de plantas	Torta de bolo para alimentar animais
<i>Biodiesel</i>	Transesterificação do éster metil do ácido graxo (FAME) utilizado em combustíveis para transportes	<b>Europa:</b> colza, girassol, soja; <b>EUA:</b> soja e girassol; <b>Canadá:</b> Soja, colza; <b>América do Sul e Central:</b> soja, palma, pinhão manso, mamona; <b>África e Ásia:</b> palma, soja, girassol, e pinhão manso;	-Torta de bolo para alimentar animais / Glicerina / Torta de bolo em usinas de óleo de palma é usada para gerar energia
<i>Bioetanol</i>	Fermentação (açúcar) e Hidrólise e fermentação, utilizado em combustíveis para transportes	<b>Europa:</b> cereais e beterraba; <b>EUA:</b> milho; <b>Canadá:</b> milho e cereais; <b>Brasil:</b> cana-de-açúcar; <b>Outros America do Sul e Central:</b> cana-de-açúcar e mandioca; <b>África:</b> cana-de-açúcar e milho; <b>Ásia:</b> cana-de-açúcar e mandioca	-Bagaço da cana para gerar energia -Milho e cereais para a alimentação de animais
<i>Biogás</i>	Fermentação da biomassa utilizada em sistemas descentralizados ou via rede de gás para: (1) Geração de calor e energia; (2) Combustíveis para transportes	Plantações energéticas (milho, miscanthus e madeira de rápido crescimento) e material biodegradável.	Resíduos usados como fertilizantes
<i>Biocombustíveis sólidos</i>	(1) Densificação da biomassa por torrefação ou carbonização (2) Resíduos para geração de calor e energia	Madeira, grama cortada, grãos, grama switchgrass, carvão vegetal, lixo doméstico, esterco seco.	
<b>BIOCOMBUSTÍVEIS DE 2ª GERAÇÃO</b>			
<i>Bioetanol</i>	Separação da biomassa em várias etapas (ex: hidrólise)	Biomassa lignocelulósica como caules de trigo, palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar	
<i>Biodiesel e outros (biohidrogênio, biometanol, dimetilfurano (DMF) e Bio-DME (éter dimetílico))</i>	Gaseificação de biomassa de baixa umidade gera “syngas” usado para produzir combustíveis e compostos químicos.	Biomassa lignocelulósica como madeira, palha e material secundário como resíduos plásticos.	Síntese de Fischer-Tropsch pode ser usada para produzir diversas matérias-primas (plásticos e combustíveis)
<b>BIOCOMBUSTÍVEIS DE 3ª GERAÇÃO</b>			
<i>Biodiesel, combustíveis para avião, etanol, butanol</i>	Bioreatores para etanol; Transesterificação e pirólise para biodiesel; outras tecnologias	Micro-algas e macro-algas em lagoas de biorefinarias	Alimentos para animais com alto teor de proteína, biopolímeros e fertilizantes agrícolas

Fonte: UNEP-DTIE, 2009.

### ***5.1.2 Tecnologia para produzir etanol de cana-de-açúcar de 1ª geração***

O Brasil apresenta uma longa experiência na absorção e adaptação de tecnologias utilizadas para produzir etanol de cana-de-açúcar de 1ª geração. As principais etapas do processo de produção do etanol compreendem a extração (moagem ou difusão), fermentação, destilação, retificação e desidratação do etanol hidratado, resultando na obtenção de etanol anidro. A Figura 5-2 apresenta as principais etapas do processo de produção de açúcar ou etanol anidro e hidratado no Brasil.

Desta maneira, o início do processo é marcado pelo transporte da cana-de-açúcar para a usina. Nesse estágio, a cana-de-açúcar submete-se a processo de lavagem e em seguida segue para a etapa de extração do caldo. Grande parte das usinas brasileiras utiliza a tecnologia de moendas na etapa de extração, ou seja, esse mecanismo exerce pressão por meio de rolos com o intuito de extrair o caldo da cana-de-açúcar (CGEE e BNDES, 2008). Durante a extração, realiza-se a separação entre o caldo (com a sacarose) e a fibra da cana-de-açúcar (bagaço), reaproveitada nas etapas subsequentes para a geração de bioenergia, que alimenta a própria usina.

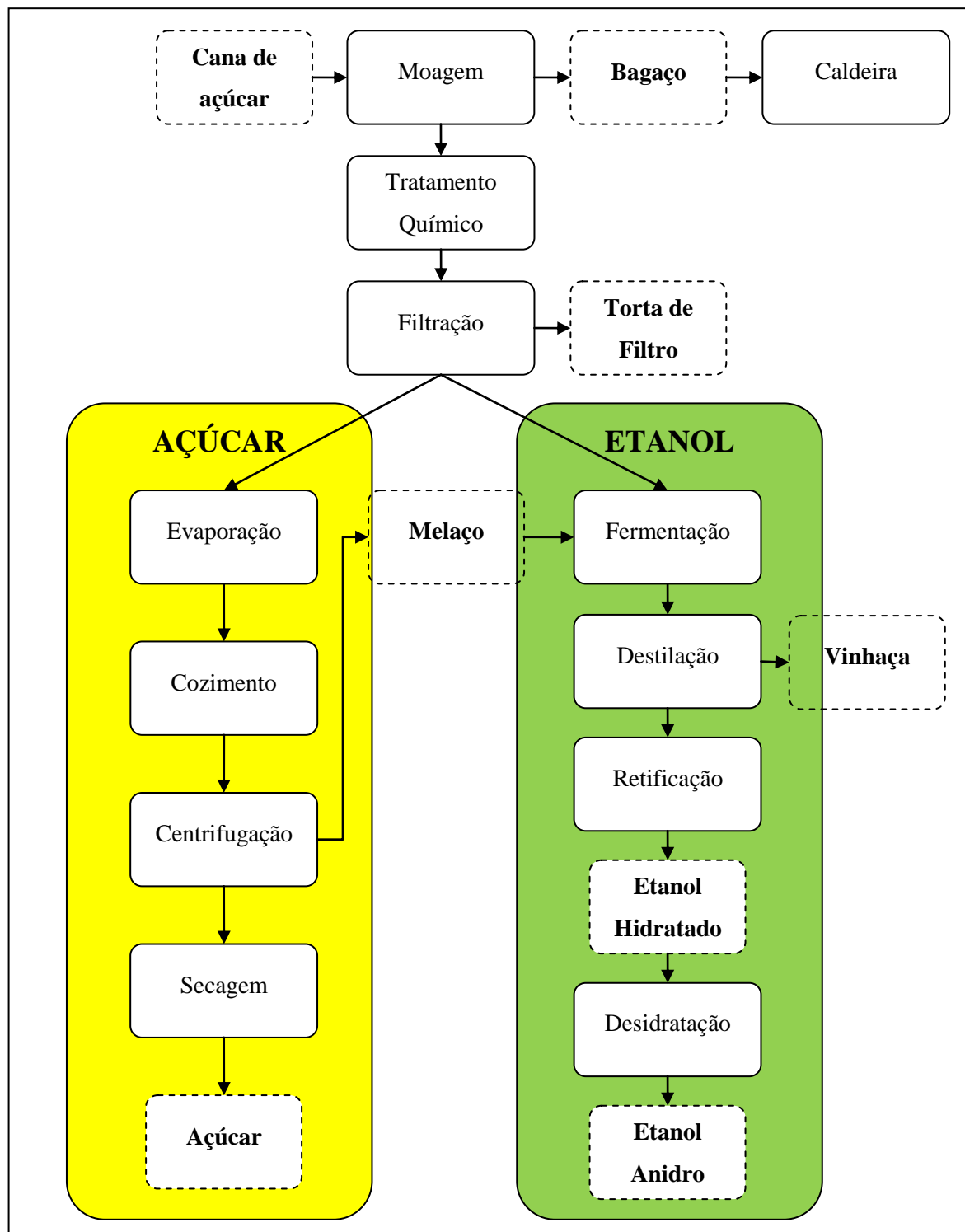
No entanto, as usinas brasileiras mais modernas substituíram a tecnologia de moendas pela tecnologia de difusão durante a etapa de extração do caldo da cana (CGEE e BNDES, 2008). Neste processo, a cana-de-açúcar triturada é submetida a uma série de lavagens com água quente a fim de extrair os seus açúcares. Após a extração do caldo da cana (e seus açúcares) a solução é peneirada (tanto pela tecnologia de moendas quanto pela difusão), tratada quimicamente e filtrada, resultando também na produção de torta de filtro, que será reaproveitada nas plantações de cana-de-açúcar na forma de adubo.

Na etapa posterior à extração, o caldo da cana filtrado pode ser enviado à próxima etapa do processo de produção de açúcar ou etanol anidro e hidratado. Nesse processo, as primeiras etapas da rota tecnológica de produção de etanol anidro e hidratado são sobrepostas com as etapas iniciais da rota aplicada na produção de açúcar. No tocante ao processo de produção de açúcar, o caldo tratado é submetido aos processos de evaporação, cozimento e centrifugação com o objetivo de cristalizar a sacarose e obter o açúcar. Nesse processo, o



mel (melaço) residual da produção de açúcar pode ser encaminhado também à etapa seguinte de fermentação e utilizado como matéria-prima para produzir etanol.

**Figura 5-2 – Rota tecnológica para produção de açúcar e etanol de 1ª geração**



Fonte: BNDES e CGEE (2008)

Desta forma, o processo de produção de etanol pode utilizar insumos tanto do caldo da cana-de-açúcar quanto da mistura de caldo e melaço, que é a prática mais comum nas usinas brasileiras (CGEE e BNDES, 2008). Na produção a partir do caldo, o substrato é tratado e submetido ao processo de evaporação com a finalidade de ajustar o nível de concentração de açúcares. Em seguida, a mistura do melaço e do caldo resulta no mosto, ou seja, uma solução açucarada que será remanejada para a etapa de fermentação. Nessa etapa, acrescentam-se leveduras ao mosto (melaço e caldo), que realizam o processo de fermentação, durante o período de 8 a 12 horas, resultando na produção do vinho com 7% a 10% de álcool. Após o término da etapa de fermentação, as leveduras são recicladas e o vinho é transferido às colunas de destilação.

Na etapa de destilação, ocorre a separação entre o vinho e o álcool, o que resulta na produção de etanol hidratado. Além disso, nessa etapa são produzidos de 10 a 13 litros de vinhaça por litro de etanol hidratado produzido (CGEE e BNDES, 2008). O etanol hidratado pode ser estocado como produto final ou pode ser enviado para a etapa seguinte de desidratação a fim de produzir o etanol anidro, que poderá ser misturado à gasolina. No Brasil, a tecnologia mais instituída é a desidratação com a adição do cicloexano, entretanto, essa pode ser substituída por peneiras moleculares ou pela destilação extrativa com monoetilenoglicol (MEG), que se destacam tecnologicamente pela economia energética, mas apresentam maiores custos (CGEE e BNDES, 2008). Na etapa de desidratação, o etanol anidro é retirado do fundo enquanto o cicloexano permanece no topo da solução.

Além disso, o processo de produção de açúcar ou etanol anidro e hidratado demanda um alto consumo de energia. No setor de etanol brasileiro, a energia consumida durante a produção de etanol é alimentada por um sistema instalado na própria usina, que utiliza o bagaço como fonte de energia. Nesse sentido, as usinas brasileiras são autossuficientes na produção de energia e, mais recentemente, até mesmo adquiriram capacidades tecnológicas para exportar o excedente energético à rede pública de energia elétrica (CGEE e BNDES, 2008).

Finalmente, a capacidade tecnológica armazenada nas rotinas organizacionais das usinas brasileiras nos últimos 40 anos propicia um desempenho industrial superior na produção de etanol. Nesse setor, 1 tonelada de cana-de-açúcar, direcionada unicamente à produção

de açúcar, resulta em 100 kg de açúcar e produz mais de 20 litros de etanol a partir do melaço, entretanto, na utilização exclusiva à produção de etanol, 1 tonelada de cana produz 86 litros de etanol hidratado (CGEE e BNDES, 2008). Por fim, a possibilidade de alternar entre produção de açúcar e etanol constitui uma capacidade essencial para o setor de etanol brasileiro, que pode direcionar a sua produção, de acordo com as condições de preço e mercado.

### ***5.1.3 Tecnologia para produzir etanol de cana-de-açúcar de 2ª geração***

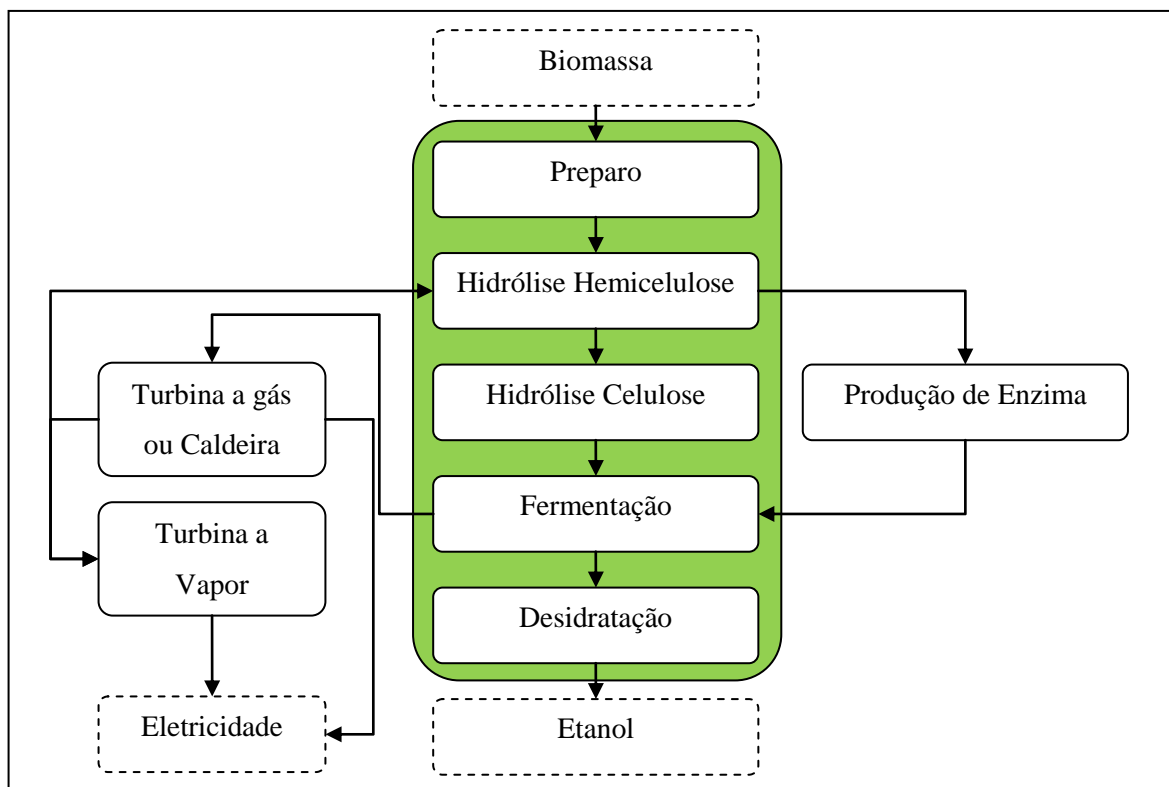
As tecnologias comercialmente viáveis para produzir etanol de primeira geração a partir de amido (milho) e de açúcares (beterraba) provêm baixa produtividade energética (CGEE e BNDES, 2008). Apesar dos bons resultados resultantes da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar brasileira, as condições de clima e solo limitam o plantio dessa cultura a regiões específicas do planeta. Além disso, aqueles biocombustíveis podem ser facilmente substituíveis por produtos potencialmente mais atrativos economicamente, de acordo com as condições de mercado, como por exemplo, a produção de alimentos. Desta maneira, nos últimos anos diversos países desenvolveram novas capacidades tecnológicas utilizadas na produção de etanol com as tecnologias de segunda geração.

Nesse sentido, a tecnologia de produção de etanol de 2ª geração por meio da hidrólise de materiais celulósicos apresenta-se como uma alternativa tecnológica para a próxima década. Essas capacidades tecnológicas, fundamentadas na transformação de materiais lignocelulósicos em etanol, abrangem a hidrólise da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) em açúcares, fermentada posteriormente com a finalidade de produzir o etanol por meio de tecnologias tradicionais de primeira geração. As principais etapas da tecnologia de produção de etanol de 2ª geração são apresentadas na Figura 5-3.

Na rota tecnológica de 2ª geração, o processo de hidrólise inicia com a etapa de pré-tratamento da matéria-prima, ou seja, essa compreende a ruptura da sua estrutura celular, que será tratada quimicamente ou biologicamente nas etapas seguintes, para separar os açúcares e remover a lignina. Na etapa posterior, a celulose é convertida em glicose por meio de rotas tecnológicas ácidas (diluída ou concentrada) ou enzimáticas. Nessa etapa (hidrólise), ocorre a remoção da lignina e a hidrólise da hemicelulose. A hidrólise ácida

ocorre em dois estágios devido às diferenças entre a hemicelulose e a celulose. O primeiro envolve a hidrólise da hemicelulose, seguido pela hidrólise da parte celulósica.

**Figura 5-3 – Rota tecnológica para produção de etanol de 2ª geração**



Fonte: BNDES e CGEE (2008)

Na rota enzimática, como nos processos ácidos, também é necessário realizar o pré-tratamento da matéria-prima para depois expor a celulose ao processo de catalisação das enzimas (celulases). Após a finalização da separação, o material restante, isto é, a lignina, pode ser utilizada na geração de bioeletricidade, contribuindo com a autossuficiência energética das usinas ou com a expansão das receitas por meio da exportação da energia elétrica excedente. As etapas seguintes de fermentação e destilação utilizam as tecnologias tradicionais para produzir etanol de primeira geração.

Entretanto, é importante ressaltar a imaturidade das tecnologias de produção de etanol de 2ª geração, ou seja, essas estão nos estágios iniciais da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas. Apesar de estar no estágio mais avançado, a hidrólise com ácido diluído enfrenta restrições de rendimento (50%-70%). Por sua vez, a tecnologia de hidrólise com ácido concentrado apresenta rendimentos maiores, embora necessite

recuperar o ácido e utilizar equipamentos mais robustos, resistentes à corrosão, encarecendo todo o processo. Nesse contexto, a tecnologia de hidrólise enzimática destaca-se em relação às demais, demonstrando altos rendimentos (75%-85%) que pode alcançar valores entre 85% e 95% meio de um processo inovador (CGEE e BNDES, 2008). Além disso, a utilização de enzimas pode representar grandes vantagens econômicas (equipamentos mais baratos e menor custo operacional) e ambientais (sem produção de resíduos).

Por fim, nos últimos 20 anos essa tecnologia tem se apresentado como uma alternativa para o mercado de biocombustíveis. Nesta direção, há diversos programas de pesquisa e desenvolvimento em execução em países desenvolvidos e em desenvolvimento em escalas experimentais de produção. Portanto, a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação dos combustíveis de 2ª geração, em níveis mais avançados, possibilitaria a produção de etanol em diversas regiões do planeta, onde existam grandes disponibilidades de resíduos orgânicos como, por exemplo, resíduos de biomassa e lixo urbano com alto teor de material lignocelulósico.

## **5.2 Maiores empresas produtoras de etanol de 1ª geração no Brasil**

Em primeiro lugar, a Cosan, fundada em 1936, destaca-se na liderança do setor como a maior empresa produtora de etanol de 1ª geração, tornando-se uma das maiores produtoras e exportadoras de açúcar e etanol, de acordo com a Figura 5-4. Além disso, a Cosan é a maior geradora mundial de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar. O grupo é formado por 23 unidades produtoras (21 em São Paulo, 01 em Jataí-GO e 01 em Caarapó-MS), quatro refinarias de açúcar e dois terminais portuários. Desta forma, a empresa é capaz de moer aproximadamente 60 milhões de toneladas de capacidade de moagem de cana de açúcar e produzir mais de 2 bilhões de litros de etanol por ano. No segundo semestre de 2010, a Shell International Petroleum Company Limited (Shell) e Cosan S.A. (Cosan) realizaram uma joint venture avaliada em US\$ 12 bilhões, tornando-se um dos maiores produtores mundiais de etanol, com a capacidade de produção anual de mais de 2 bilhões de litros.

Na segunda posição, está a Santelisa Vale, uma das maiores produtoras de açúcar e etanol do mundo, e pioneira na cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar. A empresa é constituída por unidades situadas em São Paulo, com a capacidade de processar 18 milhões de toneladas de cana por ano, que resulta na produção de 800 milhões de litros de etanol e 1,25 milhões de toneladas de açúcar por ano. Além disso, a Santelisa Vale produz energia elétrica a partir da biomassa, o que mantém a autossuficiência dos complexos industriais e proporciona um excedente de 400 mil Mwh exportados a rede de distribuição.

No entanto, após o fim das negociações em 2009, a LDC Bioenergia, incorporada ao grupo Louis Dreyfus Commodities (LDC) e a Santelisa Vale (SEV) se associaram para formar a LDC-SEV, o segundo maior grupo do setor de etanol. A nova organização compreende 13 usinas, capazes de moer 40 milhões de toneladas de cana por ano, resultando em 2,7 milhões de toneladas de açúcar e 1,5 bilhões de litros de etanol. Além disso, a nova organização também será responsável pela cogeração de 982 mil MWh de energia elétrica, alcançando, em até 2 anos, a capacidade ampliada de 1,6 GWh, o que seria suficiente para atender a demanda de um estado do tamanho do Espírito Santo.

**Tabela 5-2 – Ranking de produção por grupos (Safrá 2007/2008)**

No.	Grupos	Moagem (t)	Açúcar (t)	Etanol (m <sup>3</sup> )		
				Anidro	Hidratado	Total
1	Cosan	39.973.064	3.221.215	704.341	806.272	1.510.612
2	Santelisa	16.715.872	1.103.964	324.833	399.415	724.248
3	São Martinho	9.484.042	488.925	279.058	202.742	481.800
4	Zilor	8.980.958	579.031	244.666	198.194	442.860
5	Coruripe	10.434.219	792.412	268.551	169.042	437.592
6	Pedra agroindustrial	6.946.264	271.047	156.969	272.799	429.768
7	Moema	8.381.370	489.966	116.990	308.984	425.974
8	Carlos Lyra	12.363.470	630.006	239.732	168.461	408.193
9	Tereos	12.133.680	1.079.249	76.043	318.328	394.371
10	Louis Dreyfus Commodities	11.478.519	698.326	140.887	245.721	386.608
	<b>Total</b>	<b>136.891.458</b>	<b>9.354.141</b>	<b>2.552.070</b>	<b>3.089.958</b>	<b>5.642.026</b>

Fonte: UDOP, União dos Produtores de Bioenergia (2010).

O grupo São Martinho também está entre os maiores grupos do setor sucroalcooleiro no Brasil, posicionando-se na terceira posição de acordo com a Tabela 5-2. O grupo é formado por três usinas: São Martinho, em Pradópolis (Ribeirão Preto, SP); Iracema, em

Iracemápolis (Limeira, SP) e Boa Vista (Quirinópolis, GO). As usinas São Martinho e Iracema possuem a capacidade tecnológica para produzir tanto açúcar quanto etanol. Entretanto, a Usina Boa Vista está dedicada à produção exclusiva de etanol. Além disso, as três usinas do grupo também geram energia elétrica a partir da queima da biomassa, garantindo autossuficiência e a venda do excedente para a rede de distribuição. Na safra 2009/2010, a Usina São Martinho atingiu o recorde brasileiro de moagem em uma única unidade (8,1 milhões de toneladas), o que transformou a usina na maior unidade processadora de cana-de-açúcar do mundo. Nesta safra, o grupo São Martinho processou 12,9 milhões de toneladas de cana, o que resultou na produção de aproximadamente 702 mil toneladas de açúcar, 594 milhões de litros de etanol e 158 mil MWh de energia elétrica.

A Zilor assumiu a quarta posição no setor na safra de 2007/2008, de acordo com a Tabela 5-2. Nos últimos anos, a empresa, fundada em 1946, dedicou-se à produção de açúcar e etanol e, recentemente, expandiu os seus negócios em suas unidades para gerar energia elétrica a partir da biomassa. A Zilor é constituída por quatro unidades no interior de São Paulo: Barra Grande, São José, Quatá e Biorigin, onde está instalado um centro de pesquisa e desenvolvimento e duas operações internacionais. Na safra 2008/2009, o grupo produziu cerca de 557 milhões de litros de etanol anidro e hidratado.

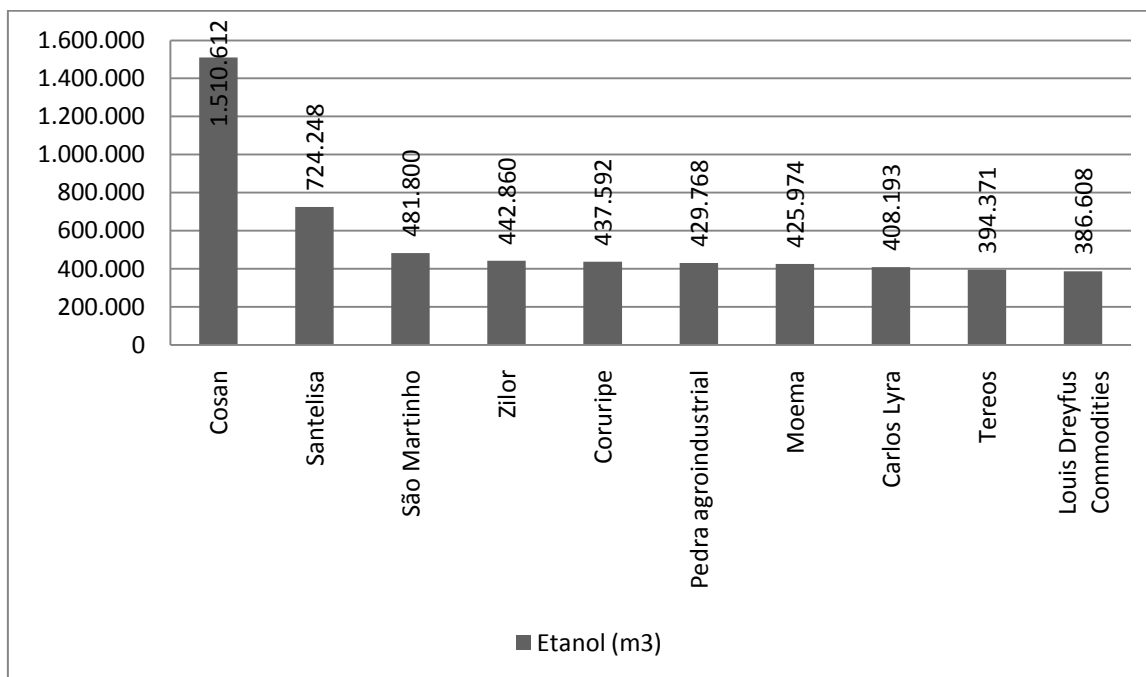
Na quinta posição, a usina Coruripe, fundada em 1925, no município de Coruripe (AL), é uma empresa familiar de capital fechado e está direcionada para a produção de açúcar, álcool e energia, por meio de suas quatro unidades: a Matriz (com sede em Coruripe, AL) e três filiais (Iturama, Campo Florido e Limeira do Oeste, em Minas Gerais). Na safra 2009/2010, a Usina Coruripe matriz e suas filiais processaram mais de 11 milhões de toneladas de cana, o que resultou na produção de 17,82 milhões de sacas de açúcar e mais de 360 milhões de litros de álcool.

Em sexto lugar, a Pedra Agroindustrial, criada em 1931, é uma empresa de agronegócio, associada à Copersucar, e atua em toda a cadeia tecnológica de açúcar e bioenergia. Entre as principais atividades, assumem uma posição de destaque a produção de etanol, açúcar e energia elétrica a partir da cana-de-açúcar. O grupo é formado por quatro unidades produtoras no estado de São Paulo: Usina da Pedra, em Serrana; Usina Buriti, em Buritizal; Usina Ibirá, em Santa Rosa de Viterbo e Usina Ipê, em Nova Independência.

Desta forma, a empresa, constituída por unidades em São Paulo, possui a capacidade de produzir 425 milhões de litros de etanol e 5,5 milhões de sacas de açúcar por ano.

Na sétima posição, de acordo com a Tabela 5-2, encontra-se o grupo Moema. As cinco usinas do grupo (Moema, Frutal, Itapagibe, Ouroeste e Guariroba) processaram 13,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2009/2010. Nos últimos anos, direcionou as suas atividades para a produção de açúcar, etanol e para a geração de energia elétrica a partir da biomassa. Na safra 2007/2008, as usinas do grupo Moema produziram mais de 400 milhões de litros de álcool. Entretanto, a multinacional Bunge, uma das maiores companhias do agronegócio do mundo, adquiriu em 2009 as participações em 6 usinas do grupo Moema, consolidando a sua participação no setor sucroalcooleiro. Após a aquisição, a Bunge será capaz de moer 13,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzir 16,5 milhões de sacas de açúcar e 637 milhões de litros de etanol por ano, assumindo a terceira ou a quarta posição do ranking.

**Figura 5-4 – Ranking de produção de etanol de 1ª geração por grupos (Safr 2007/2008)**



Fonte: UDOP, União dos Produtores de Bioenergia (2010).

Após o grupo Moema, está o grupo Carlos Lyra em oitavo lugar. O grupo é constituído atualmente por três unidades em Alagoas: a matriz, localizada no Vale de São Miguel dos Campos, e as unidades Marituba e Cachoeira; e outras duas no Triângulo Mineiro: Usina



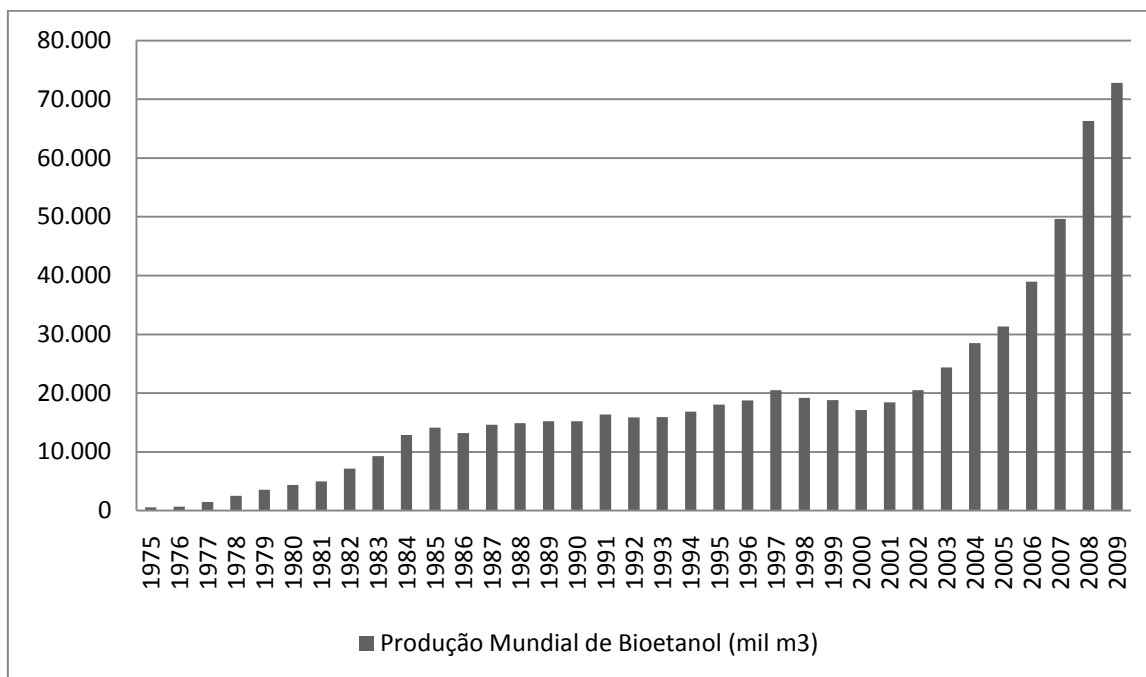
Volta Grande e Usina Delta. O Grupo Carlos Lyra tem capacidade de moagem de 13 milhões de toneladas de cana e produção de 1,1 milhão de toneladas de açúcar e 350 milhões de litros de etanol.

Finalmente, o grupo Tereos, controlador da Guarani, com sede na França, destaca-se entre os líderes mundiais de etanol, assumindo a nona posição no ranking brasileiro na safra 2007/2008. A principal atividade da Guarani também reside na transformação da cana-de-açúcar em açúcar, etanol e energia elétrica, realizada por meio de suas 7 unidades: Cruz Alta, Severínia, São José, Andrade, Tanabi, Vertente e Mandu, no Brasil. Na safra 2009/10, a empresa transformou-se na a terceira maior processadora de cana-de-açúcar e a terceira maior produtora de açúcar e etanol do Brasil, com capacidade de moagem de 14,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e produção de 996 mil toneladas de açúcar, 482 milhões de litros de etanol e 117,8 mil MWh de energia. Recentemente, Petrobras Distribuidora e a Petrobras Biocombustível assumiram, em 2010, com investimentos de R\$ 2,1 bilhões, a participação no capital da Tereos Internacional (Açúcar Guarani), influenciando o processo de concentração do setor sucroalcooleiro. Desta forma, a Petrobras Biocombustível estabeleceu com a Guarani um contrato para produzir até 2,2 bilhões de litros de etanol por quatro anos.

### **5.3 Evolução da produção de etanol em nível internacional e no Brasil**

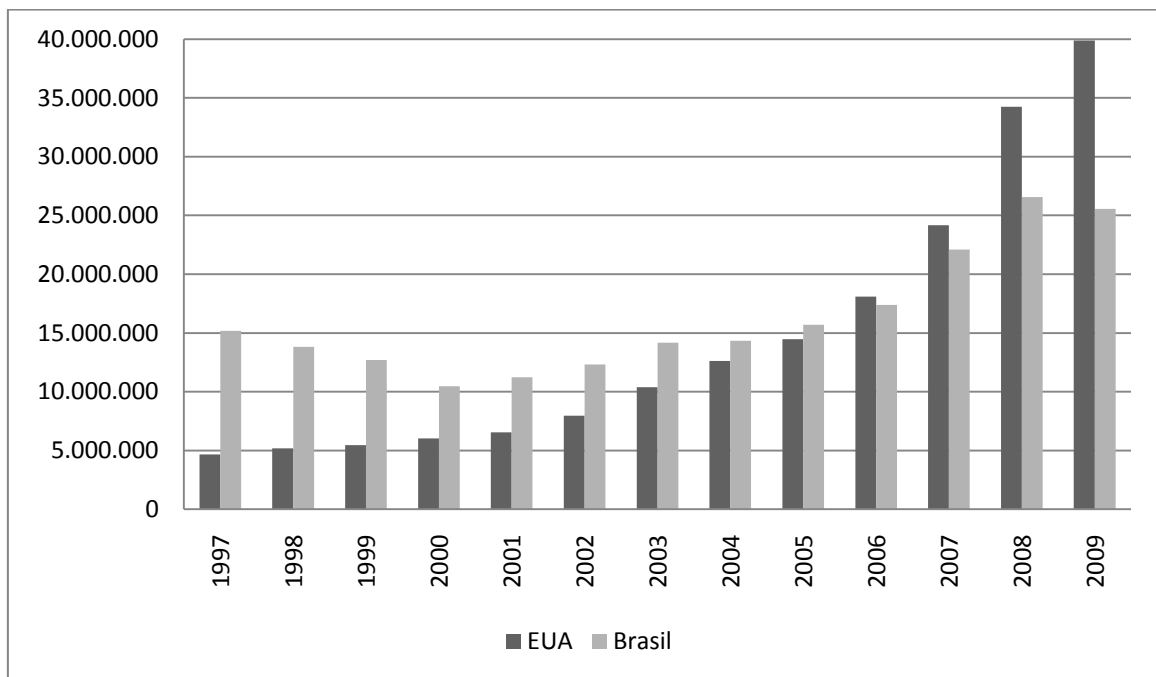
#### ***5.3.1 Principais países produtores de etanol em nível internacional***

O setor internacional de etanol apresenta um histórico de expansão na produção mundial de etanol, que se intensificou nos últimos 10 anos. Esse processo foi liderado principalmente pelos dois maiores produtores mundiais de etanol, Estados Unidos e Brasil, com o objetivo de reduzir a dependência por recursos fósseis, ou seja, substituir o uso de combustíveis derivados de petróleo. No ano de 2001, a indústria iniciou o período de crescimento com um total de 18 bilhões de litros de etanol produzidos, conforme apresentado na Figura 5-5. Após nove anos, no fim de 2009, a indústria de etanol mundial atinge a produção recorde de 72 bilhões de litros de etanol (FO Licht 2007 e 2009), seguindo a trajetória de expansão, como mostra a Figura 5-5.

**Figura 5-5 – Visão panorâmica da produção mundial de etanol (1975 - 2009)**

Fonte: FO LICHT (2007 e 2009).

Os dados acima sobre a produção de etanol revelam uma importante vertente de expansão e diversificação na indústria. Entre 1997 e 2009, o consumo de etanol no Brasil cresceu de aproximadamente 15,1 bilhões de litros anuais para 25,5 bilhões de litros anuais. O Brasil manteve a liderança mundial na produção de etanol até o ano de 2005, quando foi superado pela indústria de etanol americana, como podemos constatar na Figura 5-6 e nos dados da Tabela 5-3. A partir de 2006, os Estados Unidos tornaram-se os maiores produtores de etanol do mundo, assumindo a liderança global na produção de etanol com a marca de 39 bilhões de litros de etanol produzidos. No período entre 1997 e 2009, o consumo de etanol nos Estados Unidos expandiu de aproximadamente 4,6 bilhões de litros anuais para 39,8 bilhões de litros anuais.

**Figura 5-6 – Produção de etanol no Brasil e EUA em m<sup>3</sup> (1997 – 2009)**

*Fonte:* Elaborado com base em British Petroleum (2010).

Entretanto, a produção de etanol está concentrada em poucos países. Os EUA e o Brasil destacam-se entre os maiores produtores desse biocombustível. A produção norte-americana, baseada no milho, e a brasileira, baseada na cana-de-açúcar, representam mais de 87% da produção mundial de etanol. A Europa (França, Alemanha, Espanha e outros) aparece em terceiro lugar, tendo produzido 2,7 bilhões de litros de etanol. Em 2002, a China inicia a produção local de etanol e atinge uma produção de 2,0 bilhões de litros em 2009, ocupando a quarta posição. A indústria de etanol no Brasil assume um papel de grande importância, no contexto dos biocombustíveis, para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social brasileiro. Na próxima parte, será apresentada a seguir, com maior nível de detalhes, a indústria de etanol no Brasil, examinando as iniciativas e os principais fatores históricos que influenciaram ou restringiram o desenvolvimento econômico e a acumulação das capacidades tecnológicas.

**Tabela 5-3 – Evolução da produção mundial de etanol em m<sup>3</sup> (1997 – 2009)**

País	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>EUA</b>	4.654.902	5.170.588	5.454.678	6.039.374	6.534.249	7.954.902	10.397.979	12.618.301	14.471.241	18.103.489	24.169.794	34.236.041	39.874.720
<b>Brasil</b>	15.170.588	13.827.451	12.711.048	10.476.987	11.226.729	12.325.962	14.168.035	14.341.639	15.705.214	17.393.610	22.086.251	26.567.056	25.558.360
<b>China</b>	0	0	0	0	0	284.098	784.110	977.296	1.136.391	1.931.865	2.045.504	2.002.352	2.007.223
<b>Outros – América</b>	0	1.961	8.233	10.762	6.702	179.981	267.230	300.535	453.162	999.179	1.213.861	1.800.360	1.800.360
<b>Canadá</b>	0	0	96.593	210.232	221.596	227.278	227.278	225.201	249.679	577.690	832.265	1.360.998	1.694.883
<b>França</b>	0	0	113.639	112.478	112.478	218.405	197.763	98.893	140.995	286.887	565.940	979.135	1.018.299
<b>Alemanha</b>	0	0	0	0	0	0	0	24.478	161.557	422.007	385.779	556.149	744.141
<b>Outros- Europa</b>	0	0	0	24.720	55.621	61.925	64.273	100.379	199.021	302.270	229.472	434.232	544.227
<b>Espanha</b>	0	0	0	98.882	98.882	111.860	101.354	248.700	296.678	387.737	340.739	310.386	453.619
<b>Tailândia</b>	0	0	0	0	0	0	0	5.682	58.748	126.073	178.692	322.527	390.675
<b>Colômbia</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	97.913	263.387	277.683	252.617	318.154
<b>Austrália</b>	0	0	0	39.774	39.774	39.774	50.132	23.108	26.701	61.390	109.663	148.829	210.514
<b>Hungria</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	34.270	33.291	29.374	146.870	146.870
<b>Polônia</b>	0	0	0	0	0	0	54.376	46.998	62.665	157.641	68.539	195.827	111.527
<b>Republica Checa</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1.384	14.687	32.311	74.414	110.642
<b>Outros- África</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.978	70.498	105.747
<b>Índia</b>	0	0	0	166.407	169.322	178.982	176.244	146.870	97.913	117.496	137.079	244.624	86.164
<b>Inglaterra</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.046	68.370	68.370
<b>Turquia</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	29.412	39.216	39.216	39.216	39.216
<b>Paquistão</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.456	34.092	34.269	34.269
<b>Indonésia</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.669	11.084	8.916	8.916
<b>Nova Zelândia</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.350	2.350
<b>TOTAL</b>	<b>19.825.490</b>	<b>19.000.000</b>	<b>18.384.190</b>	<b>17.179.616</b>	<b>18.465.353</b>	<b>21.583.165</b>	<b>26.488.774</b>	<b>29.158.080</b>	<b>33.222.946</b>	<b>41.270.039</b>	<b>52.852.362</b>	<b>69.856.035</b>	<b>75.329.246</b>

Fonte: Adaptado de British Petroleum (2010) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Os dados originais foram convertidos de acordo com o seguinte fator de conversão: 1 m<sup>3</sup> etanol = 0.51 toe (tonne of oil equivalent).

### 5.3.2 O setor brasileiro de produção de etanol de cana-de-açúcar

Nesse mercado, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol, destacando-se entre os produtores mundiais de etanol à base de cana-de-açúcar. No entanto, a criação de capacidades tecnológicas para produção desse biocombustível passou por períodos de grandes mudanças econômicas e tecnológicas durante as últimas quatro décadas. A Figura e a Tabela 5-4 abaixo apresentam a evolução da produção brasileira de etanol (anidro e hidratado), entre 1970 e 2008.

**Tabela 5-4 – Evolução da produção brasileira de etanol em m<sup>3</sup> (1970 – 2008)**

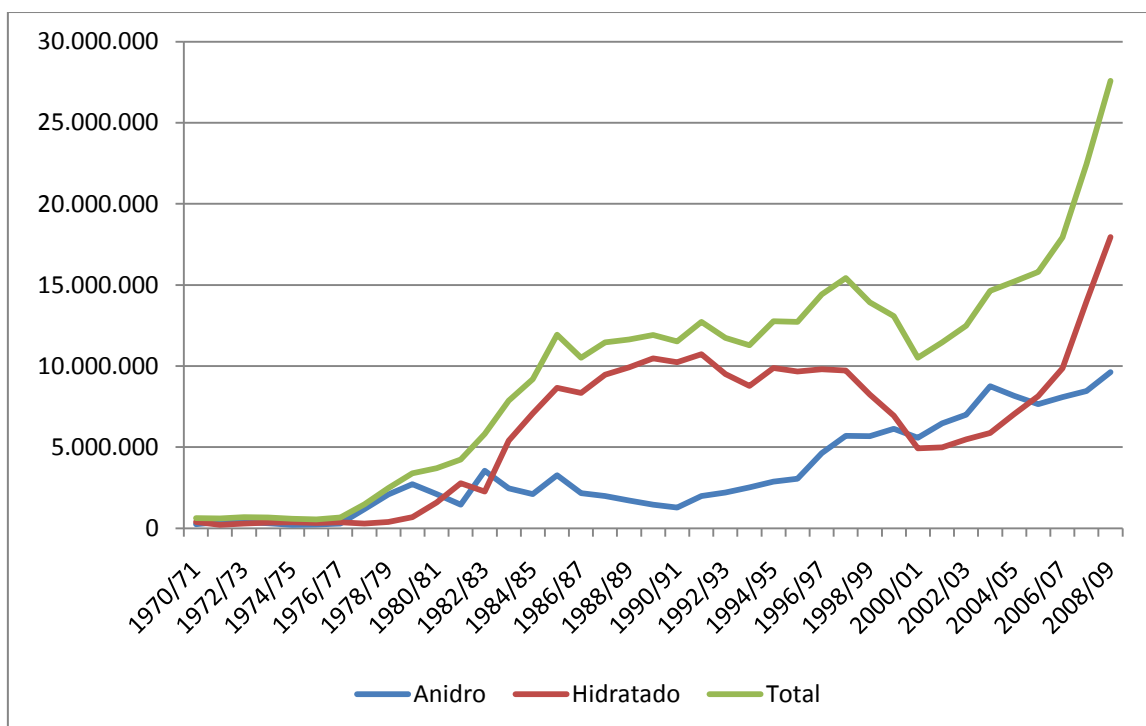
SAFRA	ETANOL (m <sup>3</sup> )		
	ANIDRO	HIDRATADO	TOTAL
1970/71	252.317	384.833	637.150
1971/72	389.948	223.120	613.068
1972/73	388.891	292.081	680.972
1973/74	306.215	359.763	665.979
1974/75	216.528	378.457	594.985
1975/76	232.621	323.006	555.627
1976/77	300.340	363.982	664.322
1977/78	1.176.948	293.456	1.470.404
1978/79	2.095.597	395.006	2.490.603
1979/80	2.715.381	681.071	3.396.452
1980/81	2.105.289	1.601.086	3.706.375
1981/82	1.453.098	2.787.025	4.240.123
1982/83	3.549.405	2.273.634	5.823.039
1983/84	2.469.443	5.394.803	7.864.246
1984/85	2.102.585	7.089.744	9.192.329
1985/86	3.273.201	8.658.398	11.931.599
1986/87	2.163.469	8.343.243	10.506.712
1987/88	1.982.414	9.475.982	11.458.396
1988/89	1.716.490	9.928.392	11.644.882
1989/90	1.452.625	10.467.850	11.920.475
1990/91	1.286.568	10.228.583	11.515.151
1991/92	1.986.794	10.735.439	12.722.233
1992/93	2.216.385	9.513.106	11.729.491
1993/94	2.522.589	8.769.596	11.292.185
1994/95	2.873.470	9.892.440	12.765.910
1995/96	3.057.557	9.659.202	12.716.759
1996/97	4.629.340	9.801.109	14.430.449
1997/98	5.699.719	9.722.534	15.422.253
1998/99	5.679.998	8.246.823	13.926.821
1999/00	6.140.769	6.936.996	13.077.765
2000/01	5.584.730	4.932.805	10.517.535
2001/02	6.479.187	4.988.608	11.467.795
2002/03	7.009.063	5.476.363	12.485.426
2003/04	8.767.898	5.872.025	14.639.923
2004/05	8.172.488	7.035.421	15.207.909
2005/06	7.663.245	8.144.939	15.808.184
2006/07	8.078.306	9.861.122	17.939.428
2007/08	8.464.520	13.981.459	22.445.979
2008/09	9.623.020	17.959.717	27.582.737

Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009).

Nos anos 1970, a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) promoveu uma enorme expansão da capacidade produtiva do setor de etanol. Nesse período, ocorreu um crescimento acelerado na produção, entre 1975 e 1985, o que permitiu o Brasil reduzir sua dependência em relação à importação de petróleo. Além disso, o preço internacional do barril de petróleo atingiu patamares muito elevados devido ao primeiro choque do petróleo.

Nessa época, a indústria automobilística local também foi incentivada a produzir veículos movidos a etanol hidratado. A expansão na comercialização de automóveis a etanol foi muito importante para o desenvolvimento e a manutenção da economia brasileira, na metade da década de 1970, quando a pressão exercida pelo mercado internacional do petróleo passou a influenciar a taxa cambial do País. Além da adoção do etanol como combustível alternativo à gasolina, o Proálcool também propôs a substituição do chumbo tetraetila pela adição de um percentual de etanol anidro à gasolina.

**Figura 5-7 – Evolução da produção brasileira de etanol em m<sup>3</sup> (1970 - 2009)**



Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009).

Após 1985, ocorreu o progressivo declínio do programa Proálcool, com a queda no preço do petróleo e nas vendas de carros a etanol e, conseqüentemente, na produção de etanol hidratado. No entanto, esta queda não significou a estagnação da indústria de etanol. Nos anos seguintes, essa indústria manteve uma taxa crescimento moderada devido à manutenção de um percentual de etanol anidro misturado à gasolina, o que incentivou a implantação de novas destilarias anexas às usinas de açúcar, contribuindo para acumulação de capacidades de produção e a redução dos seus custos.

A partir de 2000, a indústria de etanol brasileira inaugurou um período de crescimento, encerrando o ano com uma produção de 11.4 milhões de m<sup>3</sup> (11.4 bilhões de litros). Em 2003, novas alternativas tecnológicas surgiram para o uso do etanol hidratado, principalmente com a introdução de uma nova tecnologia para a frota de veículos leves: os carros flexfuel, os quais podem ser abastecidos porcentagem variável na mistura entre etanol e gasolina. Esse período de expansão estende-se até a última safra de 2008, quando a indústria alcança uma produção total de 27.5 milhões de m<sup>3</sup> (27.5 bilhões de litros) de etanol produzidos no Brasil.

Nessas últimas quatro décadas (1970-2009), conforme observado na Figura e na Tabela 5-4, a indústria de etanol brasileira se expandiu a taxas elevadas, contribuindo para o desenvolvimento econômico e para a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras a fim de melhorar a eficiência da produção de matérias-primas e também dos respectivos processos de conversão em biocombustíveis.

## **CAPÍTULO 6 : CO-EVOLUÇÃO DO MARCO INSTITUCIONAL E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE ETANOL NO BRASIL DURANTE O REGIME DE INDUSTRIALIZAÇÃO POR SUBSTITUIÇÃO DE IMPORTAÇÕES – 1º PERÍODO (1970-1989)**

O capítulo presente discorre sobre co-evolução institucional e tecnológica no setor sucroalcooleiro brasileiro durante o regime de industrialização por substituição de importações, entre 1970 e 1989. Primeiro, a Seção 6.1 introduz a evolução das macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisa e as universidades durante o regime de industrialização por substituição de importações, no setor de etanol no Brasil. Na Seção 6.2 apresento a evolução na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas e industriais, ocorrida entre 1970 e 1989, no setor de etanol no Brasil.

### **6.1 Evolução das instituições no setor de etanol (1970-1989)**

#### ***6.1.1 Evolução das macro-instituições e meso-instituições (1970-1989)***

O surgimento e a transformação institucional e tecnológica do setor sucroalcooleiro no Brasil possuem histórico marcado por variações no relacionamento governamental com o setor, de acordo com as circunstâncias e interesses de cada época. Esse relacionamento começa a ser construído em 1933, quando o governo criou o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA). “A partir da criação do IAA, na década de 1930, o produtor da agroindústria canavieira passou a estar sujeito a uma série de arranjos institucionais que ligavam os interesses organizados do setor com as estruturas de decisão do estado.” (SHIKIDA et al, 2004). Para os mesmos autores, a institucionalização do processo de intervenção governamental no setor estava alinhada às solicitações dos próprios produtores. Nesse sentido, as antigas reivindicações dos senhores de engenhos, usineiros e fornecedores, de institucionalizar um órgão controlador da economia canavieira resultaram na criação do IAA.

No início da década de 1930, um dos principais mecanismos de relacionamento entre o governo e o setor de etanol brasileiro já estava substanciado na determinação do governo brasileiro em misturar etanol à gasolina, mediante o decreto assinado em 1931, pelo então



presidente Getúlio Vargas. Essa medida instituiu a mistura compulsória de, no mínimo, 5% de etanol anidro inicialmente à gasolina importada e em seguida à produzida no Brasil. O decreto pretendia reduzir os impactos da dependência de combustíveis derivados de petróleo e também utilizar os excedentes de produção da indústria açucareira (BNDES e CGEE 2009). Mais tarde, em 1938, o governo tornou obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina produzida no país, qualquer que seja o método ou processo de sua fabricação, cuja proporção era fixada pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP) e pelo IAA.

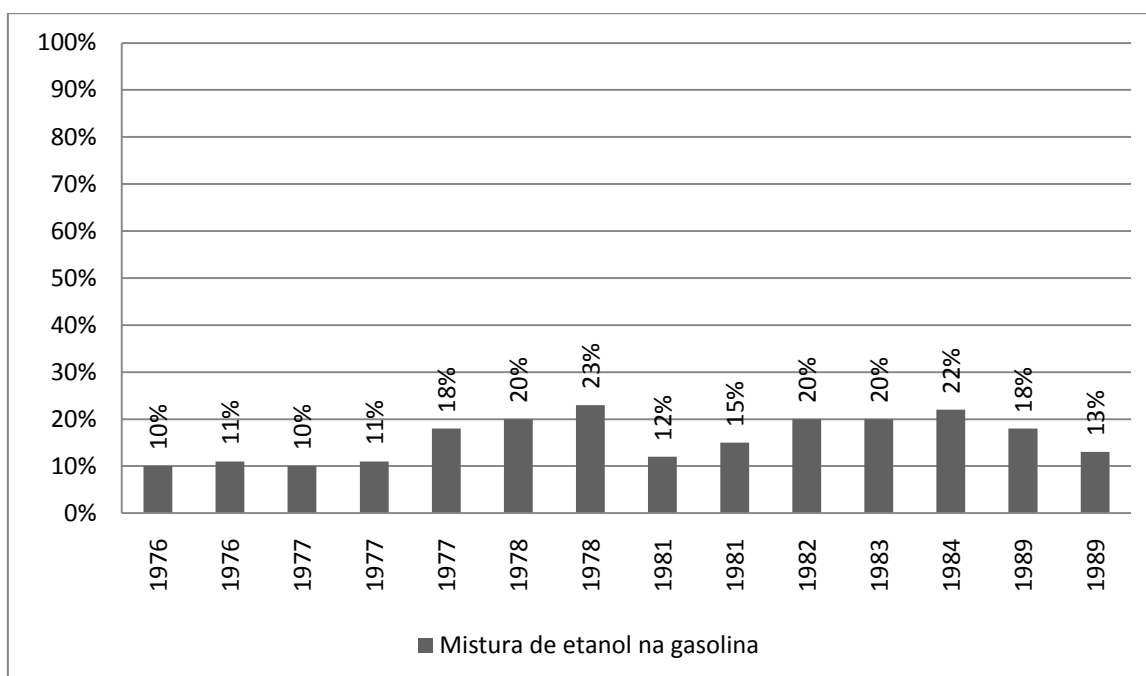
Durante os anos 1970, período marcado pela intervenção do governo no setor de etanol, Avó (2008) descreve as ações e o controle exercido pelo governo brasileiro através do IAA no setor sucroalcooleiro. O IAA controlava cotas de produção e o preço tanto da cana-de-açúcar quanto do biocombustível produzido. Além disso, esse instituto obrigava os usineiros a adquirir a cana-de-açúcar de fornecedores específicos, exercendo influência tanto na etapa agrícola e quanto na industrial. Nesse contexto, o IAA definia as regras do jogo no setor sucroalcooleiro, impondo restrições e limitando a ação dos empresários do setor. Por exemplo, a legislação imposta pelo IAA modelou a estrutura do setor sucroalcooleiro, direcionando as famílias, proprietárias das unidades industriais, a centralizarem esforços na produção de açúcar e álcool. Por outro lado, a comercialização do produto permanecia controlada pelo IAA e os produtores não tinham acesso ao mercado internacional nessa época.

Na década de 1970, os impactos da 1ª crise do petróleo influenciam o processo de tomada de decisões em direção à produção e à comercialização de álcool no Brasil. Nessa época, o país importava mais de 80% de petróleo, portanto, o Proálcool se apresentava como uma alternativa direta aos efeitos do primeiro choque do petróleo, em 1973, quando o preço do petróleo aumentou vertiginosamente de US\$ 2,91 para US\$ 11,65 (Fonseca et al, 2007). O aumento dos preços internacionais do petróleo impactou os gastos governamentais com a importação do produto, saltando de US\$ 600 milhões, em 1973, para US\$ 2,5 bilhões, em 1974, o que resultou no déficit na balança comercial de US\$ 4,7 bilhões (BNDES e CGEE, 2009). Durante as décadas seguintes, esses resultados desequilibraram a dívida externa brasileira e o controle da inflação no Brasil.

Nesse período, o governo do general Ernesto Geisel, preocupado em amenizar os impactos da 1ª crise do petróleo, instituiu um plano econômico, em 1974, chamado II Plano

Nacional de Desenvolvimento (II PND), o qual pretendia substituir as importações e estimular a produção de matérias-primas, bens de capital, alimentos e energia. O setor de etanol estava entre os setores beneficiados pelo II PND, primeiramente por meio da modernização das usinas e mais tarde, em 1975, com a criação do Proálcool, que preenchia a estratégia de autossuficiência energética do país (Belik, 1992). Nesse contexto, as diretrizes apresentadas no II PND estavam voltadas à redução da dependência do petróleo importado, através do investimento em pesquisa, exploração e refinamento de petróleo no Brasil e também para o investimento em fontes alternativas de energia como o álcool.

**Figura 6-1 – Evolução da regulamentação do teor de etanol misturado na gasolina entre 1970 e 1989 no Brasil**



Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009a, 2010).

No final de 1975, o governo instituiu o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) com o objetivo de reduzir os impactos da 1ª crise do petróleo e expandir a produção do álcool etílico anidro, viabilizando a sua utilização como combustível misturado à gasolina e como matéria-prima para a indústria química. Nesse período, a saturação do mercado internacional de açúcar também provocou a queda nos preços de comercialização desse produto (CGEE, 2009). O percentual de etanol misturado à gasolina brasileira permaneceu estável, em média, em 7,5% até 1975 (BNDES e CGEE, 2009). Nos seguintes, conforme

apresenta a Figura 6-1, os impactos da 1ª crise do petróleo provocaram a necessidade de aumentar o teor desse biocombustível nos motores.

Shikida et al (2004) justificam a viabilização do Proálcool por meio da articulação dos interesses entre os empresários das usinas e destilarias, o governo, os fabricantes de máquinas e equipamentos e a indústria automobilística. Os usineiros estavam interessados em diversificar a produção e criar um novo mercado devido às crises rotineiras da economia açucareira e da indústria que precisava avançar tecnologicamente e tendia ao excesso de capacidade. O governo pretendia economizar divisas, reduzir as desigualdades regionais de renda, expandir o crescimento da renda interna, gerar empregos e expandir a produção local de bens de capital. Os fabricantes de máquinas e equipamentos (indústria de bens de capital) visualizavam a continuidade do crescimento. Por fim, para a indústria automobilística o carro movido a álcool surgia como alternativa para a continuidade da política de transporte baseada em rodovias, que passava por um período de risco devido à 1ª crise do petróleo.

Nessa realidade, o sucesso do Proálcool propiciaria ao país a substituição de parte do combustível derivado do petróleo. A estratégia do Proálcool estava fundamentada no aproveitamento da capacidade ociosa das destilarias anexas às usinas de açúcar, que seria aproveitada para a expansão da produção de álcool a ser misturado à gasolina (Bacha e Shikida, 1999). Além disso, esse programa apresentava uma alternativa para o setor sucroalcooleiro porque deslocaria parte da produção de açúcar para a produção de etanol.

“O conjunto de incentivos adotados pelo Proálcool nessa época, que se mostrou efetivamente capaz de motivar os agentes econômicos, incluía: a) definição de níveis mínimos mais altos no teor de etanol anidro na gasolina, que foram, progressivamente, elevados até atingirem 25%; b) garantia de um preço ao consumidor para o etanol hidratado menor do que o preço da gasolina (nessa época, os preços dos combustíveis, ao longo de toda a cadeia produtiva, eram determinados pelo governo federal); c) garantia de remuneração competitiva para o produtor de etanol, mesmo frente a preços internacionais mais atrativos para o açúcar do que para o etanol (subsídio de competitividade); d) abertura de linhas de crédito com empréstimos em condições favoráveis para os usineiros incrementarem sua capacidade de produção; e) redução dos impostos (na venda de carros novos e no

licenciamento anual) para os veículos a etanol hidratado; f) estabelecimento da obrigatoriedade de venda de etanol hidratado nos postos; e g) manutenção de estoques estratégicos para assegurar o abastecimento na entressafra.” (BNDES e CGEE, 2008, p. 155).

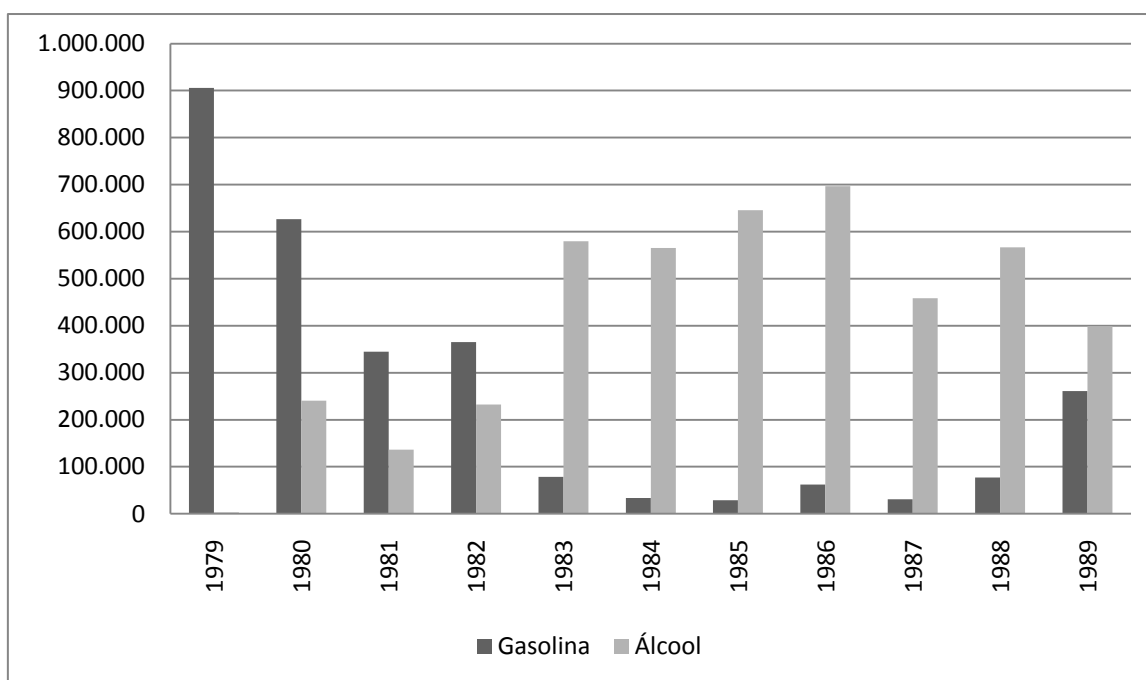
A evolução do Proálcool e o seu relacionamento com o setor canavieiro são analisados por Bacha e Shikida (1999) a partir de uma perspectiva temporal segregada em três fases: 1975 a 1979 (expansão "moderada"); 1980 a 1985 (expansão "acelerada"); 1986 a 1995 ("desaceleração e crise"). Durante a primeira fase, de 1975 a 1980, foram investidos no Proálcool US\$ 1,019 bilhão (75% de recursos públicos e 25% de recursos privados). Esses recursos financiaram 209 projetos com a finalidade de instalar ou modernizar destilarias em áreas tradicionais do setor canavieiro como, por exemplo, São Paulo, Alagoas, Pernambuco e Rio de Janeiro. Além disso, a primeira fase do Proálcool ultrapassou em 13,2% a meta de produção de 3 bilhões de litros de álcool na safra 1979/80 (Bacha e Shikida, 1999).

Na primeira fase de expansão moderada, entre 1975 e 1979, o governo incrementou o teor de mistura de etanol, afetando diretamente a demanda real de etanol anidro brasileiro e garantindo um mercado estável para os produtores de etanol. Nessa etapa, um conjunto de portarias, publicado pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), por meio do estabelecimento de metas, tornaram obrigatórias as misturas de álcool etílico anidro à gasolina em certas percentagens. Por exemplo, as portarias do CNP fixaram, em 1976, em 10% e mais tarde no ano de 1978, em 23%, o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina, conforme o histórico apresentado na Figura 6-1.

No entanto, a 2ª crise do petróleo em 1979 provocou a valorização do preço do barril, que alcançou o valor de US\$ 30 e estimulou o governo brasileiro a reduzir a dependência dos combustíveis à base de petróleo. Nesse contexto, o governo brasileiro criou um novo conjunto de mecanismos fiscais e tributários para minimizar os efeitos da 2ª crise do petróleo e estimular a expansão da produção de álcool anidro, hidratado e veículos movidos a álcool, afetando todo o setor sucroalcooleiro, desde o produtor até o cliente final (Fonseca et al, 2007).

Na segunda fase do Proálcool (1980 a 1985), de acordo com Bacha e Shikida (1999), a produção de álcool hidratado intensificou-se com a expansão das destilarias autônomas. Nesse período, os mecanismos do Proálcool estimularam a produção na indústria de máquinas e equipamentos e na indústria automobilística, diante da possibilidade de expandir esses mercados. A Petrobras continuou responsável pela venda do álcool, garantindo a aquisição do produto e parte dos custos de estocagem.

**Figura 6-2 – Comercialização de automóveis por tipo de combustível entre 1979 e 1989**



Fonte: ANFAVEA/UNICA, 2010.

Além disso, o governo instituiu mecanismos inovadores para estimular vendas do veículo a álcool, como, a redução da alíquota do imposto sobre produtos industrializados (IPI), a isenção do IPI para táxi a álcool e a manutenção de limites do preço ao consumidor de álcool hidratado de 65% em relação ao preço da gasolina. A Figura 6-2 apresenta o impacto dessas medidas na indústria automobilística, quando o total de vendas de automóveis movidos a álcool saltou de 240.643 carros, em 1980, para 645.551 carros, em 1985. Durante a segunda fase de expansão acelerada, entre 1980 e 1985, foram investidos nesse programa US\$ 5,4 bilhões, dos quais 56% capital público e 44% capital privado (Bacha e Shikida, 1999).

Nesse mesmo período de expansão, entre 1980 a 1985, algumas medidas governamentais do CNP reduziram o percentual de mistura de etanol à gasolina, estimulando a produção de álcool hidratado e reduzindo o teor para 12% em 1981. Entretanto, o governo voltou a elevar o patamar dessa mistura durante os anos seguintes com a publicação de um conjunto de portarias como, por exemplo, em 1984, estabelecendo a mistura obrigatória de álcool anidro na gasolina brasileira com o percentual de 22%, conforme exposto na Figura 6-1.

Finalmente, a terceira fase do Proálcool, entre 1986 e 1995, é marcada pela desaceleração e crise do setor. Esse período compreende uma fase de redução dos investimentos no programa, ou seja, cerca de U\$ 0,5 bilhão foram aportados, dos quais 39% capital público e 61 % capital privado (Bacha e Shikida, 1999). Os aumentos da dívida externa e das taxas de inflação do país também afetaram a capacidade financeira do governo e resultaram na queda dos investimentos governamentais no setor de etanol (Fonseca et al, 2007). A partir de 1985, os preços do petróleo iniciam uma tendência de queda (contrachoque do petróleo), influenciando a redução no preço do álcool. Nesse período, Fonseca et al, (2007) também destacam a elevação dos preços do açúcar no mercado internacional, estimulando muitos produtores a diminuir a produção de álcool e aumentar a de açúcar.

Entretanto, no final da terceira fase do Proálcool (entre 1986 e 1995), a demanda por álcool continua sua fase expansionista devido aos incentivos à aquisição de carros a álcool ocasionando um conflito com a produção de etanol (Fonseca et al, 2007). Mais tarde, em 1989, o governo adota medidas alternativas como a importação de metanol para adição à gasolina ou ao álcool hidratado para evitar uma crise de abastecimento (Bacha e Shikida, 1999). Além disso, nessa fase a produção interna de petróleo retorna a sua fase de expansão, inviabilizando a manutenção do Proálcool, demonstrado com a falta de interesse da Petrobras em subsidiar a compra de álcool a preços superiores ao vendido às distribuidoras. Essa fase de desaceleração e crise caracteriza o final formal do Proálcool, marcado pelo fim dos subsídios concedidos aos produtores, pelos preços mais atrativos à produção do açúcar para exportação, pela estagnação da produção e queda dos preços de álcool, apesar da demanda por álcool hidratado continuar crescendo (CGEE, 2009).

No início dos anos 1990, o governo brasileiro executou os primeiros passos em direção ao processo de liberalização e reorganização institucional do setor sucroalcooleiro, com a finalidade de revisar o relacionamento do governo com a economia nacional (BNDES e

CGEE, 2008). O ano de 1988 marcou a promulgação da nova Constituição Federal no país, o que representou o início de uma nova fase para o programa Proálcool. A nova constituição estava fundamentada na redução da intervenção estatal e na instituição de um planejamento apenas indicativo para o setor privado (CGEE, 2009). A partir de 1990, o governo brasileiro extinguiu o IAA e desestimulou o uso de mecanismos intervencionistas que controlavam e restringiam o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro. Nesse contexto, a Petrobrás perdeu o monopólio do comércio do álcool e venda passou a ser feita pelas próprias usinas ou por empresas privadas (Fonseca et al, 2007).

### ***6.1.2 Evolução dos institutos de pesquisa e universidades (1970-1989)***

As instituições públicas, federais e estaduais, como por exemplo, os institutos de pesquisa e as universidades, e além desses as empresas privadas, assumiram papel importantíssimo no desenvolvimento tecnológico no setor agroindustrial do etanol de cana-de-açúcar. Nesse período, a trajetória de acumulação tecnológica da cana-de-açúcar foi realizada em grandes programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, promovidos principalmente pelo Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar), criado pelo Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), e o Instituto Agrônômico de Campinas (IAC).

Essas instituições dedicaram esforços em particular na etapa agrícola, envolvendo o melhoramento genético, a mecanização agrícola, o gerenciamento, o controle biológico de pragas, a reciclagem de efluentes e práticas agrícolas conservacionistas de maior desempenho (BNDES e CGEE, 2008). Nesse sentido, as seções seguintes apresentam os fatores institucionais mais importantes do Planalsucar, do CTC e do IAC durante o período de intervenção governamental do setor, entre 1970 e 1989.

No início dos anos 1970, o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) exercia o controle da produção e a comercialização do açúcar e do álcool. Nessa época (1970 a 1989), o volume de exportações de açúcar brasileiro atingiu taxas de expansão superiores a 100% (Szmrecsányi e Moreira, 1991). Portanto, a sustentação e a viabilidade dessa expansão vertiginosa tornaram-se viáveis após o apoio do governo federal por meio de programas de investimentos e incentivos públicos no setor sucroalcooleiro.

Nesse contexto, O IAA fundou em 1971 o Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (Planalsucar). O IAA incentivou o direcionamento de vastos recursos para o Planalsucar a fim de transformá-lo em uma área de pesquisas do instituto com a finalidade de aumentar a produtividade da cana-de-açúcar brasileira. Um dos principais objetivos do programa era renovar as variedades nacionais e substituir as variedades importadas de cana-de-açúcar disponíveis aos agricultores, as quais respondiam por uma parcela representativa da produção sucroalcooleira do país (UFSCar, 2010).



“A Ridesa, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, completa vinte anos de existência e quarenta anos de pesquisa na área de melhoramento genético da cana-de-açúcar, considerando a criação do Planalsucar em 1970.” (Diretor da Ridesa. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

Furtado et al (2008) ressaltam a importância do programa para modernizar a cultura da cana-de-açúcar nos estados brasileiros, ou seja, o Planalsucar exerceu um papel muito importante para melhorar a produtividade da cana nos estados nordestinos, onde, por exemplo, existiam mais estações experimentais em Alagoas do que em São Paulo. Nessa época, os produtores paulistas estavam preocupados com o direcionamento da pesquisa no Planalsucar. Os usineiros paulistas acreditavam que as necessidades do cultivo na região seriam tratadas de forma secundária em relação à região nordeste. Esse fato incentivou a criação de um centro de tecnologia privado dedicado às peculiaridades da região sudeste, mais conhecido como Centro de Tecnologia da Copersucar.

A Copersucar (Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo) iniciou suas atividades como cooperativa central em 1959 com o objetivo de comercializar a produção de seus associados. Inicialmente, a sua estrutura era constituída por dez usinas paulistas e duas entidades cooperativas regionais, a Coopira e a Coopereste. Nessa época, Mariotoni (2004) relata a insatisfação dos usineiros paulistas em relação ao IAA (Instituto do Açúcar e do Alcool), pois o instituto havia negado a contratação dos serviços do geneticista Mangelsdorf, quem seria responsável pela elaboração de um plano global para o setor. Os empresários paulistas perceberam a falta de poder para interferir e influenciar o governo na formulação de uma política direcionada às necessidades do Estado de São Paulo.

Sob a perspectiva de Mariotoni (2004), as reivindicações e necessidades dos empresários paulistas não seriam levadas em consideração pelas autoridades federais na elaboração de um programa para o setor. Todos esses argumentos sustentaram os fundamentos para a criação do Centro de Tecnologia da Copersucar, no Estado de São Paulo, uma instituição de pesquisa privada atuando num setor sob controle governamental.

“Quando da formação da Copersucar, as empresas entenderam que necessitavam se capacitar tecnicamente para dar resposta ao aumento de demanda e as exigências estabelecidas pelo governo. Assim, as empresas constituíram um grupo de profissionais que foram participar do único curso estruturado em produção de cana, açúcar e álcool que existia, realizado na Ilhas Maurícius. Este grupo ficou conhecido como a Turma da Ilhas Maurícius.” (Diretor Executivo de Logística na Copersucar, 2010)

Nesse contexto, o marco mais importante para o desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro reside na criação do Centro de Tecnologia Copersucar. Essa cooperativa realizou vastos investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, liderando a criação, em 1979, do Centro de Tecnologia Copersucar, financiado pelos produtores cooperados.

“Em 1970 a Copersucar estabeleceu o primeiro núcleo de tecnologia industrial na empresa. Esse núcleo realizava algumas pesquisas em laboratório relacionadas a controle de qualidade. Entretanto até 1975 o setor estava defasado em relação ao patamar tecnológico mundial. De 1975 até 1980 a Copersucar começou um trabalho de buscar tecnologia através de consultores especializados tanto no Brasil como no mundo.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

O surgimento do Proálcool impulsionou a aquisição de capacidades tecnológicas de produção no setor. Nesse contexto, os empresários do setor compreenderam a necessidade de adquirir tecnologia em países estrangeiros. Para tanto, comissões técnicas foram criadas com a o intuito de visitar países como Austrália, África do Sul, Havaí, Cuba e países na Europa.

“Na Copersucar, o então presidente da empresa na década de 1980, compreendeu que havia uma grande deficiência de técnicos em processos açucareiros e que era necessário buscar um curso de formação de nível superior. Devido a essa demanda da empresa, e também do setor, as universidades no Brasil viram uma oportunidade de montar um modelo de formação e pesquisa. No entanto, as propostas visavam montar um sistema

muito grande e que não atendia as necessidades da empresa.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

Após analisar os cursos existentes no exterior, a Copersucar estruturou em 1977 um curso na Universidade de Maurício (Ilhas Maurício) com duração de um ano. Neste curso participaram 18 engenheiros, entre químicos e mecânicos, retirados das empresas associadas à Copersucar. O retorno desses engenheiros, em 1979, marcou o nascimento da estrutura denominada Centro de Tecnologia Copersucar.

“Ao retornar do curso esse grupo em 1979 constitui dentro da Copersucar o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). O primeiro objetivo dos trabalhos no CTC foi alavancar a produtividade das usinas associadas à Copersucar.” (Diretor Executivo de Logística na Copersucar, 2010).

O conhecimento armazenado nas mentes dos 18 engenheiros, funcionários das principais empresas associadas ao CTC, deveria ser difundido e integrado às capacidades tecnológicas dos produtores do setor sucroalcooleiro. Para tanto, a primeira missão desse grupo de engenheiros era preparar um curso, intercalando a formação agrícola e a formação industrial periodicamente, ministrado aos funcionários das usinas.

“Entre 1979 e 1989 a cada 2 anos, uma vez era dado o curso de formação agrícola e outra vez o curso de formação industrial. Ao longo deste período as usinas contrataram engenheiros de formação agrícola, química e de mecânica e colocavam, pagando normalmente os salários, para fazer o curso durante um ano. Eram cursos intensos, de custo alto, compreendendo 1400 a 1500 horas aula/ano, com 8 horas de aula diária. Durante este período foram formados 53 profissionais.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

Na metade da década de 1980, a demanda do curso pelas usinas diminuiu porque as usinas começaram a questionar a validade de manter um profissional durante um ano inteiro no curso. Desta forma, o curso foi aberto para profissionais que trabalhavam fora das usinas associadas à Copersucar, inclusive vindos de outras regiões fora de São Paulo e outros países. A desaceleração dos incentivos governamentais ocasionados com o fim dos incentivos provenientes do programa Proálcool refletiu nas atividades de acumulação de

conhecimento no setor, o que resultou em 1989 no encerramento do curso devido à falta de demanda. Finalmente, a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no CTC permitiu ao setor superar as barreiras tecnológicas que ameaçavam a competitividade do setor de etanol e colocar o Brasil em posição privilegiada no cenário internacional.

O CTC aplicou um conjunto de mecanismos de aprendizagem como, por exemplo, intercâmbios com outros países, convênios com universidades e institutos de pesquisa e a contratação de conceituados consultores estrangeiros para acumular capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol (Coopersucar, 2009). Esses mecanismos possibilitaram ao CTC adaptar e transferir tecnologias aplicadas em outros setores e no exterior. Além disso, o Centro Tecnológico desenvolveu um programa de pesquisas de novas variedades e novos processos de produção e de controle biológico de pragas, cujos resultados eram repassados às associadas.

Entre 1970 e 1989, a pesquisa da cana-de-açúcar esteve concentrada principalmente nos grandes programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar liderados pelo Centro de Tecnologia Copersucar (CTC) e pelo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar). No entanto, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) desenvolveu nesse período algumas pesquisas sobre melhoramento genético e a disponibilidade de cultivares, mas com um grau reduzido de importância para o setor. O IAC iniciou as atividades de pesquisa com cana-de-açúcar em 1891, e mais tarde expandiu a sua atuação com a criação de um programa de melhoramento genético em 1933. Os pesquisadores do instituto contribuíram significativamente para a constituição dos programas de melhoramento genético do Planalsucar e da Copersucar, que estimularam a expansão da pesquisa canavieira em todo o Brasil (IAC, 2010).

Na década de 70, foi firmado um convênio entre a Copersucar e o IAC que permitiu a utilização da estação experimental de cruzamento de Camamu (BA), onde se concentra o maior número de genótipos de cana-de-açúcar de todo o mundo e excelentes condições climáticas para hibridação. Na década seguinte, em 1980, o instituto iniciou o projeto de criação de variedades regionais com a finalidade de aproveitar o posicionamento geográfico das estações experimentais de Piracicaba, Jaú, Ribeirão Preto, Mococa, Pindorama e Assis. Entretanto, nesse período o programa de cana-de-açúcar do IAC não

foi redimensionado para atender à expansão das novas demandas no setor sucroalcooleiro, impulsionadas pelo lançamento do Proálcool. A falta de incentivos para o crescimento do programa contribuiu para a redução de sua importância diante das realizações alcançadas pelo outros programas.

## **6.2 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol (1970-1989)**

O Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar), o Centro de Tecnologia Copersucar (CTC) e o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) contribuíram significativamente para a transformação e difusão tecnológica no setor agroindustrial do etanol de cana-de-açúcar. Nesse período, a pesquisa da cana-de-açúcar está sintetizada nos programas de melhoramento genético dessas instituições, que dedicaram esforços direcionados particularmente à etapa agrícola da rota tecnológica de etanol. Portanto, as seções seguintes apresentam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas do Planalsucar, CTC e IAC durante as três primeiras fases do Proálcool, entre 1970 e 1989.

### ***6.2.1 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola (1970-1989)***

Um dos primeiros esforços em direção à acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas no setor de etanol está substanciado na criação em 1971, pelo Instituto de Açúcar e do Alcool, do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar). O surgimento do Planalsucar coincidiu com a expansão gerada no setor pelo impulso do Proálcool para a expansão da cultura da cana-de-açúcar. A primeira fase do Planalsucar englobou um grupo de fazendas experimentais localizadas nos principais estados produtores de açúcar e álcool. No início da década de 1970, o Planalsucar criou quatro estações experimentais, em Carpina (PE), Rio Largo (AL), Campos (RJ) e Araras (SP), que trabalhavam em parceria para desenvolver projetos tecnológicos setoriais (INOVAÇÃO UNICAMP, 2007). Desta forma, o Planalsucar criou um novo banco de germoplasma em Alagoas o que constituiu uma capacidade tecnológica de Nível 4 (Inovador Avançado) para o setor de etanol.

“Com o Planalsucar, formaram-se grupos de pesquisadores em cada uma das estações, na verdade, fazendas experimentais, e criou-se também o banco de germoplasma, em Alagoas. Surgiram grupos nas áreas de solos, herbicidas e de controle biológico de pragas da cana.” (Diretor da Ridesa. INOVAÇÃO UNICAMP, 2007).

Nesse período, o principal projeto do Planalsucar estava voltado às atividades de P&D de novas variedades de cana-de-açúcar, ou seja, essas atividades representam inovações novas para o mercado, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3. “*Os investimentos em novas variedades de cana já eram desenvolvidos desde o início do Planalsucar, que foi a agência criada para atuar como área de pesquisa do antigo IAA*” (Fonseca et al, 2007). A busca de novas variedades floresceu porque grande parte das variedades de cana-de-açúcar e etanol estava adaptada às condições específicas das regiões mais produtivas do país e aos contextos de países estrangeiros (UFSCar, 2010). Além disso, as atividades de P&D no Planalsucar assumiram um papel importante para a expansão do setor porque o conjunto de variedades de cana-de-açúcar havia sido utilizado durante muitos anos e apresentava sinais de baixa produtividade. A constituição do Planalsucar resultou na constituição de grupos de pesquisadores em fazendas experimentais e também grupos nas áreas de solos, herbicidas e de controle biológico de pragas, ou seja, capacidades tecnológicas classificadas no Nível 1 (Produção) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

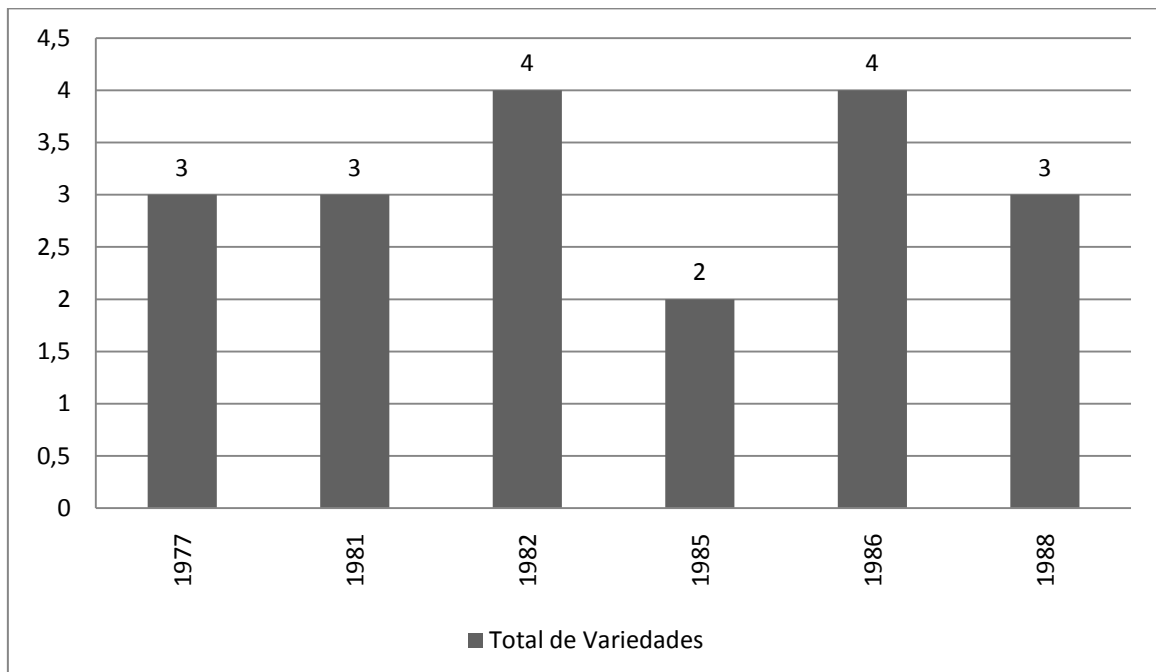
“No tempo do Planalsucar, 19 variedades foram liberadas, com destaque para a RB72454, que ocupou a maior área plantada de uma única variedade no Brasil e, como consequência, no mundo. Hoje, após 24 anos, ainda ocupa área expressiva de cultivo. Porém, com a chegada da ferrugem alaranjada e pela sua suscetibilidade, acredita-se que será substituída ao longo do tempo.” (Diretor da Ridesa. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

“Com o estímulo para a expansão do setor dado pelo Proálcool, os produtores plantavam tudo que havia, mas o pessoal não se preocupou muito com a qualidade da muda, com as variedades. Em meados dos anos 1980 veio a crise do Proálcool. As variedades já não respondiam mais suficientemente à demanda que existia. Essa foi uma das causas da crise” (Diretor da Ridesa. INOVAÇÃO UNICAMP, 2007).

Durante as décadas de 1970 e 1980, Ridesa (2010b) também descreve a produção e a realização de testes em modelos de máquinas e equipamentos, que melhoraram as condições de corte, o carregamento e o transporte de cana em áreas de declive, isto é, capacidades tecnológicas classificadas no Nível 2 (Inovador Básico). Além disso, as

atividades realizadas no Planalsucar resultaram no estabelecimento de sistemas de produção em áreas de expansão da cana e no aperfeiçoamento dos sistemas já utilizados em áreas tradicionais como, por exemplo, o sistema de produção da cana consorciada (Ridesa, 2010b). Além disso, a estrutura de P&D destacou-se pela produção de mudas certificadas, fiscalização dos viveiros de produtores, realização de análises de solos que resultaram em recomendações de fórmulas adequadas de adubação e também pela produção de inimigos naturais de pragas da cana, através do controle biológico e assessoria às usinas na montagem de seus próprios laboratórios, que resultaram na acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras qualificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário). Ridesa (2010b) também mostra os esforços de P&D na definição de índices técnicos e na instituição do sistema de pagamento da cana pelo teor de sacarose, portanto, essas atividades de P&D ocorridas no Planalsucar constituem inovações *novas para o mercado*, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo do Capítulo 3.

**Figura 6-3 – Variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo Planalsucar para cultivo aos produtores brasileiros (1977 – 1988).**



Fonte: RIDESA (2010).

Entre os anos de 1970 e 1989, as atividades de pesquisa do Planalsucar resultaram na liberação de 19 novas variedades de cana-de-açúcar para o setor sucroalcooleiro, conforme disposto na Figura 6-3. Desta forma, a capacidade tecnológica de inovação de Nível 4



(Avançado) acumulada no Planalsucar introduziu mudanças tecnológicas baseadas em P&D, próximo à fronteira tecnológica, dentro de uma trajetória existente, que resultaram em inovações novas para o mercado. O programa produziu anualmente dois milhões de sementes durante o seu período de existência, sendo extinto mais tarde juntamente com o IAA, quando ocorreu a transferência do conhecimento tecnológico de suas estações experimentais à rede de universidades que deram continuidade ao trabalho de pesquisa.

Paralelamente ao Planalsucar, o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) também ocupa uma posição de destaque, entre 1970 e 1989, na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas do setor de etanol. Desde o início de 1970, o CTC estava envolvido com as atividades de P&D na área agrícola, substanciadas nas primeiras atividades do programa de melhoramento convencional da cana-de-açúcar com a finalidade de desenvolver novas variedades para o setor (Dantas e Figueiredo, 2009). Desta forma, a criação do CTC também impulsionou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação mais avançadas, novas para o mercado, qualificadas de Nível 4 (Inovador Avançado), alinhado ao modelo introduzido no Capítulo 3. Durante a década de 1980, Furtado et al (2008) relatam os primeiros resultados do programa de novas variedades no Centro de Tecnologia Copersucar, quando as variedades utilizadas no Estado de São Paulo, importadas de outros estados e da Argentina, começaram a ser substituídas pelas variedades desenvolvidas pelo próprio CTC.

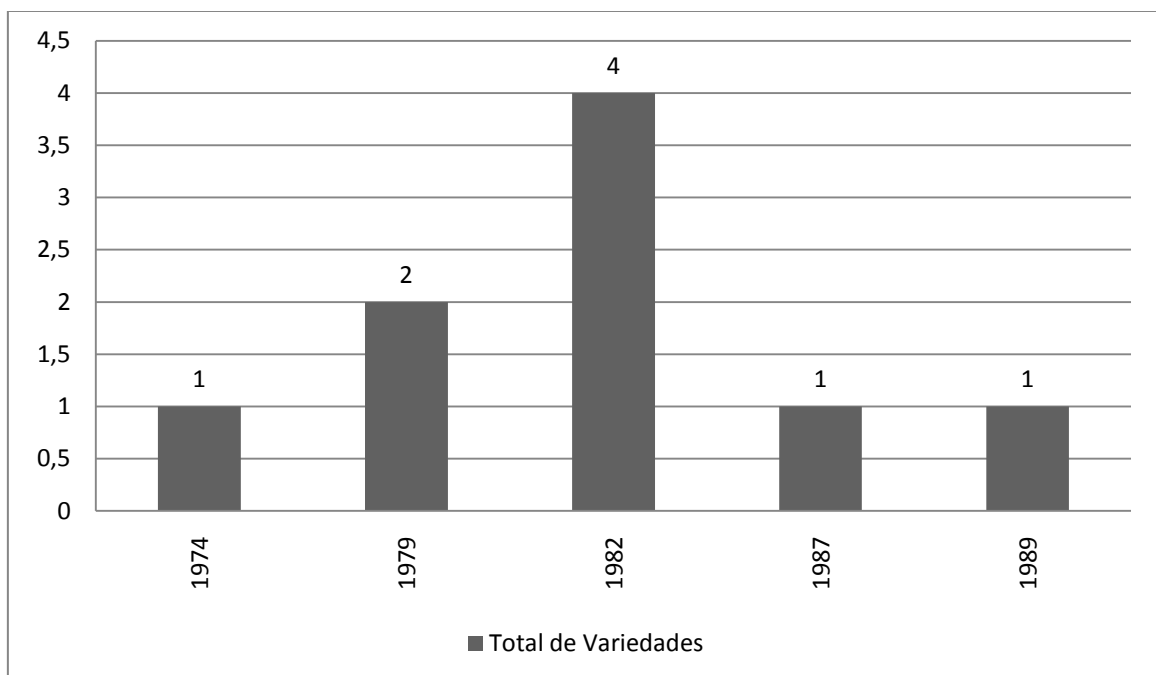
No tocante à tecnologia agrícola, a partir da década de 1970 o CTC realizou um intenso trabalho de P&D para o desenvolvimento e seleção de sementes de cana-de-açúcar, por meio de atividades de buscas, cruzamentos e uma criteriosa seleção de sementes provenientes da Austrália, Barbados e Jamaica. As atividades de P&D no CTC resultaram na geração de 2 milhões de sementes, distribuídas posteriormente as usinas associadas ao Centro de Tecnologia. Essas capacidades tecnológicas de P&D, integradas ao CTC, compreendem inovações novas para o mercado, no setor de etanol brasileiro, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

“O passo inicial foi dado por cientistas de diversos países em cooperação com pesquisadores do Brasil: instituir o germoplasma para as futuras hibridações. Os primeiros “genitores” das futuras variedades SP e CTC foram plantados em 1969, em Camamu, Bahia, compostos por espécies

ancestrais da cana-de-açúcar e por variedades estrangeiras. Com o passar do tempo, foram feitas novas introduções e a formação de genótipos adaptados ao ambiente canavieiro nacional.” (Coordenador de P&D de Variedades do CTC, REVISTA OPINIÕES, 2010a).

Em 1981, o CTC lançou a sua primeira variedade de cana-de-açúcar desenvolvida no programa de melhoria da cana-de-açúcar (Dantas e Figueiredo, 2009). Nesse sentido, as variedades nacionais de cana-de-açúcar resultantes das primeiras liberações comerciais, na década de 80, expandiram-se pelas áreas canavieiras no Brasil. Portanto, essas atividades de P&D acumuladas no CTC resultaram em inovações *novas para o mercado*, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3. O trabalho de desenvolvimento e seleção de sementes, até 1992, contribuiu para que 45% das variedades de cana no Brasil fossem originadas na Copersucar.

**Figura 6-4 – Variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo IAC para cultivo aos produtores brasileiros (1974 – 1989)**

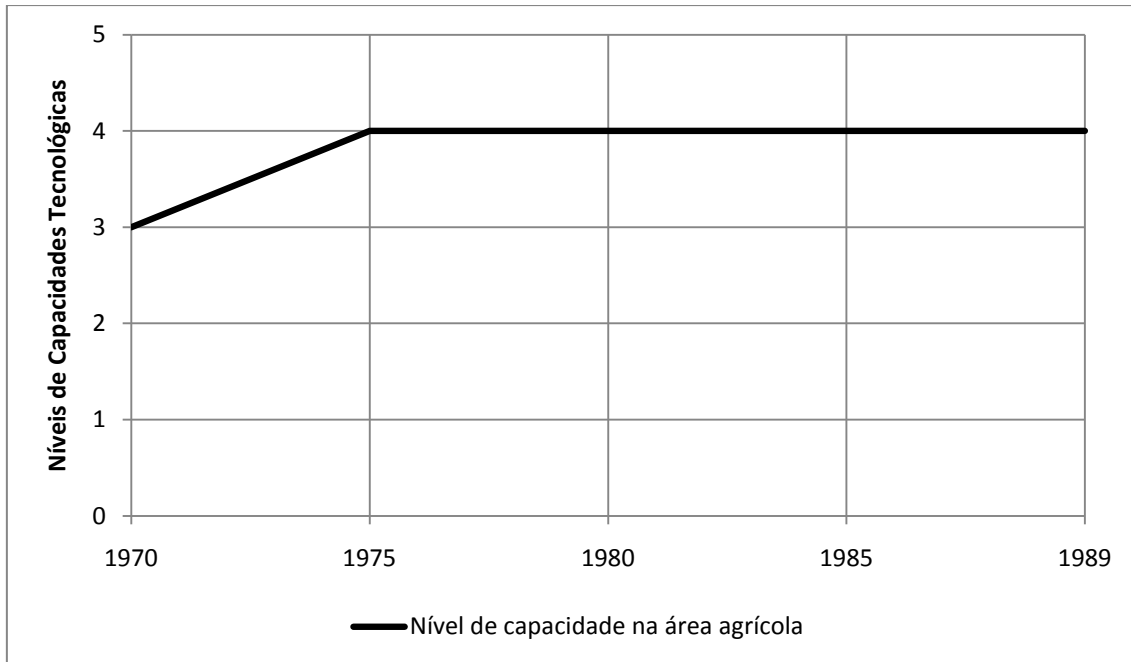


Fonte: IAC (2010).

O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2010) iniciou as atividades de pesquisa com cana-de-açúcar em 1891, e mais tarde expandiu a sua atuação com a criação de um programa de melhoramento genético em 1933. Durante quatro décadas contribuiu para o estudo de variedades de cana-de-açúcar no País. Os pesquisadores do Instituto

Agrônomo de Campinas influenciaram significativamente a formação dos programas de melhoramento genético do Planalsucar e da Copersucar, estimulando a expansão da pesquisa canavieira em todo o Brasil.

**Figura 6-5– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.**



*Fonte:* Derivado desta dissertação.

Na década de 70, firmou-se um convênio entre a Copersucar e o IAC que possibilitou a introdução de genótipos de vários países. A ampliação dessa colaboração permitiu que o IAC utilizasse a estação experimental de cruzamento de Camamu (BA), onde se concentra o maior número de genótipos de cana-de-açúcar de todo o mundo e excelentes condições climáticas para hibridação. Na década de 80, aproveitando o posicionamento geográfico das Estações Experimentais de Piracicaba, Jaú, Ribeirão Preto, Mococa, Pindorama e Assis, o IAC iniciou o projeto de criação de variedades regionais. Durante os anos 1970 e 1990, o IAC desenvolveu atividades de P&D sobre novas variedades de cana-de-açúcar que resultaram em 9 variedades de cana-de-açúcar, apresentados na Figura 6-4.

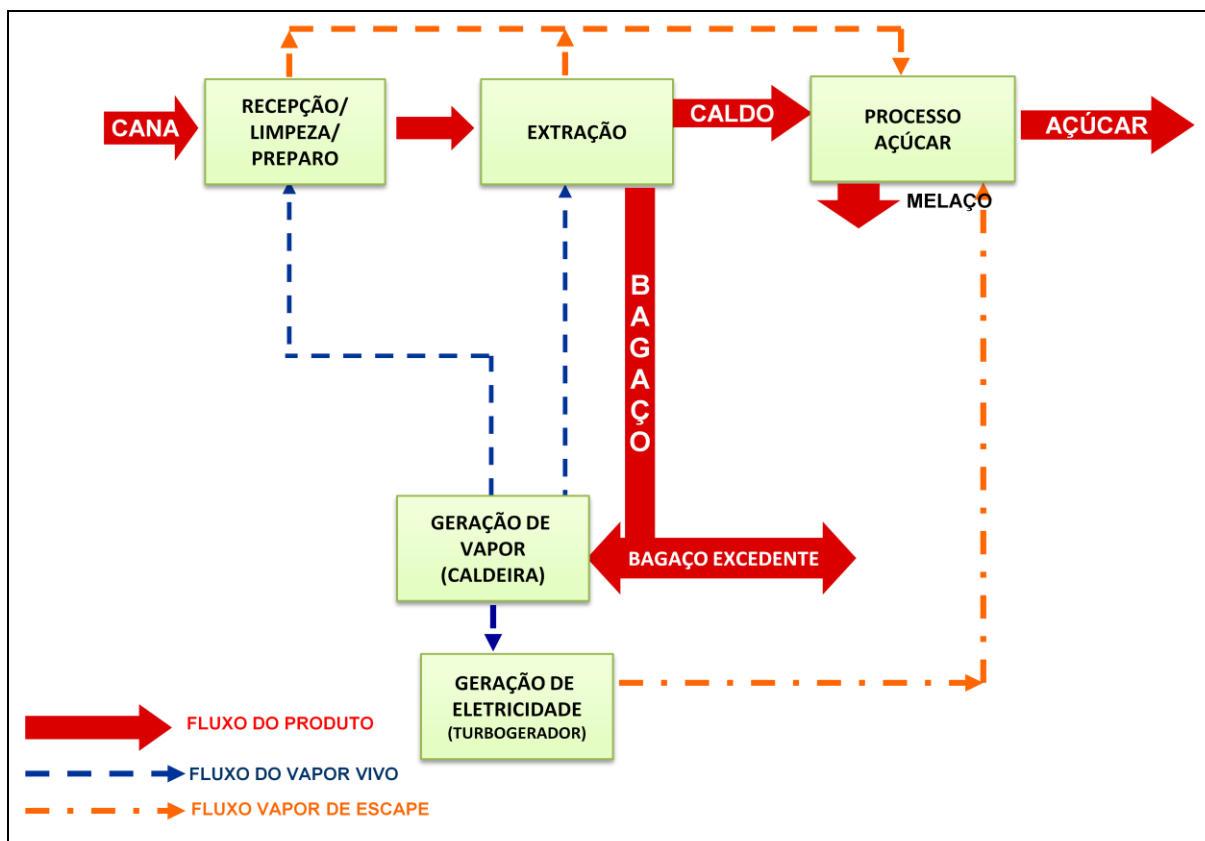
Essas variedades foram desenvolvidas com os seguintes objetivos: acelerar a maturação da cana-de-açúcar, aumentar o teor de açúcar na cana, prover maior resistência às pragas e doenças e também aumentar a produtividade em solos de alta e baixa fertilidade. Essas capacidades tecnológicas de inovação, incorporadas ao IAC, constituem inovações novas

*para o mercado*, no setor de etanol brasileiro, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3. A Figura 6-5 resume a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica de produção e inovação na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.

### 6.2.2 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial (1970-1989)

A análise da evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol será realizada, a partir da perspectiva de Dantas e Figueiredo (2009), em três períodos, marcados pela transformação tecnológica no setor. O primeiro deles, entre 1975 e 1978, engloba o período de estabelecimento do setor e a primeira fase do Programa Nacional do Álcool. O segundo período, correspondente aos anos de 1979 a 1985, é caracterizado pela forte expansão do setor devido principalmente à consolidação do Proálcool. O terceiro período, compreendido entre 1986 e 2002, está representado pelo colapso dos preços do petróleo em 1986, e seguido posteriormente pela estagnação do Proálcool.

**Figura 6-6 – Tecnologia tradicional de produção de açúcar e energia excedente: fluxograma para produção de açúcar e bagaço excedente (Antes do Proálcool – antes de 1975).**

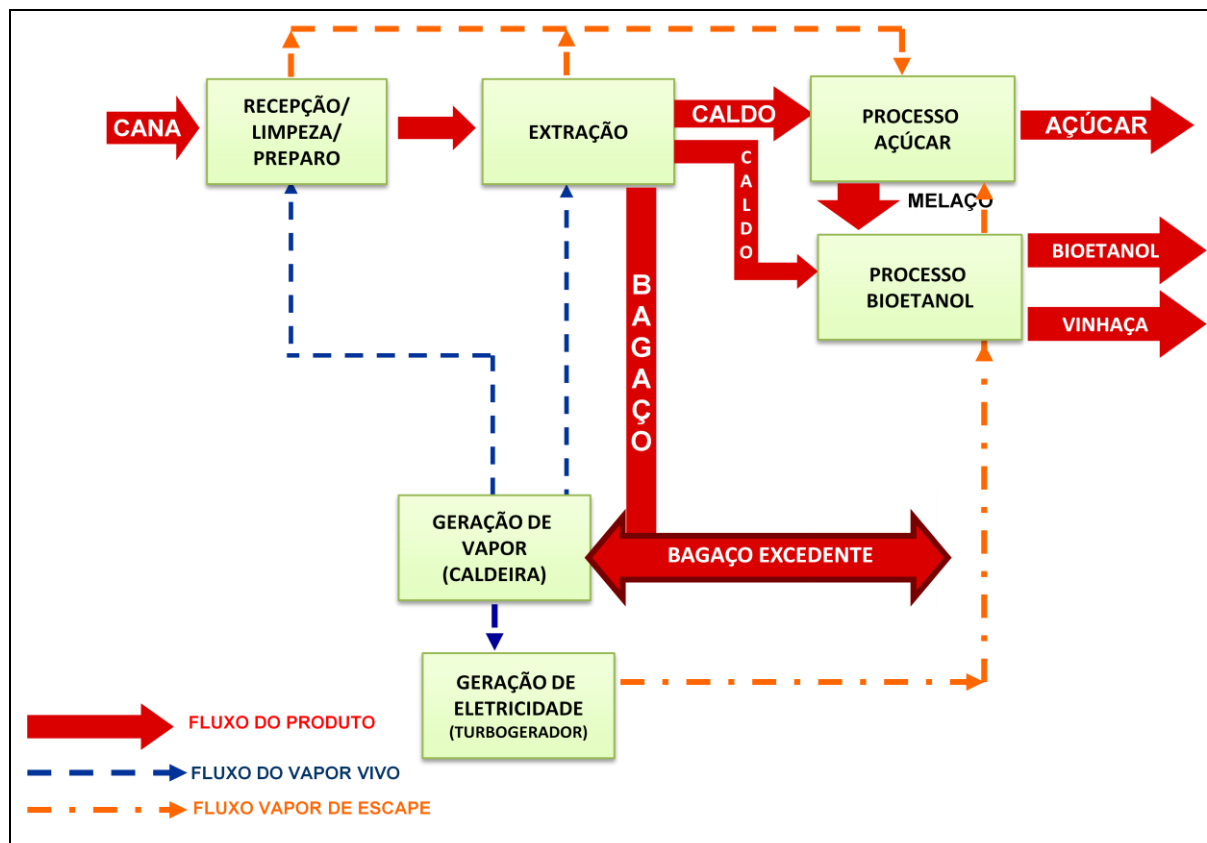


Fonte: Dedini, 2009.

No final de 1975, o governo promoveu o Proálcool com a finalidade inicial de expandir a produção do álcool anidro e viabilizar a sua utilização como biocombustível misturado à

gasolina, isto é, o setor de etanol adquiriu as primeiras capacidades de Nível 1 (Produção) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3. O surgimento do Proálcool intensificou o processo de acumulação tecnológica na área industrial do setor de etanol brasileiro. Esse programa era uma alternativa para o setor sucroalcooleiro porque deslocaria parte da produção de açúcar para a produção de etanol, utilizando inicialmente a capacidade ociosa de produção das usinas anexas. A Figura 6-6 apresenta a tecnologia utilizada, antes de 1975, pelos produtores brasileiros antes da instituição do Proálcool.

**Figura 6-7 – Tecnologia tradicional de produção de açúcar, etanol e energia excedente: Fluxograma para produção de açúcar, etanol e bagaço excedente (Início do Proálcool - após 1976).**



Fonte: Dedini, 2009.

Nesse período, Furtado et al (2008) apontam a expansão da atividade de assistência técnica para as usinas associadas da Copersucar. A experiência na manutenção das usinas foi primordial para a transformação do CTC em um importante foco de aprimoramento dos processos produtivos da fase industrial, isto é, essas atividades de manutenção constituem capacidades de Nível 1 (Produção) e algumas inovações básicas, classificadas em Nível 2 (Inovador Básico), de acordo com o modelo do Capítulo 3. A indústria de bens de capital

perdeu a dinâmica durante o período anterior ao Proálcool, quando a tecnologia incorporada nos equipamentos já estava ultrapassada. Para Furtado et al (2008), a função do CTC consistiu na introdução de inovações incrementais que permitiram melhorar a eficiência do processo de extração e de fermentação do caldo de cana-de-açúcar.

Durante a fase de constituição do setor de etanol, entre 1975 e 1978, Dantas e Figueiredo (2009) destacam os esforços de adaptação de tecnologias existentes por meio de atividades de design e engenharia, ou seja, inovações *novas para a empresa*, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3. As tecnologias de produção de etanol, mais especificamente os processos de destilação e fermentação, eram bastante conhecidas na época. A Figura 6-7 apresenta a tecnologia utilizada pelos produtores após 1976, com o início do Proálcool. Além disso, a principal meta do Proálcool incentivava a produção de álcool anidro, para ser misturado à gasolina, portanto novas tecnologias foram introduzidas para expandir a produção de etanol e acrescentar a etapa de desidratação, responsável pela produção de álcool anidro. Esses esforços de engenharia para adaptar e melhorar os processos e os produtos também resultaram em inovações *novas para a empresa*, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

“Em termos do desenvolvimento do setor, nas décadas da 1970 e 80 as usinas foram implementadas a partir do incentivo do Proálcool.” (Superintendente Agroindustrial da Empresa Alfa, 2010).

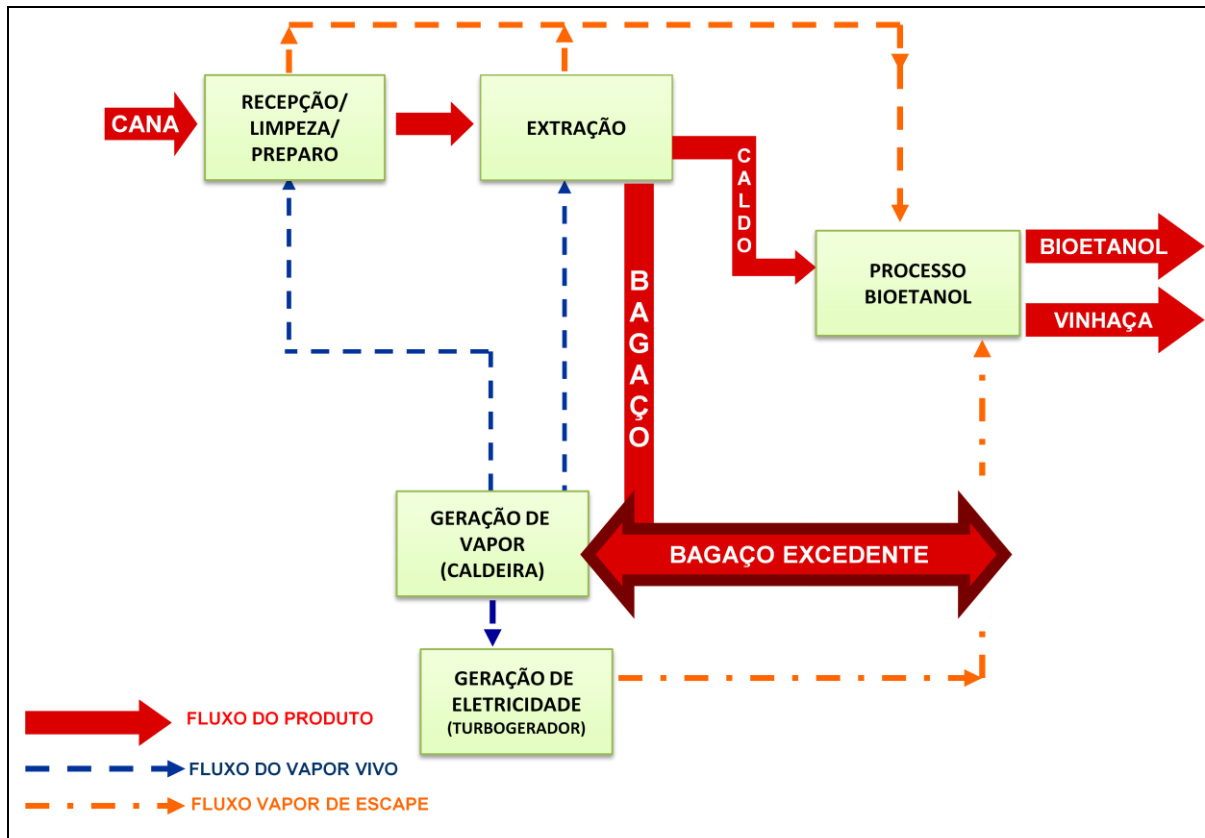
“Somente em 1970 a Empresa Alfa passou a produzir álcool para fins combustíveis. Considera que o regime militar deixou umas sementes boas para o setor. Transformou o etanol em combustível.” (Gerente Industrial da Empresa Alfa, 2010).

Nos anos seguintes, ainda durante a primeira fase do Proálcool, os fabricantes de equipamentos e os institutos de pesquisa introduziram melhorias contínuas nas tecnologias de produção de etanol, baseadas em tentativa e erro e no conhecimento tácito sobre os processos de produção (Dantas e Figueiredo, 2009). Essas melhorias incrementais no processo incluíam pequenas alterações nos equipamentos para resolver os problemas e gargalos de produção. Além dessas, as empresas realizaram alterações para elevar a

produtividade em cada etapa do processo como, por exemplo, a preparação da cana para moagem, a trituração e a extração do caldo de cana-de-açúcar. Todas as melhorias anteriores constituem capacidades de Nível 1 (Produção) e algumas inovações básicas, classificadas em Nível 2 (Inovador Básico), de acordo com o modelo do Capítulo 3.

“Em 1970 a Copersucar estabeleceu o primeiro núcleo de tecnologia industrial na empresa. Esse núcleo realizava algumas pesquisas em laboratório relacionadas ao controle de qualidade. Em relação à formação de técnicos, na década de 1970, a Copersucar promoveu diversos cursos específicos como, por exemplo, operação e manutenção de moendas. Durante a década de 1970 foram realizadas muitas ações de transferência de tecnologia, principalmente da África do Sul. A África do Sul assumiu um papel importante para a evolução da tecnologia sucroalcooleira no Brasil, fornecendo diversos equipamentos, na época, de última geração.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

**Figura 6-8 – Tecnologia tradicional de produção de etanol e energia excedente: Fluxograma para produção de etanol e bagaço excedente (Início do Proálcool - após 1979)**



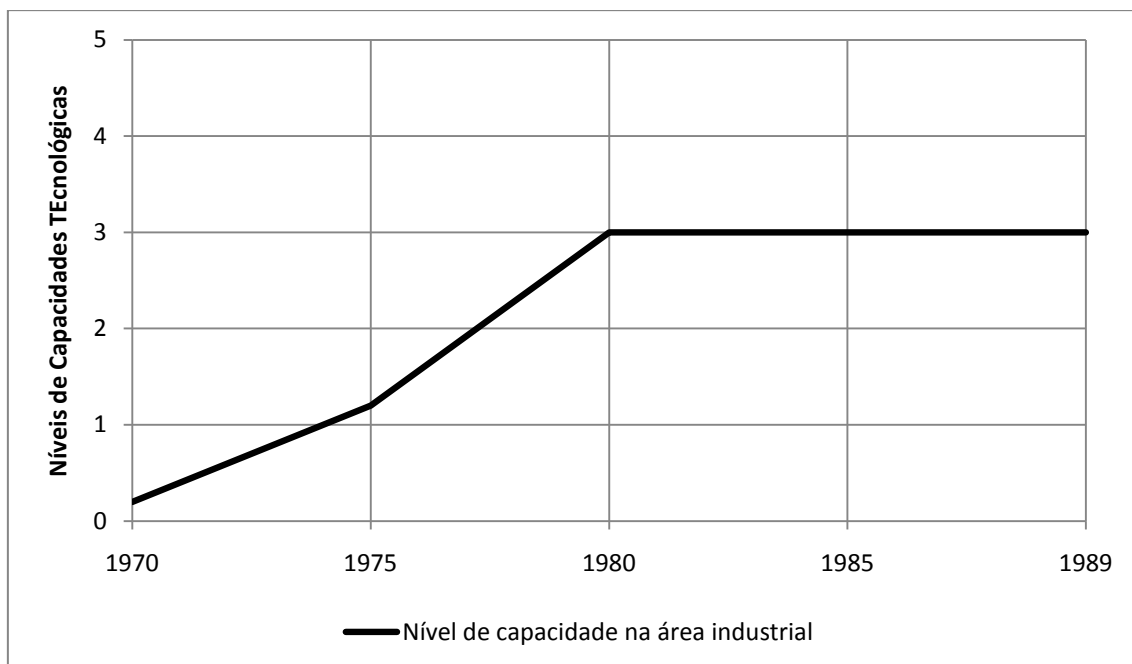
Fonte: Dedini, 2009.



Na segunda fase do Proálcool, Bacha e Shikida (1999), relatam a intensificação da produção de álcool hidratado com a expansão das destilarias autônomas. Nesse período, o Proálcool incentivou a expansão da produção na indústria de máquinas e equipamentos para o setor de etanol. Durante a fase de crescimento do setor, entre 1979 e 1985, o governo redirecionou a estratégia do Proálcool para a produção de álcool hidratado, utilizado em carros movidos apenas a álcool. As principais mudanças tecnológicas continuaram ocorrendo por meio de atividades de re-design de processos e engenharia, resultando na introdução de melhorias sucessivas nos processos de produção de etanol (Dantas e Figueiredo, 2009). Essas mudanças estão classificadas em inovações *novas para a empresa*, no Nível 3 (Inovador Intermediário) em consonância com o modelo descrito no Capítulo 3.

“A partir da década de 1980 a Copersucar começou a desenvolver projetos de equipamentos, que eram construídos por empresas como a Dedini e a Foster Wheeler. O CTC trazia tecnologia de fora, adaptava e através de fornecedores passava para as unidades associadas. Entretanto, a empresa cometeu a falha de não patentear esses projetos.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

**Figura 6-9– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.**



Fonte: Derivado desta dissertação.

A partir da década de 1980 a Copersucar também começou a desenvolver projetos de equipamentos para as usinas de produção de etanol. O CTC adquiria os conhecimentos necessários sobre a tecnologia estrangeira, adaptava e por meio de fornecedores transferia às unidades associadas. Dantas e Figueiredo (2009) relatam o trabalho realizado em conjunto entre os engenheiros do CTC e as usinas de etanol para identificar gargalos em processos de produção e instalações, desenvolver melhorias e transferir as novas soluções para as empresas. Portanto, as atividades desenvolvidas em parceria com o CTC e as usinas representam inovações *novas para a empresa*, qualificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) de acordo com o modelo do Capítulo 3. A Figura 6-9 resume a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica de produção e inovação na área industrial no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.

## **CAPÍTULO 7 : CO-EVOLUÇÃO DO MARCO INSTITUCIONAL E DAS TRAJETÓRIAS DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE ETANOL NO BRASIL DURANTE O REGIME DE ECONOMIA ABERTA – 2º PERÍODO (1990-2009)**

O capítulo presente discorre sobre co-evolução institucional e tecnológica no setor sucroalcooleiro brasileiro durante a liberalização econômica e a desregulamentação do setor, entre 1990 e 2009. Primeiro, a Seção 7.1 introduz a evolução das macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisa e as universidades durante o período de liberalização econômica e desregulamentação do setor de etanol. Na Seção 7.2 apresento a evolução na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas e industriais, ocorrida entre 1990 e 2009, no setor de etanol no Brasil.

### **7.1 Evolução das instituições no setor de etanol (1990-2009)**

#### ***7.1.1 Evolução das macro-instituições e meso-instituições (1990-2009)***

O período de desregulamentação do setor de etanol é analisado por Dantas e Figueiredo (2009) a partir de uma perspectiva temporal segregada em duas fases: 1986 a 2002 ("fase de desaceleração") e 2003 a 2009 ("fase do ressurgimento"). A primeira fase examina o período 1986 e 2002, iniciando com o colapso dos preços do petróleo em 1986, seguida pela estagnação do Proálcool. A segunda corresponde ao período de 2003 até 2009, marcada pelo ressurgimento do setor de etanol no Brasil.

Durante a primeira fase de desaceleração do setor, o governo brasileiro iniciou, na década de 1990, os processos de desregulamentação, liberalização econômica e revisão institucional no setor sucroalcooleiro. A promulgação da nova Constituição Federal no país, em 1988, representou o início de uma nova fase para o Proálcool. A nova constituição estava fundamentada na redução da intervenção estatal e na instituição de um planejamento apenas indicativo para o setor privado (CGEE 2009). A Constituição Federal de 1988 e a adoção pelo Brasil dos postulados neoliberais, explicitados nas 10 diretrizes do Consenso de Washington, resultaram na considerável redução do papel do governo na economia, na abertura às importações de bens e serviços e na entrada de capital de risco no país.

Nesse contexto, as mudanças institucionais ocorridas nesse período impactaram significativamente as regras do jogo no setor de etanol brasileiro. “Em 1990, após a extinção do IAA, o governo brasileiro deixa de sustentar as políticas intervencionistas que afetavam a oferta e demanda de álcool” (Fonseca et al, 2007). A partir de 1991, após a liberação total de preços para o setor de etanol, o relacionamento entre os produtores de cana-de-açúcar, produtores de etanol e empresas distribuidoras de combustível passou a ser regido pelas regras de livre mercado (BNDES e CGEE, 2008).

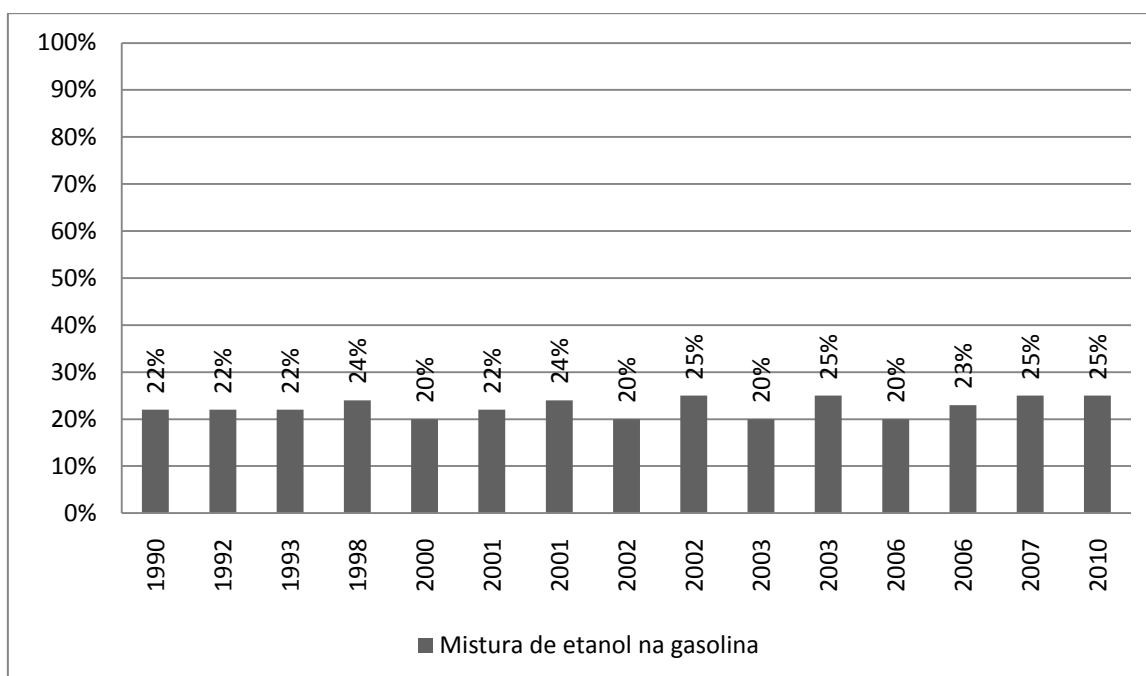
No entanto, as mudanças nas regras do jogo não se desenvolveram de forma suave e regular, desencadeando uma série de conflitos de interesse entre diversos grupos do setor. Barros e Moraes (2002) relatam a existência de grupos que temiam a desregulamentação e outros que a desejavam como, a Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool de São Paulo (Copersucar), confiantes que regras de livre mercado solucionariam os problemas causados por distorções no sistema de cotas de comercialização de álcool. Nesse contexto turbulento, surge a associação de produtores de São Paulo, a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), com a finalidade de unificar os produtores frente às dificuldades emergentes da desregulamentação, e fortalecer sua representação para lidar com a liberalização e com o novo ambiente institucional.

"A Copersucar desempenhou também importante papel político e institucional em defesa da liberação do setor, de uma política realista de preços competitivos e da definição da participação do etanol na matriz energética do País. A organização do setor, os notáveis avanços tecnológicos e a liberação após a extinção do IAA, em 1990, permitiram uma produção cada vez mais equilibrada, no sentido de atender às demandas do mercado interno e ampliar a participação no mercado externo. E a Copersucar, por sua liderança no setor, sempre teve relevante papel institucional na criação de condições favoráveis que tornaram a agroindústria da cana-de-açúcar um dos segmentos mais modernos, dinâmicos e competitivos da economia nacional." (COPERSUCAR, 2010).

Havia nesse período divergências entre um grupo de empresários, que defendiam a permanência das instituições governamentais, a proteção de mercado e a garantia de lucratividade, e no outro extremo, os empresários que desejavam um mercado mais aberto,

com alternativas de investimento e obtenção de ganhos por produtividade (BNDES e CGEE, 2008). Nesse período, diversas unidades de São Paulo distanciaram-se da UNICA e, associaram-se aos produtores de outros estados (SP, PR, MT, MS, GO e ES) para criar a Coligação das Entidades Produtoras de Açúcar e Álcool (CEPAAL), que pretendia articular os interesses e as opiniões dos diversos estados produtores (Barros e Moraes, 2002). Além da UNICA e da CEPAAL, havia também as entidades representativas dos produtores do Norte-Nordeste e as entidades dos fornecedores de cana-de-açúcar, que tinham interesse em manter a intervenção governamental.

**Figura 7-1 – Evolução do marco regulatório do teor de etanol misturado na gasolina entre 1990 e 2010**



*Fonte:* BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009a, 2010).

Nesse cenário, o governo federal criou o Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA), em 2000, com a finalidade de encerrar o processo de revisão institucional no setor de etanol. Em 1999, foram criados grupos de suporte ao conselho, com especialistas do setor, indicados por produtores de açúcar e álcool, por plantadores de cana, e por entidades de classe dos trabalhadores, com o intuito de influenciar as medidas apresentadas ao CIMA (Barros e Moraes, 2002). Para BNDES e CGEE (2008), essa instituição tem por objetivo estabelecer as políticas relacionadas com as atividades do setor sucroalcooleiro, como, a participação dos produtos de cana-de-açúcar na matriz energética nacional e o

desenvolvimento científico e tecnológico do setor. Destaca-se entre as responsabilidades desse conselho a definição e a revisão da mistura de etanol na gasolina, que tem permanecido em 25% na maior parte dos últimos anos, conforme apresentado na Figura 7-1.

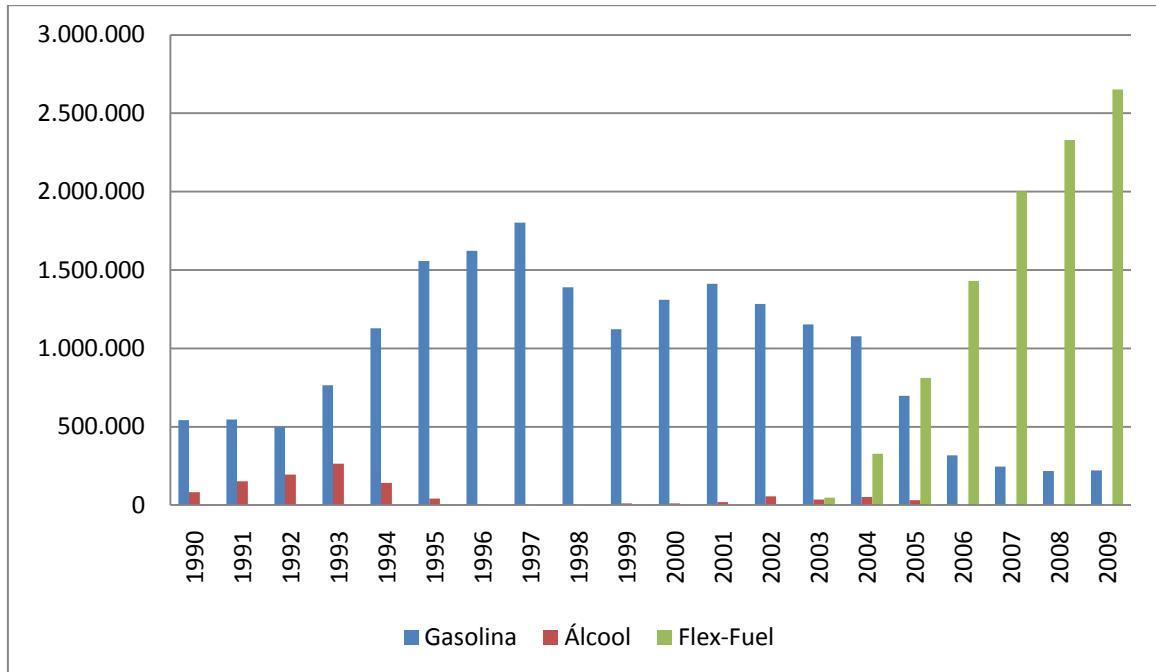
Em 2001, o Presidente da República delegou ao Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a competência para fixar o percentual de adição do álcool etílico anidro combustível à gasolina. A queda nas vendas de veículos a etanol hidratado durante os anos 1990 não afetou a produção desse biocombustível, permanecendo constante, devido principalmente à utilização da mistura com gasolina, até o início da década de 2000, quando ocorreu um novo ciclo de expansão (BNDES e CGEE 2008). No período entre 2001 e 2010, um conjunto de portarias, publicado pelo MAPA, fixaram entre 20% e 25% o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. A mais recente de 2010 regulamentou em 25% a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina em todo o território nacional, como podemos constatar na Figura 7-1.

O ano de 2003 marca o ressurgimento do setor de etanol brasileiro. Nesse ano, a indústria automobilística e o setor de cana-de-açúcar introduzem no mercado os veículos com motores do tipo flexfuel (Fonseca et al, 2007). Os proprietários desses veículos passariam a ter a alternativa de abastecer os seus automóveis com gasolina, misturada ao etanol anidro, ou apenas com etanol hidratado. A decisão seria tomada de acordo com o preço, a autonomia do veículo e a disponibilidade dos combustíveis. A rápida adoção dessa tecnologia pelo mercado promoveu o crescimento do consumo do etanol hidratado no mercado interno, despertando novas oportunidades para expansão do setor da cana no Brasil (BNDES e CGEE 2008). A Figura 7-2 apresenta o impacto dessas medidas na indústria automobilística, quando o total de vendas de automóveis flexfuel saltou de 48.178 carros, em 2003, para 2.652.298 carros, em 2009. Desde então, o setor de etanol vive uma nova fase de transformação e crescimento.

“A consolidação da tecnologia flex, presente em 90% dos novos veículos vendidos atualmente no Brasil, também impulsiona o setor, com a perspectiva de grande crescimento do mercado nos próximos anos. Ao final de 2010, praticamente metade da frota brasileira possibilitará ao consumidor

decidir abastecer seu automóvel com etanol ou gasolina. Em poucos anos, o país contará com 40 milhões de veículos e 70% deles serão flex.” (Presidente da ETH Bioenergia - Grupo Odebrecht. REVISTA OPINIÕES, 2010b).

**Figura 7-2 – Comercialização de automóveis por tipo de combustível entre 1990 e 2009.**



Fonte: ANFAVEA/UNICA, 2010.

Nesse período, a expansão da participação dos veículos flexfuel (bicombustíveis) na frota brasileira impulsionou o dinamismo dos investimentos no setor produtivo de etanol de cana-de-açúcar. Desta forma, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) desembolsou linhas de financiamentos expressivas para o setor sucroalcooleiro (cultivo da cana-de-açúcar, produção de açúcar e álcool e cogeração de energia), que apresentaram aumento considerável nos últimos anos (BNDES, 2007a). Em 2004 foram liberados R\$ 604 milhões, em 2005 R\$ 1 bilhão, em 2006 R\$ 1,9 bilhão e, em 2007 R\$ 3,59 bilhão, em 2008 R\$ 6,5 bilhão, e, em 2009, o BNDES desembolsou R\$ 6,39 bilhões para o setor (Cavalcanti, 2010). Desta forma, BNDES (2007a) mostra que a carteira do setor de biocombustíveis, todas as linhas do BNDES, somava financiamentos da ordem de R\$ 19,7 bilhões, ou seja, R\$ 15,4 bilhões correspondiam a projetos voltados para capacidades de produção de açúcar e álcool, R\$ 2,3 bilhões para capacidades de cogeração

de energia, R\$ 1,8 bilhão para o cultivo da cana-de-açúcar e R\$ 142,5 milhões para atividades de pesquisa e desenvolvimento no setor.

Além disso, a partir do ano de 2003 as preocupações com as alterações climáticas no mundo inteiro, a segurança energética e a nova expansão nos preços do petróleo, em conjunto com a introdução da tecnologia dos carros flexfuel, criaram as condições para o ressurgimento do setor de etanol no Brasil (Dantas e Figueiredo, 2009). Nesse período, as alterações no clima, provocadas pelo aquecimento global, ocasionado pela expansão das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, reascenderam o debate a respeito dos problemas ambientais no Brasil e no mundo (CGEE, 2009). Na década de 1990, essas discussões resultaram na elaboração de vários tratados internacionais como a Conferência Rio 92, a Convenção do Clima, em 1994, e o Protocolo de Quioto, ratificado em 2005. Nesse contexto, diversos países adotaram políticas com a finalidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

No tocante as questões climáticas, o relatório da UNEP-DTIE (2009), publicado em 2009, apresenta avaliações nos ciclos de vida dos biocombustíveis que apontam diversas economias na emissão de gases do efeito estufa (GEE) em relação aos combustíveis fósseis. Essa economia depende principalmente da matéria-prima e da tecnologia de conversão utilizada, mas também de outros fatores, como por exemplo, as premissas metodológicas. A trajetória tecnológica do etanol à base de cana-de-açúcar registra a maior economia nos GEE: entre 70% e 100%.

“Uma série de novos desafios relacionados à sustentabilidade, antes impensáveis, são agora colocados. Discussões como certificação internacional, impactos na produção de alimentos, impactos indiretos no uso da terra, balanço e créditos de carbono, emissões de gases de efeito estufa, preservação dos mananciais aquáticos, produção mais limpa, inclusão social, papel internacional do Brasil, entre outras, todas impactam a cana-de-açúcar no presente e no futuro próximo.” (Gerente de Desenvolvimento Estratégico Industrial do CTC. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

Nesse contexto, o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar no Brasil apresenta o maior potencial de redução na emissão de gases do efeito estufa entre os quatro tipos de etanol



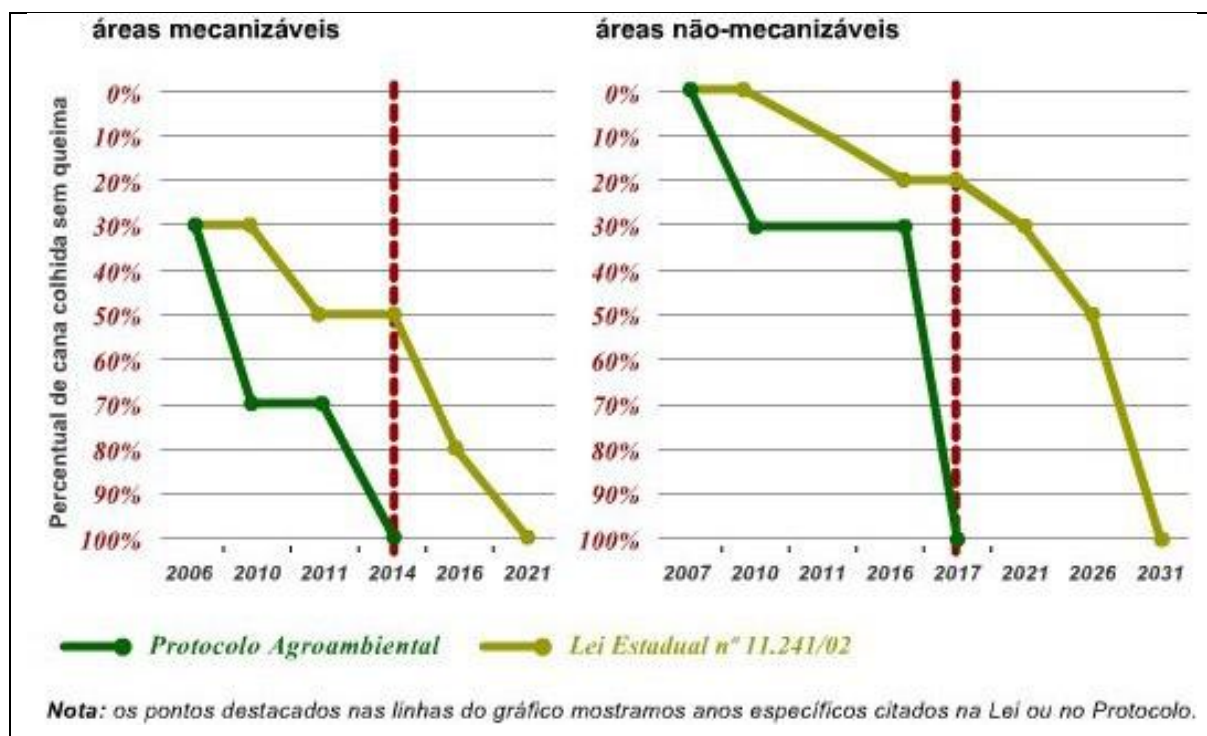
estudados. Os resultados mais elevados (acima de 100%) ocorrem principalmente devido à produção de co-produtos, com a utilização dos resíduos da produção para gerar energia (processo de transformação de bagaço de cana-de-açúcar no Brasil). Isso reflete a tendência recente na indústria brasileira em direção à utilização de conceitos mais integrados, por meio da combinação da produção de etanol com outros produtos não-energéticos e também com a venda de eletricidade excedente para a rede energética.

"Entramos na terceira fase do etanol, que é o reconhecimento do nosso produto no mundo. Passamos dois anos sendo muito criticados e agora o principal órgão regulador americano - equivalente ao nosso Ibama, mas com uma estrutura muito maior - nos dá o passaporte para colocar o etanol de cana no mundo. Basicamente o que eles dizem é que o nosso álcool reduz as emissões em 61% comparado à gasolina enquanto o etanol de milho, 21%. O número é três vezes maior que o do milho. Isso incluindo o famigerado uso da terra. Eles não só medem as emissões desde o plantio da cana até o escapamento do carro como também acrescentam o uso direto e indireto da terra. O uso direto é a expansão da cana sobre a floresta, que não existe mais no Brasil. Hoje 99% da expansão da cana no País ocorre em área de pastagem ou áreas agrícolas. Mas eles alegavam que havia um efeito indireto, que quando há o aumento de uma área plantada em Piracicaba, por exemplo, eu empurro o boi para o cerrado ou para a Amazônia." (Presidente da ÚNICA, 2010).

No que se refere à redução dos impactos ambientais da produção de cana-de-açúcar, Marcheti (2010) destaca as medidas governamentais federais e estaduais direcionadas para a eliminação gradual das queimadas realizadas durante o período de colheita da cana-de-açúcar. Por exemplo, o governo federal estabeleceu, em 1998, por meio do decreto 2.661, a redução incremental das queimadas nos canaviais de, no mínimo, 25% da área mecanizável a cada 5 anos, nas áreas onde a colheita da cana é realizada por meio de máquinas. Nesse sentido, 100% das queimadas deverão ser eliminadas em áreas mecanizáveis no Brasil até 2018. Além desses, o STJ (Superior Tribunal de Justiça) manteve em 2009 a decisão judicial, proibindo a queimada de palha de cana-de-açúcar como método preparatório para colheita no interior paulista.

Na esfera estadual, Coelho et al (2010) chamam a atenção para a liderança exercida pelo Estado de São Paulo na redução dos impactos ambientais no setor de etanol com a proibição da queima dos canaviais em 2002. Desta forma, o governo paulista publicou a lei estadual 11.241, com a finalidade de eliminar 100% das queimadas da palha de cana-de-açúcar até 2031. Mais tarde, em 2007, a ÚNICA e o Governo do Estado de São Paulo assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro em 2007, com o objetivo de antecipar os prazos legais, apresentados na Figura 7-3, para eliminar a colheita da cana-de-açúcar com a utilização de queimadas nas áreas cultivadas pelas usinas.

**Figura 7-3 - Prazo para a eliminação da queima da palha da cana no estado de São Paulo**



Fonte: ÚNICA, 2010.

Além desses, o estudo realizado pela UNEP-DTIE (2009) argumenta que algumas políticas públicas têm impulsionado o desenvolvimento da demanda de biocombustíveis por meio da mistura nas proporções de combustíveis como, por exemplo, gasolina e diesel. Diversas diretivas governamentais para regular a mistura de biocombustíveis nos combustíveis dos veículos foram aprovadas até 2006 em pelo menos 36 estados e 17 países. A maioria dessas políticas exige uma mistura de 10-15% de etanol com gasolina ou uma mistura de 2-5% de biodiesel com o diesel. Além disso, as metas mais recentes estabelecem níveis

mais elevados de utilização de biocombustíveis misturados a combustíveis fósseis em vários países.

“Exemplo disso é o reconhecimento da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) de que o etanol da cana-de-açúcar é um combustível avançado. Soma-se a isso a aprovação, pelo Conselho de Qualidade do Ar do Estado da Califórnia, da regulamentação do Padrão de Combustível de Baixa Emissão de Carbono - LCFS, tornando obrigatória a redução em 10% das emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, naquele estado, até 2020. Essas medidas do governo norte-americano são importantíssimas e devem favorecer a entrada do etanol brasileiro nesse país.” (Presidente da ETH Bioenergia - Grupo Odebrecht. REVISTA OPINIÕES, 2010b).

Nessa direção, diversos países (Brasil, China, Índia, México, África do Sul, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Rússia, Reino Unido, Estados Unidos, União Europeia) adotaram políticas energéticas voltadas ao desenvolvimento e à utilização de bioenergia (BNDES e CGEE, 2008). Grande parte dessas políticas está direcionada para a geração de energia elétrica, aquecimento e transporte, com medidas especialmente voltadas para incentivar a produção de etanol. Além disso, esses países utilizaram mecanismos institucionais com a finalidade de mitigar mudanças climáticas, melhorar o meio ambiente, aumentar a segurança energética, promover o desenvolvimento rural, estimular a agricultura e fomentar o desenvolvimento tecnológico.

“Acho que estamos entrando na fase que será a consolidação do etanol como commodity global. Ganhamos o passaporte para isso. Daqui para frente o nosso futuro não é só substituir petróleo ou abastecer os carros flex brasileiros. Primeira coisa importante, e não é por acaso, é que um acordo como esse que foi assinado esta semana entre Shell e Cosan já é reflexo do que ocorreu ontem. São duas notícias interligadas. Já estávamos verificando o interesse das petroleiras pelo etanol. Todas as grandes vieram conversar com a gente. Elas sabem que o etanol que sai da cana é o mais eficiente, que mais reduz emissões e o único comercialmente viável, como afirmou o próprio vice-presidente da Shell. Apesar das outras opções futuras, como etanol de celulose e carro elétrico, hoje concretamente a melhor alternativa é

o etanol de cana. Esse passaporte nos abre a porta para o resto do mundo. O que falta agora? Faltava derrubar a tarifa americana. Mas, na medida em que empresas como BP e a Shell estão investindo nisso, elas ajudam a defender a causa lá fora, com grande poder de persuasão.” (Presidente da ÚNICA, 2010).

Desta forma, a existência de políticas internacionais para incentivar a inserção do etanol nas matrizes energéticas de seus respectivos países propicia uma oportunidade para o Brasil, que possui quase um século de experiência na acumulação de capacidades tecnológicas na produção de etanol de 1ª geração. Essa experiência, somada à vasta disponibilidade de terras agrícolas para o plantio da cana-de-açúcar, incentivam o setor de etanol brasileiro a expandir sua produção aos mercados internacionais.

### **7.1.2 *Evolução dos institutos de pesquisa e universidades (1990-2009)***

No ano de 1990, o governo extinguiu todos os institutos, resultando no fechamento do IAA. A RIDESA (Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro) foi inicialmente instituída por meio de convênio estabelecido entre sete Universidades Federais (UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL e UFRPE) que estavam localizadas nas áreas de atuação das coordenadorias do Planalsucar (Fonseca et al, 2007). Após a extinção do Planalsucar em 1990, a RIDESA absorveu também todo o trabalho de pesquisa realizado na época do Planalsucar, incorporou o corpo técnico e a infraestrutura das sedes das coordenadorias e das estações experimentais.

“Em 1990, o governo Collor extinguiu todos os institutos e ficamos em condições muito precárias de trabalho. Poucas empresas perceberam a importância do projeto naquela época. A extinção dos institutos foi feita sem nenhum critério, sem uma análise sobre o que estava funcionando ou não. O setor privado, enxergando isso, passou a investir mais.” (Diretor-Executivo da Ridesa. INOVAÇÃO UNICAMP, 2007).

“Após muitas negociações, o governo decidiu transferir as quatro fazendas do Planalsucar para as universidades. As Universidades Federais de Pernambuco, de Alagoas, Rural do Rio de Janeiro e de São Carlos absorveram a estrutura física e o pessoal das coordenadorias Norte, Nordeste, Leste e Sul do Planalsucar. Em janeiro de 2001, fomos incorporados pela UFSCar, em São Paulo, com o compromisso de criar cursos de graduação. Posteriormente, outras universidades e Estados que têm importância no setor canavieiro aderiram à rede: as Universidades Federais do Paraná, de Viçosa, em Minas Gerais, e de Goiás.” (Diretor-Executivo da Ridesa. INOVAÇÃO UNICAMP, 2007).

A rede começou a desempenhar sua função em 1991, apoiada significativamente pelo setor sucroalcooleiro, por meio de convênio, aproveitando também a capacitação dos pesquisadores e as bases regionais do Planalsucar (Ridesa, 2010). No momento de criação da rede de universidades, a sua liderança propôs a criação de um Programa Nacional de Pesquisa e Extensão em Cana-de-Açúcar e Derivados. Esse programa englobava os desafios tecnológicos relacionados aos novos problemas agrícolas, a eficiência industrial, a

conscientização da sociedade em relação ao meio ambiente e ao avanço tecnológico em todas as etapas do processo de produção do etanol. Um programa com essa proposta demanda recursos financeiros tanto do governo quanto da iniciativa privada, portanto, a RIDESA estabeleceu parcerias com empresas do setor, associando 300 empresas conveniadas, que representam 95% das empresas atuantes no setor sucroalcooleiro.

Hoje a rede é formada por 10 universidades: UFMT, UFGO, UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL, UFRPE e UFPI. Após a transição, a RIDESA prosseguiu com a pesquisa de novas variedades de cana, por meio do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), ampliando o programa para atender a crescente demanda do setor (UFSCar, 2010). Nos últimos anos, o programa PMGCA tem sido constantemente renovado, contando com um número crescente de empresas parceiras.

Durante a década de 1990, apesar dos resultados bem sucedidos alcançados pelo CTC, a Copersucar atravessou uma forte crise financeira devido às fortes oscilações dos preços do açúcar e do álcool no mercado internacional. Nesse contexto, Furtado et al (2008) relata o desinteresse dos associados em continuar financiando o CTC, reduzindo o número de associados de 70 usinas durante o período crescimento da cooperativa para menos de 40 no final da década de 90. Além disso, as tecnologias desenvolvidas pelo CTC, embora fossem extremamente importantes para garantir a rentabilidade e o progressivo aumento de produtividade do setor, puderam ser facilmente reproduzidas e apropriadas pelos não cooperados.

“Em 2004 a Copersucar resolveu doar o CTC para uma nova entidade. Esta decisão deveu-se principalmente ao fato do Centro ter um budget anual de R\$ 32 a 40 milhões e os associados não quiseram mais bancar. Outro fator é que a tecnologia acabava sendo compartilhada por grande parte das empresas do setor, mas o seu desenvolvimento pago pelas empresas associadas à Copersucar. Hoje o centro é denominado Centro de Tecnologia Canavieira.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

Nesse cenário, ao setor sucroalcooleiro recebeu a transferência do CTC, em 2004, com a denominação de Centro de Tecnologia Canavieira, que continua influenciando até hoje a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol. Nesse período, o

CTC foi desmembrado da Copersucar transformado em uma associação civil de direito privado, sem fins lucrativos. Hoje, o orçamento anual do CTC está estimado em R\$ 45 milhões, contemplando um quadro organizacional de 107 pesquisadores (Furtado et al, 2008). A venda de cana-de-açúcar e a contribuição dos associados financiam grande parte da pesquisa no CTC, entretanto, esses associados por sua vez não pagam royalties pela aquisição de tecnologia, remunerando apenas o processo aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas (Fonseca et al, 2007). Atualmente, O CTC estabeleceu parcerias com 143 usinas e 17 associações de fornecedores de cana-de-açúcar, que representam 12 mil plantadores de cana. No entanto, há um sentimento de incerteza quanto ao futuro do CTC no setor sucroalcooleiro.

“Havia no Brasil muitos esforços no desenvolvimento de variedades, realizado por entidades como a UFSCAR, IAC e RIDESA. O CTC tinha o melhor banco de variedades do mundo. Atualmente a instituição teve uma queda. Não é possível realizar um projeto de desenvolvimento de variedades apenas na Empresa Alfa. Não se sabe ainda como o setor vai resolver uma possível perda do banco de germoplasma do CTC.” (Superintendente Agroindustrial da Empresa Alfa, 2010).

“Na visão da Empresa Alfa tem que preservar o CTC. Entende que é necessário resolver a questão do CTC antes das empresas estrangeiras. No entanto, compreende que o CTC não pode ser o “Robin Hood” do mercado. A Empresa Alfa e a Petrobrás juntas podem enfrentar os estrangeiros e comprar o CTC. A entrada da Empresa Alfa no CENPES é importante da mesma forma que a Petrobrás do CTC.” (Presidente da Empresa Alfa, 2010).

Futuramente, o CTC pretende se transformar em uma organização social civil de interesse público (OSCIP), facilitando o estabelecimento de novas parcerias com empresas e a obtenção de recursos em agências de financiamento para ciência e tecnologia, como a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Durante a década de 1990, foi criado o Programa de Cana-de-açúcar IAC, que incorporou todos os pesquisadores e especialistas em cana-de-açúcar sediados nas seis estações experimentais (Piracicaba, Jaú, Ribeirão Preto, Mococa, Pindorama e Assis) onde as pesquisas eram realizadas (IAC, 2010). Além disso, o instituto estabeleceu parcerias com o setor sucroalcooleiro, surgindo assim, o grupo fitotécnico de cana-de-açúcar em 1992, em Ribeirão Preto, constituído por fitotecnistas de usinas e cooperativas, pesquisadores e outros profissionais de empresas de insumos, matérias-primas, máquinas e equipamentos de produção ligados à cultura de cana-de-açúcar. Esse grupo atuava prospectando novas demandas para aprimorar as linhas de pesquisas científicas no Programa Cana IAC.

Mais tarde, em 1994, o IAC introduziu o Programa Cana (Procana) como uma proposta de cooperação englobando as empresas do setor, o Instituto Agrônômico e a Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, e expandindo a rede experimental do IAC em cana-de-açúcar. Este projeto integra pesquisas nas áreas de conhecimento de genética, fisiologia, fitopatologia, entomologia, pedologia, fertilidade, climatologia e fitotecnia (IAC, 2010). Essa cooperação resultou na criação, a partir de 1995, no treinamento Procana com a finalidade de promover a padronização da linguagem técnica, aumentar a capacidade de absorção tecnológica nas usinas, ou seja, se tornando o processo de transferência de conhecimento da pesquisa do IAC para as usinas.



## **7.2 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol (1990-2009)**

A análise da trajetória tecnológica durante o período de liberalização econômica do setor de etanol será realizada de acordo com as duas fases identificadas em Dantas e Figueiredo (2009): 1986 a 2002 ("fase de desaceleração e transição") e 2003 a 2009 ("fase do ressurgimento"). A primeira fase examina o período entre 1990 e 2002, marcado pelo fim do Proálcool e seguido pela liberalização do setor. A segunda fase corresponde ao período de 2003 até 2009 e compreende o ressurgimento do setor de etanol no Brasil.

### ***7.2.1 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola (1990-2009)***

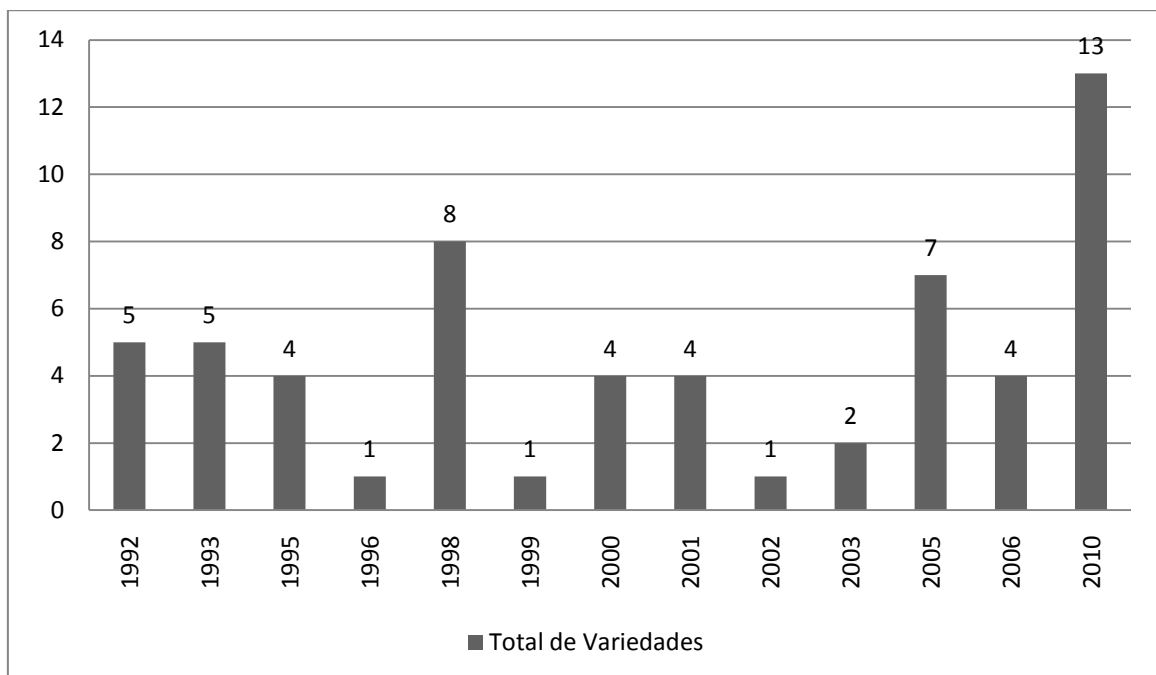
A Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) contribuíram significativamente para o processo de acumulação e difusão de capacidades tecnológicas setor de etanol de cana-de-açúcar. Nesse período, a pesquisa da cana-de-açúcar está sintetizada nos programas de P&D dessas instituições, que dedicaram esforços direcionados particularmente à etapa agrícola da rota tecnológica de etanol. Portanto, as seções seguintes apresentam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas na RIDESA, CTC e IAC durante essas duas fases, entre 1990 e 2010.

No início da década de 1990, a RIDESA (Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro) estabeleceu um convênio estabelecido entre sete Universidades Federais (UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL e UFRPE), nas áreas de atuação das coordenadorias do Planalsucar. Essa rede de universidades absorveu o trabalho de P&D realizado na época do Planalsucar, incluindo as pessoas e a infraestrutura dos centros de pesquisa e estações experimentais.

Apesar do período de desaceleração do setor, entre 1990 e 2002, a RIDESA prosseguiu com a pesquisa de novas variedades de cana-de-açúcar, por meio do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA). Nesse período, os esforços de P&D na rede de universidades resultaram na liberação de novas variedades de cana-de-

açúcar para o setor de etanol, ou seja, as capacidades tecnológicas de P&D, desenvolvidas na RIDESA, constituem inovações *novas para o mercado*, qualificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo do Capítulo 3. Na segunda fase, correspondente ao período de 2003 até 2010, marcada pelo ressurgimento do setor de etanol no Brasil, a RIDESA consolidou sua formação com a participação de 10 universidades (UFMT, UFGO, UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL, UFRPE e UFPI) de grande relevância para o setor sucroalcooleiro (Ridesa, 2010).

**Figura 7-4 – Novas variedades de cana-de-açúcar liberadas pela RIDESA entre 1970 e 2010**



Fonte: RIDESA (2010).

Nos últimos anos, o programa PMGCA tem sido constantemente renovado, contando com um número crescente de empresas parceiras. A Figura 7-4 apresenta o histórico das 59 novas variedades de cana-de-açúcar, adaptadas a diversas regiões do país, liberadas entre os anos de 1990 e 2010 pela rede de universidades federais, que constituem a RIDESA. Nesse período, as novas variedades de cana-de-açúcar resultantes da pesquisa realizada pelas universidades da RIDESA contribuíram significativamente para a expansão do desenvolvimento tecnológico e da produtividade no setor sucroalcooleiro do país. Durante as últimas quatro décadas, a RIDESA liberou no total 78 variedades de cana-de-açúcar, responsáveis pela ocupação de 60% da área cultivada com a cana-de-açúcar no Brasil.

Além disso, a área plantada em alguns estados brasileiros, com as variedades provenientes da RIDESA, atingiu mais de 80% de ocupação.

“Pela Ridesa, foram liberadas 59 variedades, com destaque para a RB867515, a mais plantada atualmente no País, em substituição à RB72454. Tal variedade venceu desafios e consolidou a produtividade agroindustrial nas unidades em ambientes desfavoráveis. A variedade RB855156, que mudou o perfil da safra, antecipou o início da colheita para abril, com precocidade, riqueza e produtividade, dando condições ao setor de um melhor planejamento de safra. E, mais recentemente, a variedade RB92579 veio impactar a produtividade na região Nordeste, com produtividades agroindustriais de 30% a 40% acima das variedades cultivadas. O seu comportamento de campo na região Centro-Sul tem mostrado um futuro promissor.” (Diretor da Ridesa. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

No entanto, as novas necessidades e características do cultivo da cana-de-açúcar no setor de etanol impõem desafios aos programas de melhoramento da cana-de-açúcar que já estão pesquisando as variedades que serão liberadas ao setor até 2050. Nesse sentido, a RIDESA oferece, em grande parte das universidades, cursos de pós-graduação em mestrado e doutorado na área de cana-de-açúcar, englobando desde manejo até melhoramento genético com técnicas de transgenia. Desta forma, a RIDESA estruturou laboratórios e treinou pessoas para realizar atividades de P&D baseadas na técnica de biotecnologia com a finalidade de obter material para plantio com menor incidência de doenças, ou seja, a rede de universidades desenvolve projetos que buscam a produção de variedades melhoradas pela transgenia (Ridesa, 2010b). Portanto, a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras por meio de atividades de P&D de variedades transgênicas na RIDESA resultam em inovações *novas para o mundo*, qualificadas no Nível 5 (Inovador global) conforme o modelo exposto no Capítulo 3.

Durante o período de liberalização do setor, entre 1990 e 2002, a Copersucar enfrentou uma grande crise financeira, contribuindo para o desinteresse dos associados em financiar o CTC, reduzindo assim o número de associados para menos de 40 no final da década de 90. Além disso, os associados estavam insatisfeitos, pois as tecnologias desenvolvidas pelo CTC eram facilmente copiadas e apropriadas por usineiros e produtores não cooperados ao

centro de tecnologia. Nesse contexto, Dantas e Figueiredo (2009) relatam a limitação das atividades do programa de melhoramento do CTC, que durante esse período reduziu o número de estações experimentais. No entanto, durante a segunda fase, correspondente ao ressurgimento do setor de etanol no Brasil, entre 2003 até 2010, as alterações econômicas e a desregulamentação do setor de etanol impulsionou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol com o intuito de aumentar a eficiência e reduzir os custos. Esses objetivos foram alcançados por meio das atividades de acumulação tecnológica em busca de maior eficiência agrícola e industrial e com o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar.

“Os canaviais ocupam mais de 8 milhões de hectares no Brasil e geram 500 milhões de toneladas de cana-de-açúcar todos os anos. O melhoramento genético convencional tem contribuído muito para que o País ocupe lugar de destaque na produção de açúcar e etanol. Para se ter ideia, nos últimos dez anos, foram lançadas no mercado nacional mais de 80 variedades de cana-de-açúcar, que podem parecer iguais para leigos, mas que são bastante diferentes, com comportamentos específicos, e colocam o programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar brasileiro entre os melhores do mundo.” (Gerente de Melhoramento Genético da CanaVialis. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

Nessa realidade, o CTC reativou o programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Após a transição do centro tecnológico para o setor em 2004, CTC (2010) relata as atividades de P&D que resultaram na liberação de 20 novas variedades de cana-de-açúcar (classificadas CTC1 a CTC20), isto é, inovações novas para o mercado, qualificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo do Capítulo 3. Desta forma, os investimentos no programa de melhoramento genético do CTC ao longo dos últimos anos foram revertidos em variedades mais produtivas, mais adaptadas e resistentes devido principalmente aos esforços de P&D realizados pelos pesquisadores do CTC.

“Essas novas variedades representam o que há de mais avançado no desenvolvimento varietal e tem ocupado espaço crescente nas unidades associadas. Nas últimas cinco safras, as áreas de plantio dobraram a cada ano; em 2010, estimamos que 28% do plantio será com variedades CTC. Nossa expectativa é de que, nos próximos anos, essas variedades sejam

cultivadas em 40% de toda a área agrícola brasileira, mantendo os ganhos atuais de 3% em produtividade ao ano.” (Coordenador de P&D de Variedades do CTC. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

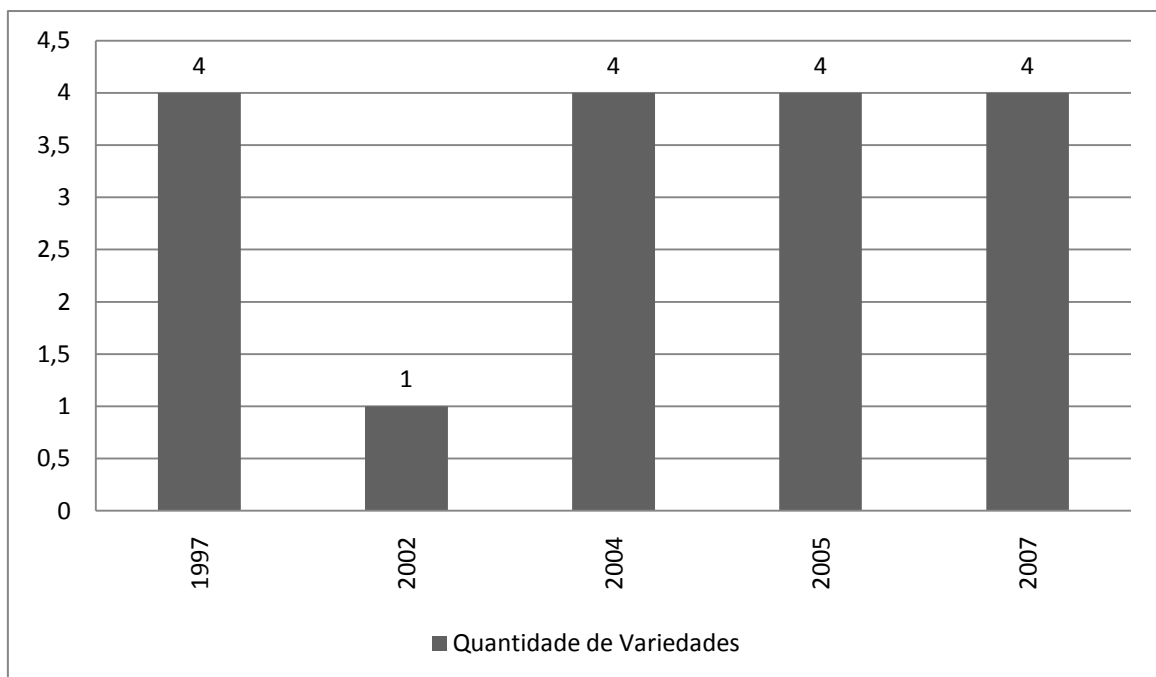
Apesar do reconhecimento atual por seus trabalhos na área agrícola, com mais de 70 variedades lançadas e cultivadas em mais de 50% da área em cana no país, o CTC realiza pesquisas e desenvolvimento em diversas etapas agrícolas e industriais da cana-de-açúcar (CGEE e BNDES, 2008). Essas etapas englobam a administração rural, melhoramento de variedades, fitossanidade, sistemas de plantio e colheita, processos de extração e fermentação e sistemas de energia para as usinas de açúcar e etanol. Por fim, o CTC liderou a introdução de inovações no setor de etanol, contribuindo tecnologicamente para a expansão da eficiência na produção de etanol.

No tocante aos projetos de P&D com a utilização de biotecnologia, o CTC desenvolveu atividades de P&D desde 1990 (CGEE e BNDES, 2008). Nesse contexto, o CTC realizou em 1994 a primeira transformação genética da cana-de-açúcar no Brasil, gerando uma variedade resistente a herbicidas (CTC, 2010). Em 1997, o CTC liderou a constituição do Consórcio Internacional de Biotecnologia de Cana-de-açúcar (ICSB), entidade que atualmente integra 12 países produtores de cana-de-açúcar (CGEE e BNDES, 2008). Após o sequenciamento dos 50 mil genes da cana, desenvolvido entre 1999 e 2002 no Projeto Genoma Cana-de-Açúcar, patrocinado pela Fapesp, diversos grupos brasileiros vêm trabalhando em métodos biotecnológicos avançados para criar clones com maior resistência a doenças, precocidade, sacarose, maior biomassa (CGEE e BNDES, 2008). Mais tarde, em 2007, o CTC construiu uma estufa de 5000 mil m<sup>2</sup>, para a avaliação de 6000 plantas transgênicas (CTC, 2010). Essas atividades de P&D no CTC resultaram em inovações novas para o mundo, qualificadas no Nível 5 (Inovador global), na fronteira tecnológica.

Mais recentemente, o CTC desenvolveu projetos de P&D em parceria com instituições de pesquisa brasileiras para identificar genes de interesse comercial da cana-de-açúcar (CTC, 2010). Por exemplo, CTC (2010) relata as atividades de mapeamento do genoma da cana-de-açúcar em parceria com a FAPESP e identificou diversos genes que foram patenteados e estão sendo usados no programa de transgenia. Além disso, o CTC estabeleceu acordos para o desenvolvimento de variedades transgênicas com algumas das principais empresas

mundiais em genética vegetal (Dow, Basf e Bayer) com a finalidade de desenvolver variedades que acumulem mais açúcares, tolerem o estresse hídrico e sejam resistentes a pragas (CTC, 2010). Os projetos de P&D do CTC, em parceria com instituições de pesquisa brasileiras e as principais empresas mundiais em genética vegetal, constituem inovações *novas para o mundo*, qualificadas no Nível 5 (Inovador global), de acordo com a métrica introduzida no Capítulo 3.

**Figura 7-5 – Novas variedades de cana-de-açúcar liberadas pelo IAC entre 1990 e 2010**



Fonte: IAC (2010).

A partir de 1990, o IAC adotou novas estratégias de estudo para o seu programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar (Programa Cana). As atividades desse programa foram direcionadas para as características específicas das regiões brasileiras de maior importância ou que apresentavam potencial para expandir a produção. Nesse período, o investimento em pesquisa resultou na criação de 17 novas variedades de cana-de-açúcar (IAC, 2010). Desta forma, o conhecimento acumulado no IAC por meio do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar (Programa Cana) criou inovações *novas para o mercado*, qualificadas no Nível 4 (Inovador Avançado) de acordo com o modelo do Capítulo 3.

Por exemplo, em 2007 quatro novas variedades (IAC91-1099, IACSP93-2060, IACSP95-3028 e IACSP95-5000) de cana-de-açúcar foram ofertadas ao setor sucroalcooleiro pelo programa de cana-de-açúcar do IAC (IAC, 2010). Essas variedades foram selecionadas com características de alta produção agrícola, alto teor de sacarose e adaptáveis à colheita mecanizada, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais. As preocupações governamentais e internacionais, quanto à sustentabilidade do setor de etanol, direcionam os esforços de pesquisa de novas variedades para a redução dos impactos ambientais (IAC, 2010). Nesse sentido, essas quatro variedades foram desenvolvidas para a colheita mecânica, substituindo a queimada da cana-de-açúcar, bastante utilizada na colheita manual. A Figura 7-5 apresenta a evolução dos resultados obtidos pelo IAC com a pesquisa e desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar adaptadas a diversas regiões do país, ou seja, essas constituem inovações *novas para o mercado*, classificadas no Nível 4 (Inovador Avançado).

Além da acumulação de capacidades tecnológicas na RIDESA, CTC e IAC, nos últimos anos a acumulação de capacidades tecnológicas de inovação, por meio da aquisição de conhecimento com as pesquisas em biotecnologia, contribuiu para a constituição de duas novas empresas startups de biotecnologia, chamadas Alellyx e CanaVialis. Em 2002, a Votorantim Novos Negócios fundou a startup Alellyx, em parceria com alguns pesquisadores, que participaram do sequenciamento da bactéria *Xyllela fastidiosa* no Programa Genoma FAPESP, no final dos anos 1990 (Revista Pesquisa FAPESP, 2010). A empresa Alellyx (*Xyllela invertida*) tinha a missão de criar, por meio da biotecnologia, tecnologias agrícolas relacionadas ao melhoramento genético da cana de açúcar.

“Depois da *Xyllela*, participamos do sequenciamento da cana e do eucalipto e decidimos criar a Alellyx, em 2002, porque não havia nenhuma empresa no mundo capaz de transformar a cana-de-açúcar. Trabalhamos também com laranja e eucalipto, mas o grosso do orçamento é para fazer novas variedades de cana transgênica.” (professor titular da Universidade de São Paulo e diretor executivo da Votorantim Novos Negócios. REVISTA PESQUISA FAPESP, 2008).

Mais tarde, em 2003, a Votorantim também criou outra startup, a CanaVialis, com a finalidade de desenvolver novas variedades de cana-de-açúcar (Revista Pesquisa FAPESP,

2010). Essas empresas englobavam 150 pesquisadores que realizam atividades de P&D direcionados às aplicações da biotecnologia (marcadores moleculares e sistemas avançados de gestão varietal), destacando-se o programa de melhoramento de variedades com a técnica da transgenia, mediante a qual se inserem genes de indivíduos diferentes no genoma da cana (CGEE e BNDES, 2008). Desta forma, a constituição da Alellyx e CanaVialis impulsionou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação de Nível 5 (Inovador Global) na área agrícola do setor de etanol, resultando em inovações *novas para o mundo*. O investimento da Votorantim Novos Negócios na criação dessas empresas totalizou U\$ 40 milhões. No final de 2008, as duas empresas foram compradas por U\$ 290 milhões pela multinacional Monsanto que pretende transformar as empresas na sua plataforma mundial de pesquisa em cana-de-açúcar (Revista Pesquisa FAPESP, 2010). Após 6 anos de pesquisa, a CanaVialis liberou, em setembro de 2009, a primeira variedade de cana-de-açúcar para o setor sucroalcooleiro brasileiro.

“Hoje, é necessário atender às necessidades das novas fronteiras agrícolas, especialmente no cerrado, em geral pastagens degradadas com solos de fertilidade média para baixa e menor quantidade de água disponível. Ano passado (2009), a CanaVialis lançou sua primeira variedade para o mercado, a CV Pégaso, que tem ótimo aspecto visual, capacidade de brotação e demonstra alta resistência às principais doenças, inclusive à ferrugem alaranjada. Destaca-se em ambientes intermediários, comparado aos padrões pela alta sanidade e produtividade. No futuro, o uso da biotecnologia vai adicionar às variedades do melhoramento convencional características complementares como tolerância a herbicidas, resistência a pragas, tolerância ao estresse hídrico, maior concentração de açúcar para consumo humano e para produção do etanol e a utilização do subproduto da cana.” (Gerente de Melhoramento Genético da CanaVialis. REVISTA OPINIÕES, 2010a).

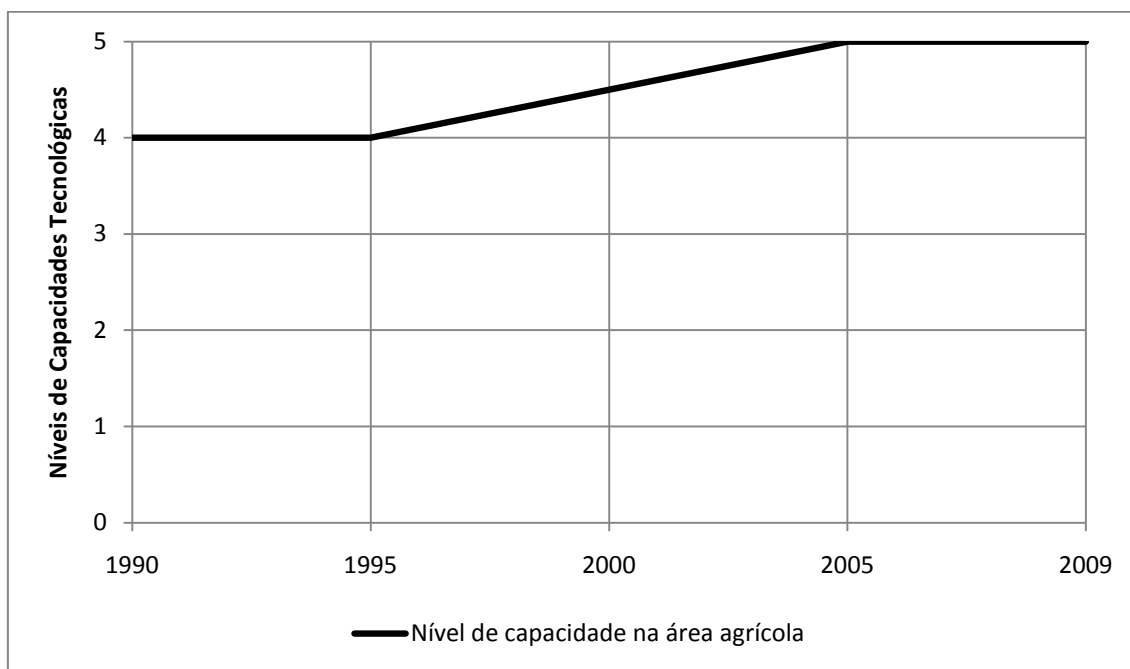
Além disso, o programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar a multinacional Monsanto está direcionada para as novas regiões de expansão da cultura, que são regiões produtoras de cana-de-açúcar com solos pobres em nutrientes, com baixo índice pluviométrico e temperaturas elevadas como, por exemplo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás. Entretanto, as variedades desenvolvidas nessa empresa não abrangem uma área representativa da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil. Desta forma, as



capacidades tecnológicas acumuladas nessas organizações apresentaram resultados questionáveis quanto ao impacto na elevação da produtividade agrícola e industrial no setor de etanol brasileiro.

A Figura 7-6 resume a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica de produção e inovação na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 1989.

**Figura 7-6– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1990 e 2009.**



*Fonte:* Derivado desta dissertação.

### ***7.2.2 Evolução da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial (1990-2009)***

Nesta Seção, a análise da trajetória tecnológica industrial durante o período de liberalização econômica do setor de etanol será realizada de acordo com as duas fases identificadas em Dantas e Figueiredo (2009): 1986 a 2002 ("fase de desaceleração e transição") e 2003 a 2009 ("fase do ressurgimento"). A primeira fase examina o período entre 1986 e 2002, marcado pelo fim do Proálcool e seguido pela liberalização do setor. A segunda corresponde ao período de 2003 até 2009, a fase do ressurgimento do setor de etanol no Brasil.

No tocante à acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial, durante a primeira fase, entre 1986 e 2002, com o fim do Proálcool e a liberalização do setor, as empresas do setor enfrentam um período de estagnação na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas. No entanto, as tecnologias de produção de etanol de 1ª geração em operação continuaram a sofrer pequenas adaptações incrementais por meio de atividades de engenharia para adaptar e melhorar os processos de produção e sistemas de equipamentos, dando sequência às atividades iniciadas na fase anterior (Dantas e Figueiredo, 2009). Essas mudanças incrementais representam inovações novas para a empresa, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

Apesar da estagnação do setor, algumas atividades baseadas em P&D introduziram novas tecnologias em empresas do setor. Por exemplo, em 1990, a Empresa Alfa estabeleceu uma área interna de P&D alinhada ao desenvolvimento tecnológico e à busca de novas tecnologias de produção de etanol e açúcar. Desta forma, a criação de um P&D na Empresa Alfa, com a finalidade de realizar a mudança contínua nos processos de produção e a introdução de novos processos de produção, constitui uma capacidade tecnológica de inovação de Nível 4 (Inovador Avançado). Além disso, a empresa participou no início da década de 1990, em uma missão junto ao CTC no exterior com a finalidade de compreender as tecnologias utilizadas na produção de etanol em países estrangeiros e preparar um plano de automação das atividades industriais para o processo de produção de etanol de 1ª geração.

“Em 1990 havia uma área de P&D compreendendo 40 profissionais na Empresa Alfa, mantendo relações com instituições no exterior. Esse grupo realizava pesquisas destinadas a criar novas tecnologias e alternativas aos processos existentes. Isso criou uma cultura na Empresa Alfa de modo que atualmente a usina recebe quatro visitas internacionais por mês, o ano inteiro. Algumas pesquisas foram realizadas através de fomento de empresas de fora. Na reestruturação de 1998/99 essa área de P&D terminou.” (Gerente Industrial da Empresa Alfa, 2010).

“De 1992 a 1994 foi realizada uma missão tecnológica do CTC na Alemanha. Foram visitadas usinas de produção de açúcar a partir da beterraba. Esta missão foi crítica para entender o que era necessário fazer na empresa e no setor. Devido a esta missão, foi elaborado na Empresa Alfa um Plano de Automação Industrial, com o objetivo de implementar completamente o plano em 10 anos.” (Superintendente da Empresa Alfa, 2010).

Mais tarde, durante a segunda fase, entre 2003 e 2010, as empresas estavam preocupadas com o futuro do CTC devido à crise financeira e a fase de transição vivenciada por esse centro de tecnologia. Nesse sentido, as grandes empresas do setor estabeleceram centros de tecnologias internos a fim acumular novas capacidades tecnológicas por meio de parcerias estratégicas com fornecedores, empresas e institutos de tecnologia no Brasil e no exterior. Por exemplo, a Empresa Alfa contratou nesse período alguns pesquisadores, provenientes do antigo Centro de Tecnologia da Copersucar, para incorporar o novo centro de tecnologia da empresa.

“Atualmente o Centro de Tecnologia da São Matinho compreende seis pessoas, sendo quatro grandes cientistas que eram do CTC. A empresa buscou estruturar um centro de tecnologia no caso da falta do CTC no mercado. O centro de tecnologia usa os recursos e projetos do CTC. O trabalho da São Matinho no CTC é proativo e focado. Dentre os projetos estão o processamento da vinhaça e a produção de variedades resistentes a pragas e doenças.” (Presidente da Empresa Alfa, 2010).

Ainda nessa fase, a Empresa Alfa realizou diversos projetos em parceria com CTC, adquirindo assim novas capacidades tecnológicas de produção e inovação. Nesse contexto, o centro tecnológico da empresa tornou-se responsável pelo desenvolvimento de atividades estratégicas de prospecção tecnológica e pela identificação de soluções para os problemas enfrentados atualmente na produção de etanol, como por exemplo, a vinhaça excedente gerada durante a produção do etanol e a produção de variedades de cana-de-açúcar. Portanto, os esforços de P&D compartilhados entre o CTC e a Empresa Alfa constituem capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 4 (Inovador Avançado), ou seja, *inovações novas para o mercado*.

“Com relação ao CTC, a Empresa Alfa realizou muito desenvolvimento tecnológico em conjunto com a instituição. O pessoal oriundo da antiga área de P&D da Empresa Alfa capacitava o restante do pessoal para interagir com o CTC. Atualmente existe uma diretoria de P&D formada a partir de uma pequena reestruturação realizada em 2010. Este grupo é formado por um diretor e quatro consultores. O diretor desse grupo, o Sr. Ericsson, junto com os consultores, formam o núcleo de tecnologia da empresa. Eles buscam não somente novas tecnologias e novas soluções, mas também identificam demandas que precisam ser atendidas. Por exemplo, é preciso buscar uma solução efetiva para a vinhaça.” (Gerente Industrial da Empresa Alfa, 2010).

Apesar dos avanços tecnológicos alcançados pelo setor nos últimos anos, grande parte das atividades de aprendizagem esteve dedicada à acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas. Nessa realidade, a RIDESA, o CTC e o IAC contribuíram significativamente para a transformação tecnológica do setor, por meio da aquisição de conhecimentos relacionados principalmente à etapa agrícola. Esse fato se deve a maior taxa de retorno proporcionada pela pesquisa nessa etapa do processo de produção de etanol, quando comparada ao retorno resultante dos esforços obtidos na fase industrial. Agora, o setor demanda o redirecionamento das atividades de acumulação de capacidades tecnológicas para a etapa industrial, que durante muitos anos vivencia uma trajetória de estagnação.

“No setor sucroalcooleiro o maior número de tecnologias desenvolvidas está relacionado à atividade agrícola. O investimento em tecnologia agrícola dá mais retorno. Esse é um dos motivos de não ter havido uma evolução

significativa em tecnologias industriais no setor nos últimos anos. Vivemos um momento de estagnação.” (Coordenador da Garantia da Qualidade na Copersucar, 2010).

Nesse contexto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) desembolsou linhas de financiamentos expressivas para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas industriais de produção no setor brasileiro de etanol no período entre 2001 e 2009. Por exemplo, em 2005 o BNDES liberou à Agroindustrial Santa Juliana, empresa originária de Alagoas, um financiamento no valor de R\$ 37 milhões para implantação de uma destilaria autônoma de etanol em Minas Gerais (BNDES, 2005). Desta forma, o Banco influenciou expressivamente no processo de acumulação de capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção).

Além desse, após dois anos de esforços em atividades de P&D, a Embraer (através de sua subsidiária Indústria Aeronáutica Neiva) passou a produzir em 2005 o avião agrícola Ipanema, preparado e homologado para utilizar etanol hidratado, e também desenvolveu capacidades tecnológicas inovadoras para converter aviões agrícolas a gasolina para etanol (CGEE, 2010). Atualmente, a Embraer está desenvolvendo capacidades tecnológicas de motores flexfuel para aviões agrícolas e de pequeno porte, cuja frota atual no Brasil compreende aproximadamente 12 mil aeronaves (BNDES e CGEE, 2008). No entanto, a utilização de etanol está limitada a aviões leves com motores a pistão devido à sua baixa densidade energética (CGEE, 2010). Essas atividades de P&D para introduzir de novos produtos (combustíveis para aviões) e alterar as especificações de acordo com demandas dos produtores de motores constituem capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 4 (Inovador Avançado), ou seja, inovações *novas para o mercado*.

No Brasil, diversas pesquisas foram realizadas, desde a década de 1980, sobre o uso de etanol em motores de maior porte como, por exemplo, a utilização do etanol em motores diesel, mas não apresentaram resultados conclusivos (BNDES e CGEE, 2008). A tecnologia foi bastante desenvolvida e está sendo divulgada pelo Projeto BEST (BioEtanol para o Transporte Sustentável), uma iniciativa da União Europeia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo, na Suécia (Moreira et al, 2010). No Brasil, o projeto BEST é liderado pelo CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa) do IEE/USP (Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo), que avalia o uso do

etanol como combustível alternativo ao diesel, em ônibus utilizados para o transporte público. Velázquez et al (2010) relatam as parcerias estabelecidas, em 2007, pelo CENBIO com a Scania Latin América para importar o chassi e o motor da Suécia e com a Marcopolo para projetar, construir e fornecer a carroceria. Além desses, o CENBIO realizou acordos com a ÚNICA para fornecer o etanol, com a BAFF/SEKAB para fornecer o aditivo de fabricação própria e com a Petrobras para importar o aditivo, misturar ao etanol e distribuir o combustível nas operadoras dos ônibus (Velázquez et al, 2010). Os primeiros testes foram realizados pela operadora METRA (Sistema Metropolitano de São Paulo) da concessionária EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos S.A). Portanto, as atividades de P&D para introduzir de novos produtos (combustíveis para ônibus) e alterar as especificações de acordo com demandas dos produtores de motores compreendem capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 4 (Inovador Avançado).

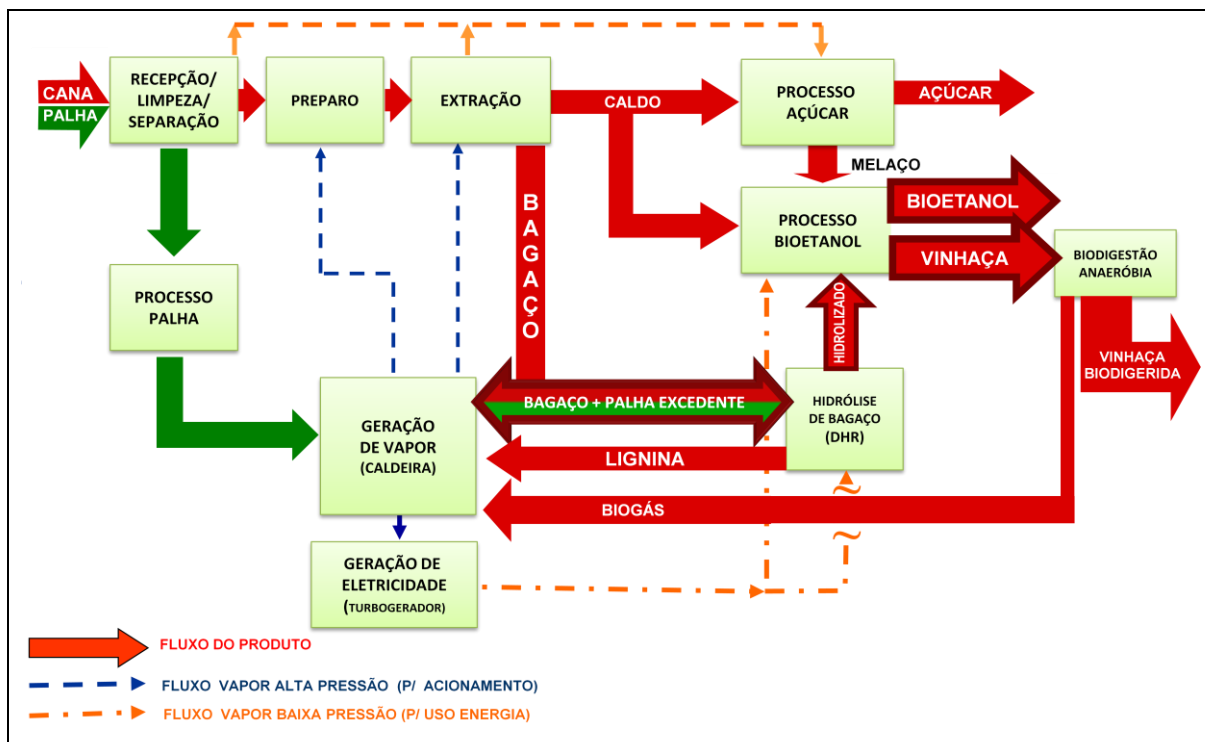
No tocante à fronteira tecnológica, nas últimas duas décadas a pesquisa experimental relacionada à produção de etanol de 2ª geração, por meio da hidrólise e fermentação de materiais lignocelulósicos, se intensificou a fim de expandir a produção de etanol através do bagaço da cana-de-açúcar e dos resíduos da colheita. As novas tecnologias de 2ª geração para a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos englobam os conhecimentos sobre a hidrólise da biomassa em açúcares, que serão fermentados na etapa seguinte para a produção do etanol de 2ª geração (CGEE e BNDES, 2008). Neste novo contexto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social aprovou em 2007 a liberação de um financiamento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), no valor de R\$ 1,5 milhão, para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas de biomassa lignocelulósica, direcionada à obtenção de novas fontes de matérias-primas químicas complementares ao petróleo (BNDES, 2007b). Esse será desenvolvido por instituições de ensino e pesquisa, em parceria com a empresa Oxiten S/A Indústria e Comércio e com recursos da FAPESP e da própria Oxiten. Entretanto, esses processos não possuem hoje aplicação em escala de produção comercial no Brasil.

Em 2006, o Laboratório de Tecnologia Enzimática (Enzitec) da UFRJ também estabeleceu um novo projeto de etanol de 2ª geração, financiado pelo governo, Finep e MCT. A partir de 2010, durante a segunda fase do projeto o Enzitec pretende desenvolver uma planta piloto de etanol para converter a biomassa (bagaço e a palha de cana-de-açúcar) em etanol. Nesse sentido, a equipe do laboratório Enzitec realizou visitas à Empresa Alfa, com o

objetivo de compreender o processo convencional de produção de etanol (1ª geração) e adaptá-lo ao processo de produção de etanol de 2ª geração. Desta forma, a realização do projeto de P&D no Enzitec, com o objetivo de introduzir processos de produção de classe mundial (etanol celulósico), empurrando a fronteira tecnológica internacional, agrega capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global) ao setor de etanol, gerando inovações *novas para o mundo*.

“O processo de hidrólise enzimática é perfeitamente conhecido, e já adequado para o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. No entanto ainda é necessário esforços de P&D para torná-lo economicamente viável. Nesse sentido está sendo realizado um projeto para a construção de uma planta piloto capaz de produzir 100 litros.” (Pesquisadora do Laboratório de Tecnologia Enzimática na UFRJ, 2009).

**Figura 7-7 – Tecnologia de produção de etanol de 2ª geração: Fluxograma para produção de etanol (Fase experimental).**



Fonte: Dedini, 2009.

No período entre 2002 e 2007, a Dedini Indústrias de Base, em parceria com o CTC, também desenvolveu um projeto com o intuito de pesquisar a tecnologia 2ª geração a partir do processo de hidrólise ácida, utilizado para extrair etanol a partir do bagaço da cana-de-

açúcar (Fonseca et al, 2007). A Figura 7-7 apresenta uma visão geral da tecnologia de produção de etanol de 2ª geração em fase experimental no projeto de pesquisa da Dedini. Portanto, a realização do projeto de P&D entre o CTC e a Dedini, com o objetivo de introduzir processos de produção de classe mundial (etanol celulósico), constitui capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global) para o setor de etanol, gerando inovações *novas para o mundo*. Em 2007, o CTC iniciou o desenvolvimento de capacidades tecnológicas para produzir etanol a partir da biomassa de cana-de-açúcar (bagaço e palha) com um projeto inovador, que será integrado aos processos de geração de etanol existentes em mais de 400 usinas, atuando em parceria com a Novozymes, maior produtora mundial de enzimas (CTC, 2010).

Por fim, a Petrobras instalou no seu Centro de Pesquisas no Rio de Janeiro (Cenpes) uma planta piloto para produzir etanol por meio do processo de hidrólise enzimática e a segunda está fase de implantação no recém-criado Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, em Campinas (BNDES e CGEE, 2008). A criação de processos de produção de etanol celulósico de classe mundial no CTC e em empresas como a Dedini e a Petrobras, empurrando a fronteira tecnológica internacional, constitui capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global) no setor de etanol, resultando na disseminação de inovações *novas para o mundo*.

Entretanto, a produção de etanol com tecnologia de 2ª geração apresenta alguns desafios. Aparentemente, os produtores de etanol que utilizam tecnologia de primeira geração estão presos (locked-in) na trajetória tecnológica de etanol de 1ª geração devido à alta rentabilidade do setor nos últimos anos. Nessa realidade, apesar da tecnologia de 2ª geração expandir a produção de etanol e também utilizar o bagaço remanescente para produzir energia, há pouco interesse no setor em viabilizar essa tecnologia de 2ª geração comercialmente.

A produção de etanol baseada na tecnologia de primeira geração é bastante rentável. Os usineiros estão satisfeitos com a rentabilidade atual da produção de etanol. Os usineiros queimam o bagaço da cana de forma ineficiente. A utilização de 10% do bagaço e palha da cana, mais a palha do trigo seria capaz de elevar a produção nacional de etanol em 50%. (Pesquisadora do Laboratório de Tecnologia Enzimática na UFRJ, 2009)



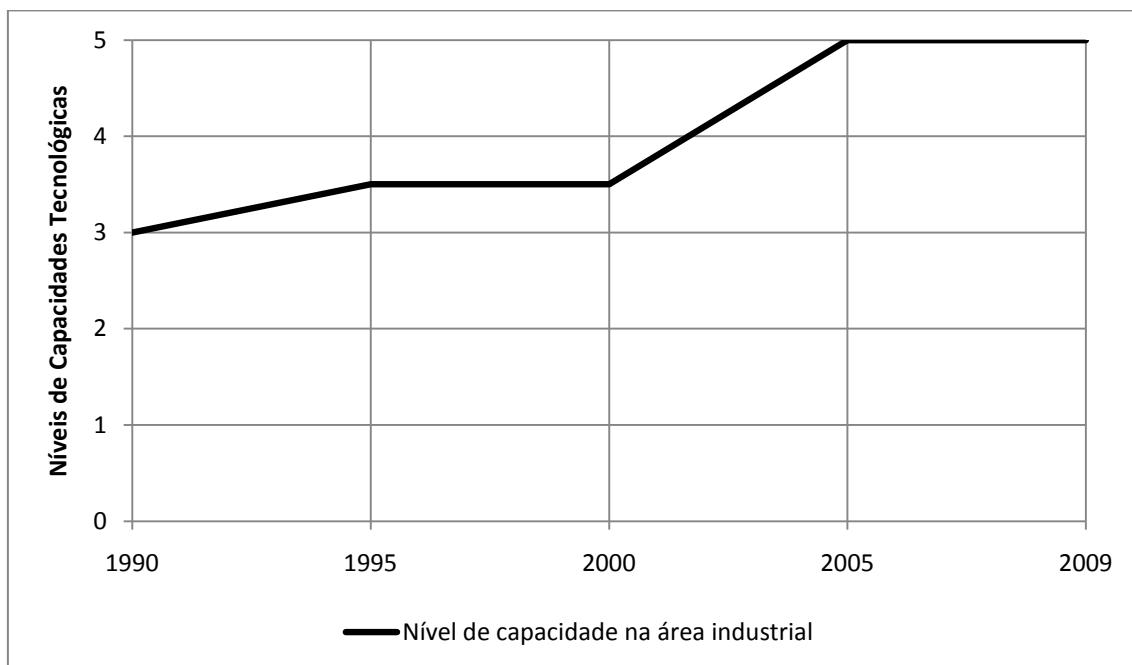
Ainda no que se referem à fronteira tecnológica, há diversos co-produtos da cana-de-açúcar em fase experimental de desenvolvimento como, por exemplo, a utilização do etanol em diversos processos petroquímicos (aqui chamados de alcoolquímicos), destacando-se a produção de os materiais plásticos. Tradicionalmente, a indústria petroquímica utiliza o gás natural e o petróleo como matérias-primas para produzir esses produtos. No entanto, o etanol também pode ser utilizado na produção de eteno, polietileno (PE), o polipropileno (PP) e o policloreto de vinila (PVC). Para BNDES e CGEE (2008), os bioplásticos assumiram maior importância nos últimos anos devido à expansão mundial do mercado de plásticos (300 milhões de toneladas em 2010) e às maiores preocupações ambientais, provocadas pela expansão dos resíduos plásticos e pela difícil degradação dos mesmos. A produção de bioplásticos representa inovações *novas para o mundo*, classificadas no Nível 5 (Inovador Global) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

“Falo dos plásticos verdes. São assim chamados os polímeros feitos a partir de matéria-prima renovável. Estes, ao contrário do que muitos pensam, não precisam ser necessariamente biodegradáveis. O polietileno feito de cana-de-açúcar é química e mecanicamente igual ao material oriundo do petróleo. Sua única diferença é que, ao invés de desenterrar carbono e o transformar em plástico, tais empresas (Braskem e Dow) se utilizam da biomassa - que absorve CO<sub>2</sub> do meio ambiente, e a convertem em polímero. Já o produto da PHB Industrial se diferencia dos demais. Esta fabrica o poli-b-hidroxibutirato (PHB), um plástico gerado por um processo fermentativo - via bactérias naturais, não geneticamente alteradas que se alimentam do açúcar contido na cana e acumulam o PHB dentro de suas células. Certas aplicações desse material, uma vez em contato com ambientes compostáveis, degradam-se dentro de, aproximadamente, 120 dias.” (Diretor do CTBE - Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol. REVISTA OPINIÕES, 2009).

Além desse, o BNDES aprovou financiamento no valor de R\$ 555,6 milhões para a Braskem desenvolver, em seu Centro de Tecnologia e Inovação de Triunfo, um projeto inovador com o objetivo de produzir eteno e polietilenos a partir de etanol produzido da cana-de-açúcar (BNDES, 2009). Nesse sentido, a Braskem aprovou em 2010 a construção

de uma nova fábrica de polietileno verde com capacidade de produção de 200 mil ton./ano de eteno e polietileno a partir da cana-de-açúcar (Braskem, 2010). A nova planta iniciará as operações em 2011 e será localizada no Pólo Petroquímico de Triunfo, no Rio Grande do Sul, ao lado da unidade de petroquímicos básicos da Braskem. Desta forma, a diversificação para novos setores com a introdução de bioplásticos baseados em P&D próprio incorporam capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global) no setor de etanol, resultando na disseminação de inovações novas para o mundo. Por fim, a Figura 7-8 resume a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica de produção e inovação na área industrial no setor de etanol no período entre 1990 e 2009.

**Figura 7-8– Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1990 e 2009.**



*Fonte:* Derivado desta dissertação.

## **CAPÍTULO 8 : ANÁLISES E DISCUSSÕES**

Este Capítulo tem como finalidade analisar e discutir as evidências empíricas apresentadas no Capítulo 6 e no Capítulo 7. Para tanto, a análise será realizada por meio do modelo descrito no Capítulo 3. Primeiro, a Seção 8.1 examina a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol. Em seguida, a Seção 8.2 analisa o papel desempenhado pelas instituições sobre a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol. Na Seção 8.2.1 apresento a análise do papel desempenhado pelas macro-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol. Na Seção 8.2.2 descrevo do papel desempenhado pelas meso-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol. Na Seção 8.2.3 mostro o papel desempenhado pelos institutos de pesquisas e universidades sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol.

### **8.1 Síntese da trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor brasileiro de etanol (1970-2009)**

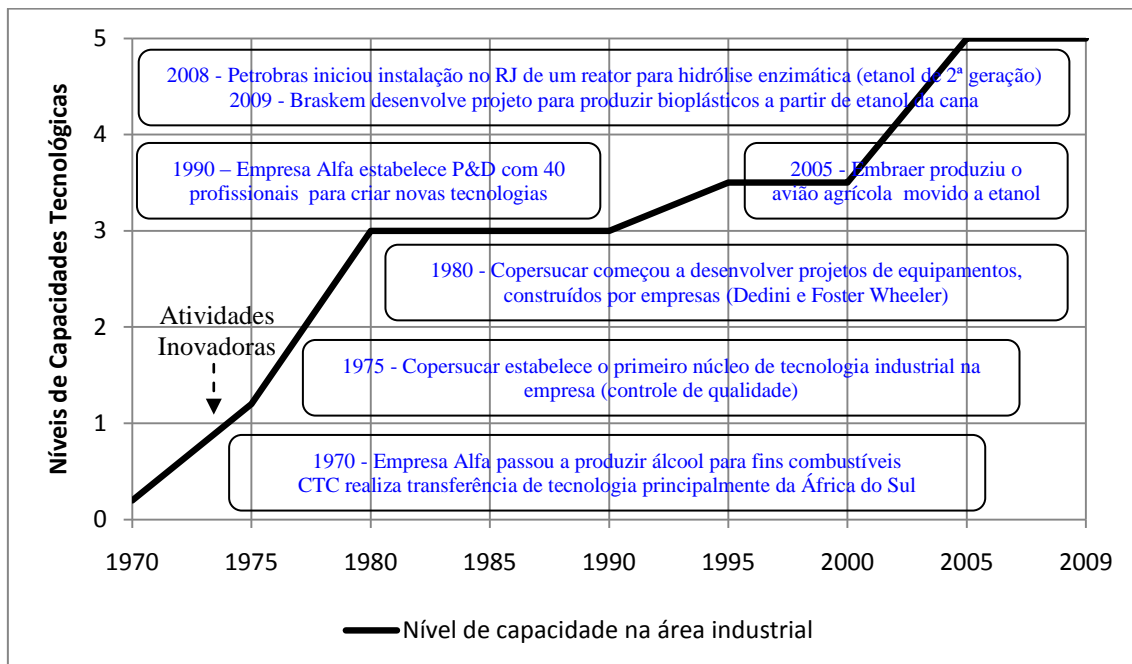
Nesta parte analisarei a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica no setor brasileiro de etanol com o objetivo de apresentar as principais capacidades tecnológicas adquiridas pelas empresas do setor, desde o seu surgimento, em 1970, até a recente fase de ressurgimento em 2003 e posterior expansão. Desta forma, pretendo sinteticamente responder a primeira questão citada na presente dissertação:

- (1) Como evoluiu a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol entre os anos de 1970 e 2009?

Para tanto, a análise da trajetória tecnológica do setor compreenderá os dois principais períodos seguintes: 1º período (1970-1989) marcado por um regime político e econômico de industrialização por substituição de importações; 2º período (1990-2009) simbolizado pela liberalização econômica e a desregulamentação do setor de etanol. Além disso, a análise será realizada por meio de quatro fases, de acordo com a perspectiva de Dantas e Figueiredo (2009), compreendendo a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor. A primeira delas, entre 1975 e 1978, representa o período do surgimento e

estabelecimento do setor. A segunda fase, correspondente aos anos de 1979 a 1985, engloba o período de forte expansão do setor. A terceira fase, compreendido entre 1986 e 2002, está representada pelo colapso dos preços do petróleo em 1986, e seguido posteriormente pela estagnação do Proálcool. Por fim, a quarta fase corresponde ao período entre 2003 e 2010, marcado pelo ressurgimento do setor de etanol no Brasil.

**Figura 8-1 – Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área industrial no setor de etanol no período entre 1970 e 2009.**



*Fonte:* Derivado desta dissertação.

No tocante à acumulação de capacidades tecnológicas industriais (processo e produto), a Figura 8-1 apresenta a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas industriais no setor de etanol (1970-2009) e os respectivos níveis alcançados pelo setor em cada período. Desta forma, por volta de 1975, as principais empresas do setor de etanol adquiriram capacidades tecnológicas e gerenciais para utilizar e operar tecnologias importadas maduras para produzir etanol de 1ª geração. Portanto, o setor adquiriu inicialmente capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção) de acordo com a Figura 8-1. Durante a fase de constituição do setor, as empresas realizaram os primeiros movimentos de “catching-up” (inovador seguidor), descrito em Figueiredo (2009), em direção à trajetória tecnológica das empresas estrangeiras inovadoras, que já estavam na fronteira tecnológica internacional.

Entre 1975 e 1979, as empresas brasileiras incorporaram principalmente o conhecimento necessário para produzir etanol anidro de 1ª geração, o qual era utilizado nas misturas de etanol na gasolina. Nesse sentido, no Capítulo 6 (Seção 6.2.2) apresentei evidências sobre os esforços realizados, durante a década de 1970, pelas empresas no Brasil para adquirir as primeiras tecnologias e equipamentos de última geração da África do Sul, ou seja, o setor incorporou capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção) de acordo com o modelo apresentado no Capítulo 3.

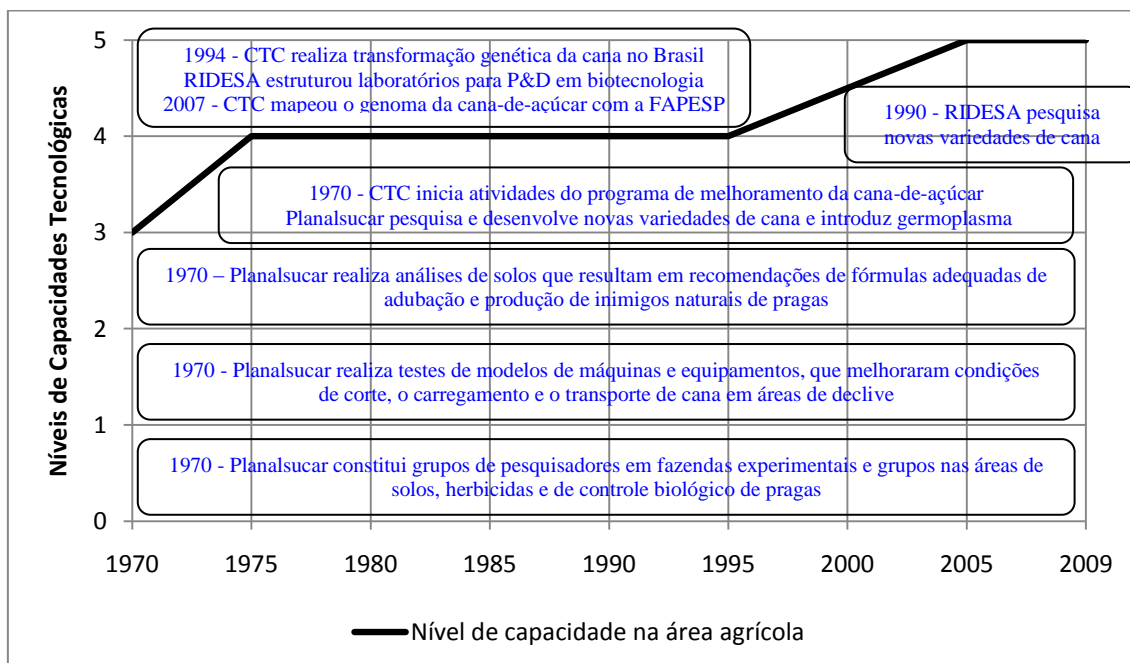
Desta forma, conforme mostra a Figura 8-1, as empresas do setor de etanol utilizaram rotinas de aprendizagem para acumular capacidades tecnológicas, inicialmente de produção, conforme os modelos desenvolvidos por Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010) e Ariffin e Figueiredo (2004). Por exemplo, a Empresa Alfa incorporou na década de 1970 as primeiras capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção) para produzir etanol de 1ª geração, conforme as evidências apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.2.2). Esse movimento de “catching-up” realizado pelas empresas brasileiras do setor de etanol também está alinhado ao processo de acumulação descrito em Hobday (1995), ou seja, as empresas assimilaram primeiramente as tecnologias de produção na fase inicial da trajetória tecnológica do setor.

Mais tarde, entre 1979 a 1985, durante a fase de expansão acelerada do setor, as usinas utilizaram mecanismos de aprendizagem para acumular tecnologias de produção de etanol hidratado. Nesse período, Dantas e Figueiredo (2009) descrevem também as melhorias contínuas introduzidas nas tecnologias de produção de etanol de 1ª geração. Desta forma, as empresas do setor de etanol continuaram a movimentação em direção à fronteira internacional com o desenvolvimento de capacidades de Nível 2 (Inovador Básico) e Nível 3 (Inovador Intermediário), conforme mostrado na Figura 8-1. Nesta trajetória tecnológica, empresas do setor como a Empresa Alfa incorporam as capacidades tecnológicas em níveis básicos de produção e de inovação (inovações simples e intermediárias em tecnologias de produção), de acordo com modelo descrito em Figueiredo (2009). Além disso, a indústria automobilística também incorporou conhecimento tecnológico com a produção dos primeiros veículos movidos a etanol hidratado.

Entretanto, o processo de acumulação tecnológica nas empresas de etanol no Brasil apresenta algumas diferenças e peculiaridades em relação aos estudos realizados por

Hobday (1995) na indústria asiática de eletrônicos, Lee e Lim (2001) nos setores de eletrônicos coreanos, Figueiredo (2003) na indústria de aço brasileira, Ariffin e Figueiredo (2004) na indústria de eletroeletrônicos da Malásia e do Brasil e finalmente Figueiredo (2010) nas empresas de polpa e papel a base de árvores de eucalipto no Brasil. No setor de etanol, as empresas utilizaram um arranjo institucional de P&D descentralizado, ou seja, os centros de P&D não estavam apenas incorporados às empresas do setor. Por exemplo, na fase de constituição do setor as empresas associadas à Copersucar criaram o CTC (Centro de Tecnologia Copersucar), de acordo com as evidências apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.1.2). Inicialmente, o CTC incorporou capacidades tecnológicas industriais, por meio da adaptação de tecnologias estrangeiras e transferência às empresas fabricantes de equipamentos, que capacitavam empresas produtoras de etanol. Esse processo está alinhado às perspectivas de Hobday (1995) e Kim (1997), ou seja, os países em desenvolvimento adquirem tecnologias estrangeiras e passam a desenvolver operações locais de produção.

**Figura 8-2 – Trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na área agrícola no setor de etanol no período entre 1970 e 2009.**



*Fonte:* Derivado desta dissertação.

No tocante à acumulação de capacidades tecnológica agrícola (matéria-prima), a Figura 8-2 apresenta os marcos da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas no setor de etanol (1970-2009) e os respectivos níveis alcançados pelo setor em cada período.

Na década de 1970 as capacidades tecnológicas de P&D estavam distribuídas entre as empresas e as instituições como, por exemplo, o Planalsucar, a Ridesa, o CTC e o IAC, que acumularam capacidades tecnológicas compartilhadas de inovação, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) e Nível 4 (Inovador Avançado). Com isso, mesmo durante o período de estagnação do setor do etanol, entre 1986 e 2002, as empresas, os institutos de tecnologia e as universidades continuaram a adquirir capacidades tecnológicas inovadoras, qualificadas no Nível 4 (Inovador Avançado), conforme exposto na Figura 8-2.

Nesse contexto, os conhecimentos incorporados no Planalsucar, RIDESA, CTC e IAC sustentaram o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional, acumulando principalmente capacidades de Nível 4 (Inovador Avançado), o que influenciou trajetória tecnológica do setor de etanol brasileiro durante o período de crise, entre 1986 e 2002, conforme mostra a Figura 8-2. Isto ocorreu porque as atividades de P&D realizadas nessas instituições estavam direcionadas principalmente ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas (matérias-primas), qualificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) e no Nível 4 (Inovador Avançado), ou seja, as capacidades eram aplicadas tanto para a produção de açúcar quanto etanol. Por fim, as capacidades acumuladas no Planalsucar, na RIDESA, no CTC e no IAC, em conjunto com empresas no Brasil, destacam a importância, conforme ressaltado em Murmann (2003), dos institutos tecnológicos e universidades no compartilhamento do conhecimento técnico e científico inerentes ao desenvolvimento tecnológico do setor.

Desta forma, as evidências apresentadas no Capítulo 6 e no Capítulo 7 indicam que o setor de etanol provocou um desvio qualitativo nos primeiros estágios da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas, padrão similar ao destacado por Figueiredo (2010) na indústria de celulose e papel. No estágio inicial de desenvolvimento, de acordo com a Figura 8-1 e a Figura 8-2, as empresas e as instituições do setor de etanol iniciaram a divergência qualitativa na sua trajetória tecnológica, de acordo com o padrão “path-creating catching-up” (estágio A -> estágio B -> estágio C' -> estágio D') identificado em Lee e Lim (2001). Esse desvio qualitativo no movimento de “catching-up” no setor de etanol ocorreu principalmente devido a acumulação de capacidades tecnológicas adaptadas às especificidades da cana-de-açúcar no Brasil, por meio de um arranjo de P&D descentralizado, representado pelos centros de P&D da Ridesa, do CTC e do IAC.

Na fase recente, após o ressurgimento em 2003, o setor de etanol brasileiro de sustentou o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional por meio da incorporação de novas capacidades em P&D e engenharia para desenvolver novas capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global), conforme indicado na Figura 8-1 e na Figura 8-2. Desta forma, empresas e instituições do setor realizaram projetos de P&D para desenvolver novas tecnologias de Nível 5 (Inovador Global) como, por exemplo, a utilização da biomassa excedente na produção de etanol com tecnologias de 2ª geração e no uso da biotecnologia para produzir variedades de cana-de-açúcar modificadas geneticamente. Além disso, a indústria automobilística e o setor de etanol lançaram, em 2003, a tecnologia dos veículos com motores flexfuel, que permite o abastecimento dos automóveis com gasolina (misturada ao etanol anidro) ou apenas com etanol hidratado.

Portanto, as evidências apresentadas nessa dissertação são sustentadas pelo modelo de trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação desenvolvidas por Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010) e Ariffin e Figueiredo (2004). Apesar disso, a acumulação tecnológica nas empresas de etanol no Brasil apresenta algumas distinções como, por exemplo, a utilização de um modelo de P&D compartilhado nas instituições do Planalsucar, a Ridesa, o CTC e o IAC. Nesse contexto, as empresas e as instituições do setor de etanol no Brasil utilizaram um conjunto de rotinas de aprendizagem para incorporar conhecimento e acumular capacidades tecnológicas, inicialmente de produção (Nível 1 - Produção) e posteriormente de inovação (Níveis 2 a 5 - Inovação), realizando recentemente projetos de P&D na fronteira tecnológica internacional.

Finalmente, conforme destacado na Figura 8-1 e na Figura 8-2, as empresas e as instituições (Ridesa, CTC e IAC) do setor de etanol desencadearam um movimento de “catching-up” em direção à fronteira internacional por meio da acumulação de capacidades tecnológicas utilizadas na produção do etanol de 1ª geração a partir da cana-de-açúcar, provocando um desvio qualitativo na trajetória tecnológica do setor. Desta forma, a trajetória do setor de etanol apresenta um padrão similar ao descrito em Figueiredo (2010), ou seja, empresas brasileiras, impossibilitadas de simplesmente imitar os líderes globais, incorporaram capacidades tecnológicas de produção e inovação adequadas à sua realidade, desencadeando, portanto, um desvio qualitativo na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas. Neste setor, as evidências desse estudo demonstram a criação de



uma trajetória de acumulação tecnológica nova para o mundo, conforme descrito em Dantas e Figueiredo (2009), agregando capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 5 (Inovador Global), conforme exposto na Figura 8-1 e na Figura 8-2, que resultaram na disseminação de inovações *novas para o mundo*.

## **8.2 Síntese do papel desempenhado pelas instituições na trajetória de acumulação tecnológica do setor brasileiro de etanol (1970-2009)**

Nesta parte analisarei o papel desempenhado pelas instituições (macro-instituições, meso-instituições, os institutos de pesquisa e as universidades) sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica de produção e de inovação. Desta forma, pretendo sinteticamente responder a segunda questão citada na presente dissertação:

- (2) Qual foi o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional em nível macro e meso e aqueles à base de conhecimento (institutos de pesquisa e universidades) sobre a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol durante o período acima?

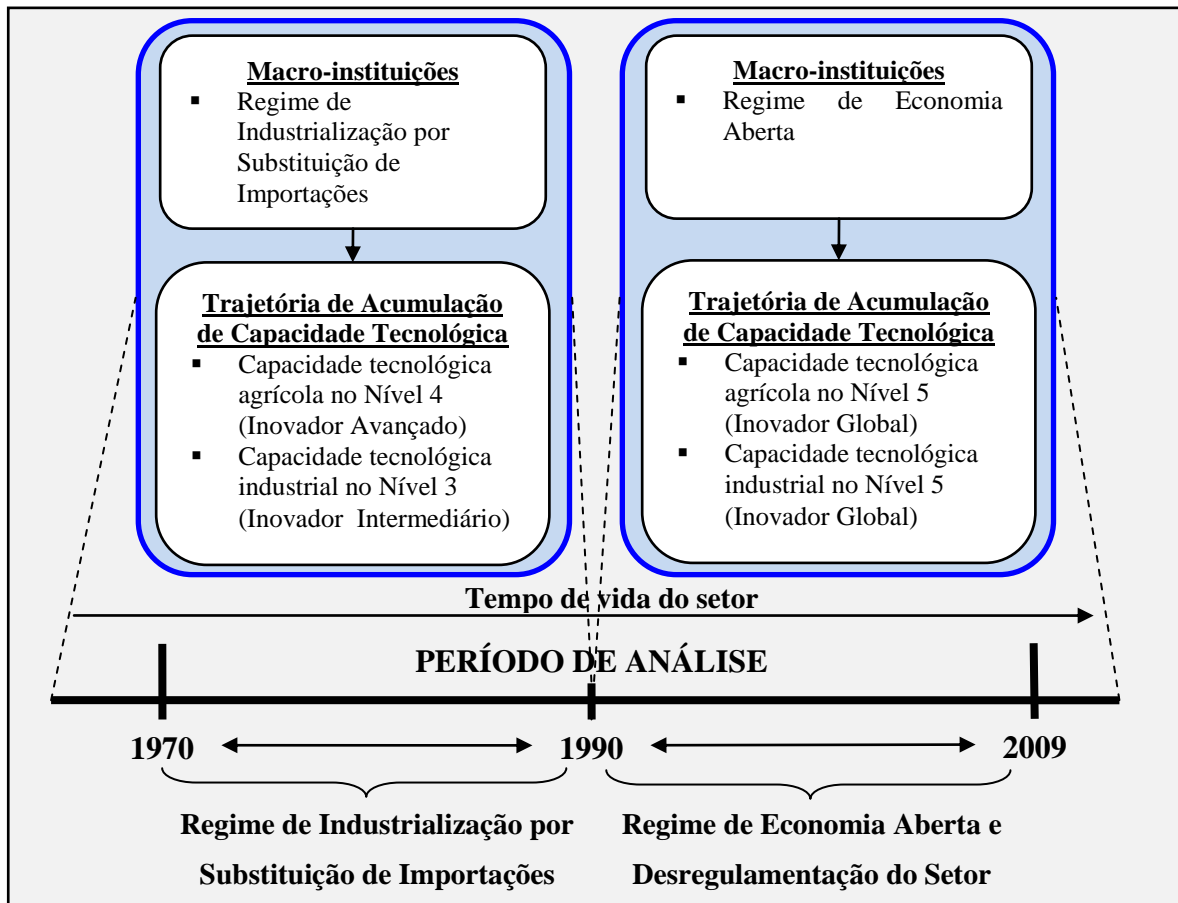
### ***8.2.1 O papel desempenhado pelas macro-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009)***

Primeiro, analisarei o papel desempenhado pelas macro-instituições (os regimes complexos constituídos por políticas públicas onde as empresas operam), mais especificamente o Regime de Industrialização por Substituição de Importações (1970-1989) e o Regime de Economia Aberta (1990-2009), sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica do setor de etanol brasileiro, conforme representado na Figura 8-3. A Tabela 8-1 mostra a análise dos principais componentes do marco institucional no setor de etanol no período entre 1970 e 2009.

No 1º período (1970-1989), o governo instituiu um novo plano econômico com a finalidade de substituir as importações e estimular o investimento em fontes alternativas de energia como o etanol. Portanto, o regime político de industrialização por substituição de

importações incentivou o movimento de “catching-up”, descrito por Figueiredo (2009), com a aquisição de capacidades tecnológicas e gerenciais, classificadas no Nível 1 (Produção) e no Nível 2 (Inovador Básico), para utilizar e operar tecnologias importadas maduras, conforme mostra a Figura 8-1.

**Figura 8-3 – Representação do impacto das macro-instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009)**











*Fonte:* Elaborado nesta dissertação com base em Figueiredo (2001).

Além disso, o regime político e econômico vigente na época também incentivou a modernização das usinas, por meio de esforços de engenharia para adaptar e melhorar os processos de produção e sistemas de equipamentos, o que também impactou na acumulação de capacidades de Nível 3 (Inovador Intermediário), para o setor de etanol.

**Tabela 8-1** – Análise sintética dos principais componentes do marco institucional no setor de etanol (1970-2009)

Período	Regime de Industrialização por Substituição de Importações		Regime de Economia Aberta	
	1970-1980	1981-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Componentes do Marco Institucional</b>	<p><b>Programa Nacional Alcool (Proálcool):</b> Fase de expansão moderada do Proálcool. Recursos financiaram projetos com a finalidade de instalar ou modernizar destilarias em áreas tradicionais do setor canavieiro.</p> <p><b>Programas de Melhoramento da Cana-de-açúcar:</b> Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) cria o Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (Planalsucar) com o objetivo de pesquisar e desenvolver novas variedades de cana-de-açúcar. Nascimento da estrutura denominada Centro de Tecnologia Copersucar (CTC) em 1979.</p> <p><b>Políticas de Etanol:</b> Portarias, publicado pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), tornaram obrigatórias as misturas de álcool etílico anidro à gasolina em certas percentagens, fixando o teor da mistura de etanol à gasolina de 10% em 1976 e de 20% em 1978.</p>	<p><b>Programa Nacional Alcool (Proálcool):</b> Na fase de expansão acelerada do Proálcool, a produção de álcool hidratado intensificou-se com a expansão das destilarias autônomas. Mecanismos estimularam a produção na indústria de máquinas e na indústria automobilística.</p> <p><b>Programas de Melhoramento da Cana-de-açúcar:</b> Continuação do Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (Planalsucar) e do Programa de Melhoramento da cana-de-açúcar no Centro de Tecnologia Copersucar (CTC).</p> <p><b>Políticas de Etanol:</b> Medidas governamentais do CNP reduziram o percentual de mistura de etanol à gasolina, fixando o teor para 12% em 1981, entretanto, voltou a elevar o patamar dessa mistura para 22% em 1984, mas reduziu novamente para 13% em 1989.</p>	<p><b>Programa Nacional Alcool (Proálcool):</b> A terceira fase do Proálcool é marcada pela desaceleração e crise do setor. Desregulamentação e liberalização do setor de etanol. Descontinuidade dos mecanismos intervencionistas. Eliminação das cotas de produção de álcool e de açúcar. Fim dos subsídios concedidos aos produtores.</p> <p><b>Programas de Melhoramento da Cana-de-açúcar:</b> Criação da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), do seu Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), do Programa Cana (Procana) no IAC e do Programa de Melhoramento da cana no CTC.</p> <p><b>Políticas de Etanol:</b> Medidas governamentais do CNP mantiveram o percentual de mistura de etanol à gasolina estável, fixando o teor de 22% em 1990 e de 24% em 1998.</p>	<p><b>Programas de Melhoramento da Cana-de-açúcar:</b> Continuidade do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) na RIDESA do Programa Cana (Procana) no IAC e do Programa de Melhoramento da cana no CTC.</p> <p><b>Políticas de Etanol:</b> Portarias, publicadas pelo MAPA, fixaram entre 20% e 25% o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. BNDES desembolsou linhas de financiamentos expressivas para o setor de etanol. Medidas governamentais federais e estaduais direcionadas para a eliminação gradual das queimadas realizadas durante o período de colheita da cana-de-açúcar.</p> <p><b>Programa em nível estadual:</b> Programas da FAPESP referentes ao desenvolvimento tecnológico do etanol.</p>
<b>Incentivos</b>	<p>- <b>Principais atividades promovidas através de incentivos:</b> pesquisa, desenvolvimento e introdução de novas variedades de cana. Aquisição de tecnologias existentes para produzir etanol 1ª geração.</p> <p>- <b>Direcionamento dos esforços inovadores apoiados</b> na trajetória existente de cana e no melhoramento convencional de cana.</p> <p>- <b>Os principais alvos dos incentivos</b> foram os programas de pesquisa.</p>	<p><b>Principais atividades promovidas através de incentivos:</b> pesquisa, desenvolvimento e introdução de novas variedades de cana. Adaptação de tecnologias existentes para produzir etanol 1ª geração.</p> <p>- <b>Direcionamento dos esforços inovadores apoiados</b> na trajetória existente de cana e no melhoramento convencional de cana.</p> <p>- <b>Os principais alvos dos incentivos</b> foram os programas de pesquisa.</p>	<p><b>Principais processos / atividades promovidas através de incentivos:</b> pesquisa, desenvolvimento e introdução de novas variedades de cana. Pesquisa em biotecnologia da cana. Produção etanol.</p> <p>- <b>Direcionamento dos esforços inovadores apoiados</b> na trajetória existente de cana e no melhoramento convencional de cana e na transgenia.</p> <p>- <b>Os principais alvos dos incentivos</b> foram as universidades e os institutos de pesquisa.</p>	<p><b>Principais processos / atividades promovidas através de incentivos:</b> pesquisa, desenvolvimento e introdução de novas variedades de cana. Produção etanol. P&amp;D para 2ª geração etanol.</p> <p>- <b>Direcionamento dos esforços inovadores apoiados</b> na trajetória existente de cana e no melhoramento convencional e transgênica de cana. Suporte à trajetória emergente: 2ª geração etanol.</p> <p>- <b>Os principais alvos dos incentivos</b> foram as universidades, os institutos de pesquisa, e o P&amp;D de algumas empresas.</p>

Impactos	 	 	 	 
<b>Capacidades Tecnológicas Inovadoras</b>	<p><b>Primeiros passos do processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção para operar e gerir tecnologias existentes de etanol 1ª geração.</b></p> <p>Atividades de pesquisa são desenvolvidas em <b>grande parte</b> nos <b>programas dos institutos de pesquisa</b> em parceria com algumas empresas do setor. (<b>maior proporção nas instituições baseadas em conhecimento e pouco nas empresas</b>)</p> <p>As <b>macro-instituições, meso-instituições e as instituições baseadas em conhecimento</b> desempenharam um <b>papel positivo</b> para o <b>surgimento</b> e, mais tarde, para o <b>desenvolvimento tecnológico</b> do setor brasileiro de etanol.</p>	<p><b>Expansão no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação dentro da trajetória existente para produzir etanol de 1ª geração (lock-in).</b></p> <p>Atividades de pesquisa são desenvolvidas em <b>grande parte</b> nos <b>programas dos institutos de pesquisa</b> em parceria com algumas empresas do setor. (<b>maior proporção nas instituições baseadas em conhecimento e pouco nas empresas</b>)</p> <p><b>Intensificação</b> do papel das <b>macro-instituições, meso-instituições e as instituições baseadas em conhecimento</b> na continuidade do <b>desenvolvimento tecnológico</b> do setor brasileiro de etanol.</p>	<p><b>Estagnação do processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação dentro da trajetória existente para produzir etanol de 1ª geração (lock-in).</b></p> <p>Atividades de pesquisa são desenvolvidas em <b>grande parte</b> nas <b>universidades, nos institutos de pesquisa</b> em parceria com algumas empresas do setor. (<b>maior proporção nas instituições baseadas em conhecimento e pouco nas empresas</b>)</p> <p><b>Extinção da área de P&amp;D na Empresa Alfa, constituída por 40 profissionais.</b></p> <p><b>Condições favoráveis de mercado, grande disponibilidade de cana-de-açúcar e a flexibilidade de produção de etanol ou álcool</b> incentivaram a acomodação da indústria de etanol.</p>	<p><b>Nova expansão no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação dentro da trajetória existente para produzir etanol de 1ª geração (lock-in).</b></p> <p>Atividades de pesquisa são desenvolvidas em <b>grande parte</b> nas <b>universidades e nos institutos de pesquisa</b> em parceria com algumas empresas do setor. (<b>maior proporção nas instituições baseadas em conhecimento e pouco nas empresas</b>).</p> <p><b>Surgimento da trajetória emergente, em nível experimental, para produzir etanol de 2ª geração (etanol lignocelulósico).</b></p> <p><b>Alerta para o setor de etanol brasileiro sobre a necessidade de investimentos em atividades inovadoras de P&amp;D dentro das empresas</b> (criação de inovações, riqueza e diversificação). <b>Indispensável</b> para a continuidade do processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação <b>a inversão da relação 80/20. Nos países estrangeiros</b> a maior parte das atividades inovadoras são realizadas <b>nas empresas</b>.</p>

Fonte: Elaborado a partir dessa pesquisa.

No tocante ao impacto das macro-instituições sobre as capacidades tecnológicas industriais, a Figura 8-1 representa a alta influência praticada sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção) e Nível 2 (Inovador Básico) no setor de etanol, conforme a trajetória apresentada na Figura 8-1. Nesse período, ocorreu a intensificação da interação entre as instituições governamentais e a acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol no Brasil.

No entanto, a mudança de um regime intervencionista para o regime liberal não ocorreu de forma regular. Nesse período de transição, algumas empresas do setor brasileiro de etanol se organizaram em associações representativas para exercer atividades de lobby no governo brasileiro a fim de defenderem os seus objetivos. Essas organizações exerceram influência nos órgãos governamentais (responsáveis pela desregulamentação do setor de etanol) com a finalidade de moldar o ambiente institucional onde as empresas executavam suas atividades produtivas e inovadoras, o que resultou em uma vantagem competitiva para o setor. Esse comportamento é similar ao identificado no estudo de Murmann (2003) na indústria alemã de corantes sintéticos que obteve vantagem econômica por meio de atividades de lobby, que resultaram em um ambiente institucional favorável às empresas do setor. Desta forma, a UNICA, representando os produtores do estado de SP, se tornou um jogador importante por meio da realização de atividades de lobby para reduzir a intervenção do governo no setor de etanol, que resultaram em um ambiente institucional favorável à acumulação de capacidades de níveis mais avançados no setor.

No 2º período (1990-2009), simbolizado pelo regime de economia aberta e pela desregulamentação do setor, o governo brasileiro executou as primeiras etapas em direção à liberalização e reorganização institucional do setor de etanol. Esse processo de transição macro-institucional, como exposto Evans (1995), corrobora a existência temporal de diferentes estruturas organizacionais e funções desempenhadas pelo governo no desenvolvimento tecnológico do setor. Nesse sentido, o governo brasileiro desestimulou o uso de mecanismos intervencionistas que controlavam e restringiam o desenvolvimento tecnológico no setor de etanol. Na abordagem de Scott (2001), a mudança do regime intervencionista para o liberal simboliza a mudança incremental e descontínua das instituições. Após a liberação do setor de etanol, as regras de livre mercado continuaram a influenciar a trajetória de acumulação tecnológica do setor de etanol, explicitada na Figura 8-1.

Desta forma, o regime de economia aberta (2003-2009) desempenhou um papel positivo sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas em níveis mais elevados. Esse comportamento é similar ao descrito Figueiredo (2008) no estudo sobre empresas do setor de eletroeletrônicos, motocicletas e bicicletas, do Pólo Industrial de Manaus e também ao identificado por Fonseca (2008) em nível de empresa da indústria química no Brasil. Nesse sentido, a instituição do regime liberal no setor de etanol possibilitou o seu ressurgimento, impulsionando o processo de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio da acumulação de capacidades tecnológicas de Nível 4 (Inovador Avançado) e de Nível 5 (Inovador Global), conforme apresenta a Figura 8-1. Nesse ano, a indústria automobilística e a o setor de etanol lançaram no mercado a tecnologia dos veículos com motores flexfuel. As evidências do Capítulo 7 (Figura 7-2) apresentam o impacto na indústria automobilística, quando o total de vendas de automóveis flexfuel saltou de 48.178 carros, em 2003, para 2.652.298 carros, em 2009. A expansão dessa tecnologia no mercado incentivou o crescimento do consumo do etanol hidratado no Brasil. Além disso, ocorre a expansão na produção anual de etanol hidratado, representada em 6,9 bilhões de litros, em 2000, e atingindo mais tarde 17,9 bilhões de litros, em 2009, de acordo com os dados apresentados no Capítulo 5 (Tabela 5-4).

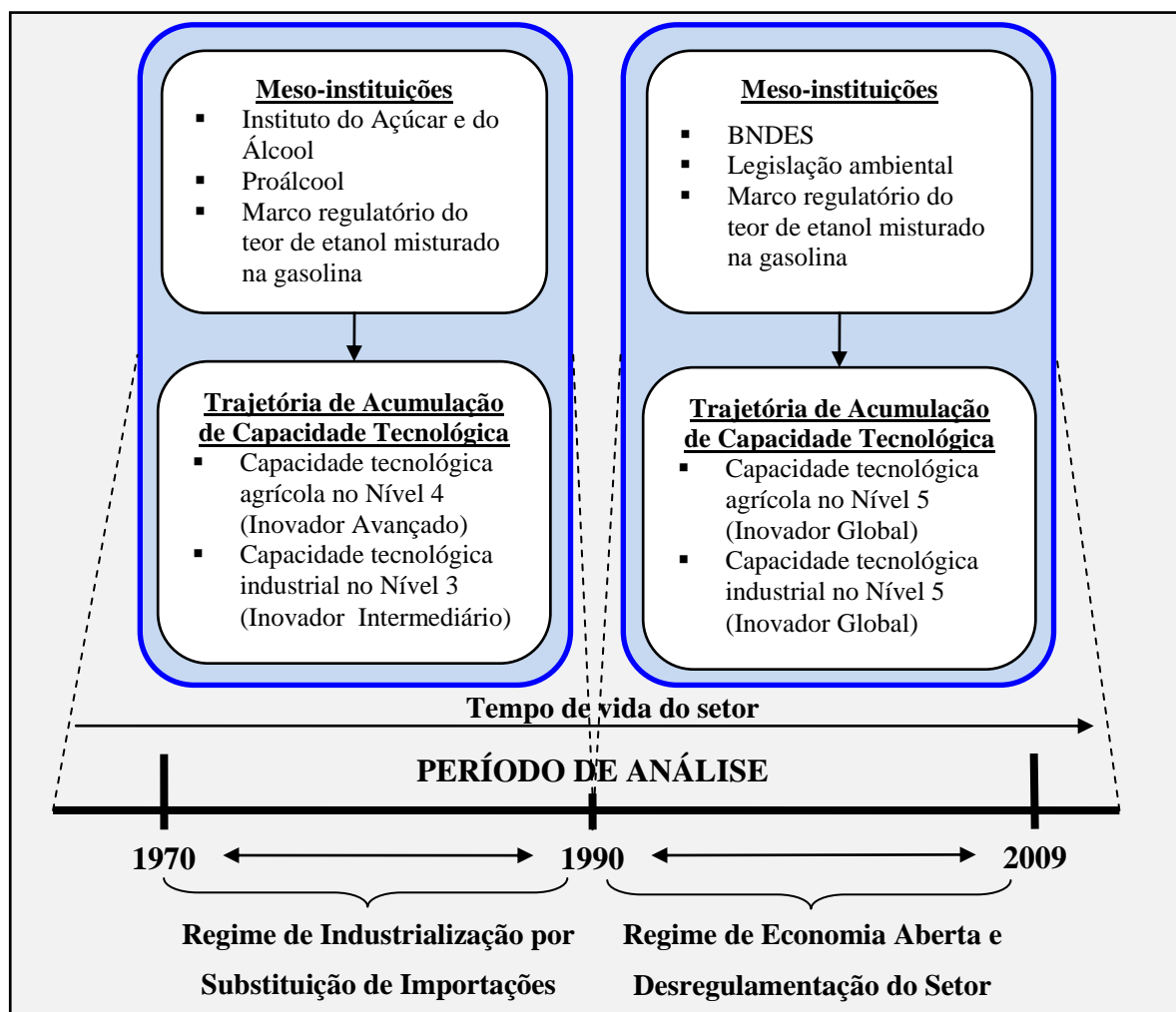
### ***8.2.2 O papel desempenhado pelas meso-instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009)***

O segundo grupo de instituições em análise nessa dissertação compreende as meso-instituições, ou seja, as relações políticas e estruturas burocráticas que sustentam esses regimes, identificadas na Figura 8-4. Desta forma, nas linhas seguintes será analisado o papel desempenhado pelas meso-instituições sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol brasileiro.

No tocante às meso-instituições, destaca-se a alta influência exercida pelo governo, na década de 1970, sobre as empresas do setor, por meio do IAA, que influenciava o movimento de “catch-up”, com a incorporação de capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção), indicadas na Figura 8-1. Sob a perspectiva de North (1990), o IAA definia as regras do jogo no setor sucroalcooleiro, impondo restrições e limitando a ação das empresas do setor. Por exemplo, a legislação imposta pelo IAA definiu a estrutura do setor

de etanol, direcionando os proprietários das unidades industriais a centralizarem esforços na acumulação de capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção), por meio de atividades de engenharia para melhoria incremental de produtos e processos de produção, de acordo com a Figura 8-1. Na visão de Nelson e Sampat (2001), a compreensão das tecnologias sociais predominantes, ou seja, o relacionamento do IAA com as empresas do setor constituía um fator importante para a compreensão das tecnologias físicas, isto é, o processo de acumulação de capacidades tecnológicas.

**Figura 8-4 – Representação do impacto das meso-instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009)**

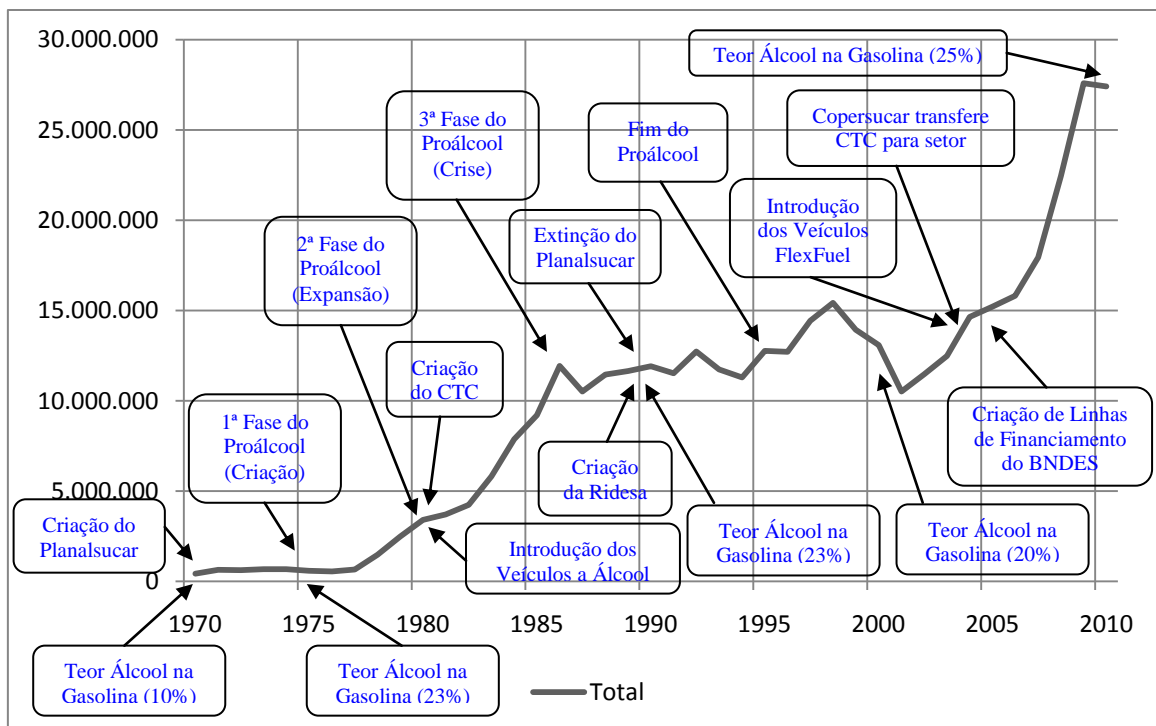


*Fonte:* Elaborado nesta dissertação com base em Figueiredo (2001).

Além disso, na fase de constituição do setor, de 1975 a 1979, os incentivos do Proálcool influenciaram a aquisição de capacidades tecnológicas e gerenciais para utilizar e operar tecnologias importadas maduras, qualificadas no Nível 1 (Produção), para produzir de

etanol de 1ª geração, conforme exposto na Figura 8-1 e na Figura 8-5. Sob a perspectiva de Nelson e Sampat (2001), o Proálcool simbolizava a instituição, ou seja, a tecnologia social, facilitando a criação de tecnologias físicas com a finalidade de acumular capacidades tecnológicas. Nessa fase, o governo também incrementou o teor de mistura de etanol na gasolina, garantindo um mercado estável para os produtores, ou seja, essa medida impactou o movimento de “catching-up” (inovador seguidor), descrito em Figueiredo (2009), em direção à trajetória tecnológica das empresas estrangeiras inovadoras, de acordo com a Figura 8-1. Nesse contexto, os dados apresentados no Capítulo 5 (Figura 5-7) apresentam os impactos do Proálcool e das medidas do CNP na produção anual de etanol anidro, consolidada em 100 milhões de litros, em 1970, e mais tarde expandida para 2,7 bilhões de litros em 1980.

**Figura 8-5 – Evolução da moldura institucional e da produção brasileira de etanol em m<sup>3</sup> (1970 - 2009)**



*Fonte:* Elaborado nesta dissertação a partir de BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009).

Mais tarde, na fase de expansão acelerada do setor, entre 1980 a 1985, os incentivos do Proálcool impactaram a acumulação de capacidades de engenharia e gestão para melhoria incremental de produtos e processos, de Nível 2 (Inovador Básico) e Nível 3 (Inovador



Intermediário), como apresentado na Figura 8-1 e na Figura 8-5. Nesse período, entre 1980 a 1985, o governo aumentou o percentual de mistura de etanol à gasolina, o que sustentou o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio da aquisição de capacidades de Nível 3 (Inovador Intermediário), conforme mostra a Figura 8-1. Desta forma, de acordo com os dados expostos no Capítulo 5 (Figura 5-7), ocorreu a expansão na produção anual de etanol hidratado, saltando de 680 milhões de litros, em 1980, para 7 bilhões de litros, em 1985. Sob a perspectiva de DiMaggio e Powell (1983), as medidas para regular o teor de etanol na gasolina influenciavam a homogeneização das organizações, ou seja, essas direcionavam o processo de acumulação tecnológica no setor de etanol.

Finalmente, a terceira fase do Proálcool, entre 1986 e 2002, representa o fim dos subsídios concedidos aos produtores e compreende o período de desaceleração e crise do setor. A partir desta fase, de acordo com as evidências apresentadas no Capítulo 7 (Seção 7.1.1), o governo, por meio do CNP, voltou a alterar os percentuais na mistura obrigatória de etanol anidro à gasolina brasileira, estimulando o movimento de “path-creating catching-up” do setor de etanol, por meio da aquisição de capacidades tecnológicas de P&D de Nível 4 (Inovador Avançado), de acordo com a Figura 8-1 e com a Figura 8-5. Nesse sentido, a produção anual de etanol anidro saltou de 1,4 bilhões de litros, em 1990, alcançando 9,6 bilhões de litros em 2009, de acordo com os dados apresentados no Capítulo 5 (Figura 5-7). Portanto, os mecanismos institucionais utilizados pelo CNP e pelo MAPA definiam as regras do jogo no setor de etanol, ou seja, sob a perspectiva de North (1990), as regras formais evoluíram ao longo do tempo e influenciaram a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e de inovação, conforme apresentado na Figura 8-1.

Além disso, os mecanismos fiscais e tributários, em conjunto com as subvenções do Proálcool e as medidas reguladoras do teor de etanol misturado à gasolina, representam as ações, as regras e as práticas persistentes ao longo do tempo e localizadas além da fronteira de uma única organização, ou seja, essas direcionaram o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional no setor de etanol, conforme mostra a Figura 8-1. Nessa perspectiva, as práticas instituídas pelo governo brasileiro no setor de etanol ao longo do tempo estão em consonância com a definição de instituição estabelecida em Murmann (2003). Além disso, o relacionamento governamental, por meio do Proálcool, com o setor está em sintonia com os mecanismos descritos por Evans (1995), ou

seja, esses mecanismos sintetizam um conjunto de padrões de relacionamento entre o governo e as empresas do setor de etanol no Brasil, impactando na trajetória tecnológica identificada na Figura 8-1.

Após a expansão da participação dos veículos flexfuel em 2003, o BNDES desempenhou um papel expressivo na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol, conforme mostra a Figura 8-5. Nesse sentido, o Banco desembolsou linhas de financiamentos consideráveis para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas industriais de produção no setor brasileiro de etanol, ou seja, o Banco impactou expressivamente na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção). Além disso, o BNDES aprovou recursos para as instituições de ensino e pesquisa realizarem projetos de P&D, em parceria com empresas do setor de etanol, com a finalidade de adquirir capacidades tecnológicas inovadoras, na fronteira internacional, qualificadas no Nível 5 (Inovador Global).

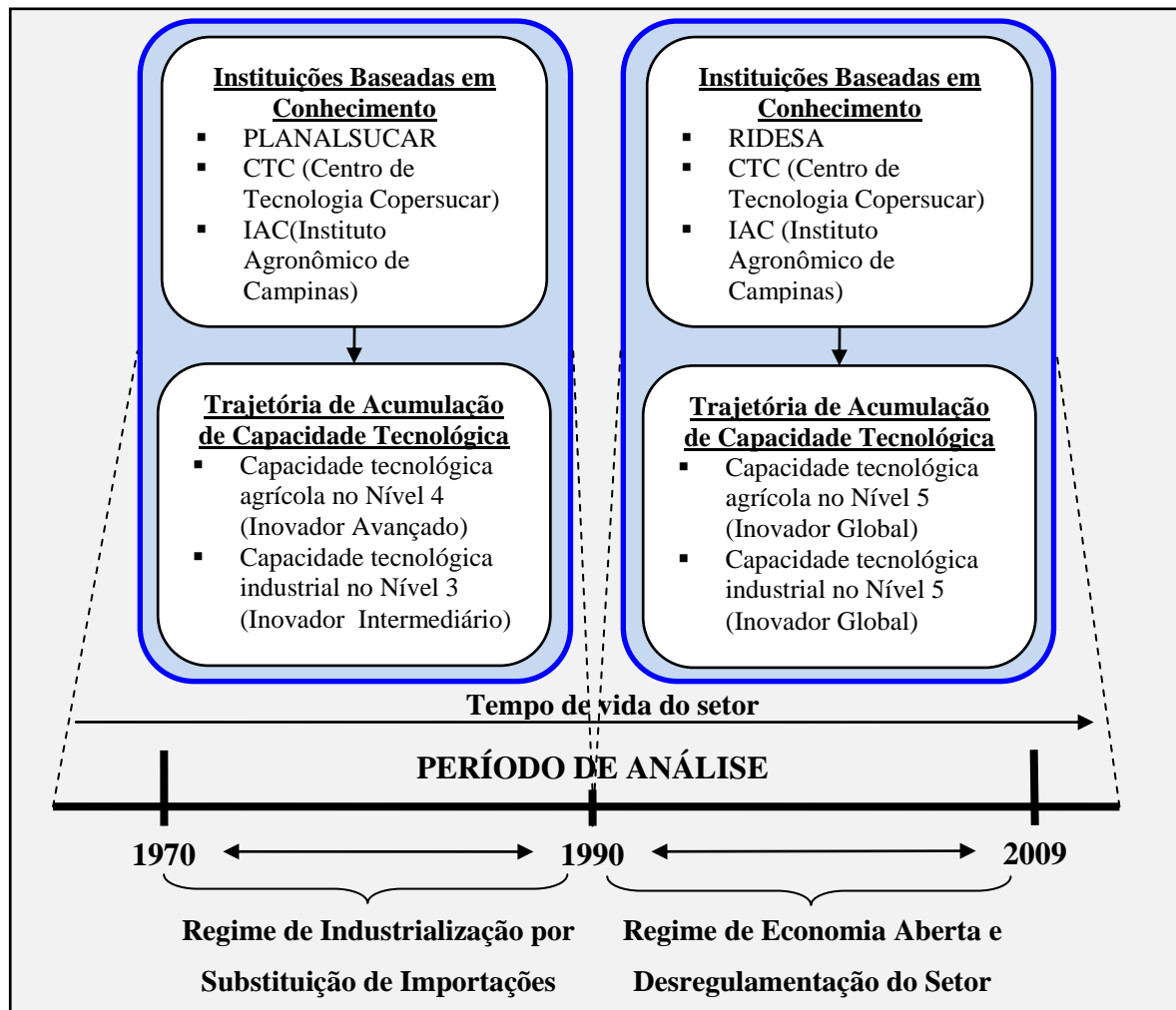
Ainda no tocante às meso instituições, após o ressurgimento do setor, entre 2003 e 2010, as alterações no clima devido ao aquecimento global reascenderam as discussões sobre os problemas ambientais causados pelo setor de etanol. No Brasil, algumas medidas governamentais federais e estaduais direcionadas para a eliminação gradual das queimadas realizadas durante o período de colheita da cana-de-açúcar. Essas medidas corroboram o conjunto de padrões de relacionamento entre o governo e as empresas, identificado por Evans (1995), utilizados na transformação tecnológica de suas respectivas indústrias. Portanto, esses mecanismos em conjunto incentivaram a acumulação de novas capacidades em P&D de Nível 5 (Inovador Global), conforme exposto na Figura 8-1, para desenvolver novas tecnologias inovadoras na fronteira internacional como, por exemplo, a utilização da biomassa na produção de bioplástico ou na produção de etanol a partir das tecnologias de 2ª geração.

### ***8.2.3 O papel desempenhado pelos institutos de pesquisas e pelas universidades sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor brasileiro de etanol (1970-2009)***

Por fim, o terceiro grupo de instituições em análise nessa dissertação compreende as instituições baseadas em conhecimento. Portanto, nos parágrafos seguintes examina-se o

impacto dos institutos de pesquisa e das universidades sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica do setor de etanol. No tocante às instituições representadas pelos institutos de pesquisa e universidades, destaca-se a alta influência exercida pelo Planalsucar, Ridesa, CTC e IAC sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol brasileiro, conforme destacado na Figura 8-6 e na Figura 8-5. Desta forma, essa pesquisa adiciona evidências do setor de etanol brasileiro ao padrão destacado em Vedovello (2001), ou seja, o processo crescente de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras por meio da interação entre empresas e universidades pode influenciar positivamente na melhoria do desempenho competitivo.

**Figura 8-6 – Representação do impacto das instituições baseadas em conhecimento na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol (1970-2009)**



Fonte: Elaborado nesta dissertação com base em Figueiredo (2001).

No setor de etanol, o Planalsucar alcançou sucesso significativo com a acumulação de capacidades e a disseminação de inovações tecnológicas, principalmente, incorporando capacidades tecnológicas de inovação de Nível 4 (Avançado), expostas na Figura 8-2. Essa instituição realizou atividades de P&D voltadas à renovação e ao desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar mais adaptadas à realidade das empresas brasileiras. Após a extinção do Planalsucar, a Ridesa (rede de universidades federais) absorveu o conhecimento, produzido durante a existência do Planalsucar, e prosseguiu com as atividades de P&D de novas variedades de cana-de-açúcar, aprofundando as capacidades tecnológicas de inovação de Nível 4 (Avançado). Desta forma, a influência da Ridesa está alinhada a perspectiva de Murmann (2003), ou seja, essa rede de universidades influenciou a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol, conforme exposto na Figura 8-2, incorporando capacidades tecnológicas de P&D para desenvolver novas tecnologias. Essas instituições, à luz de Peng et al (2008), exerceram influência na estratégia e no desempenho das empresas no contexto do setor de etanol.

Nesse sentido, as capacidades de P&D acumuladas nessas instituições resultaram, conforme as evidências apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.2.1) e Capítulo 7 (Seção 7.2.1), na liberação de 78 novas variedades, que representavam aproximadamente 57% da área cultivada de cana no país, chegando até a 70% em algumas regiões. Portanto, o Planalsucar e a Ridesa impactaram a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação do setor, apresentada na Figura 8-2, com a aquisição de capacidades tecnológicas de Nível 4 (Avançado). No setor de etanol, a natureza das ligações estabelecidas entre as empresas e universidades está classificada no grupo das relações formais de acordo com a taxonomia de Vedovello (1997, 2001). Além disso, as funções desempenhadas pela Ridesa, fundamentadas no conceito de Nelson e Sampat (2001), compreendem as tecnologias sociais, ou seja, a maneira de coordenar o processo de acumulação de capacidades tecnológicas. Neste contexto, alinhado à Murmann (2003), o conhecimento acumulado por meio na rede de universidades representa uma das principais capacidades inerentes ao desenvolvimento tecnológico no setor brasileiro de etanol. Por fim, o conhecimento acumulado na Ridesa e transferido às empresas do setor de etanol impactou a trajetória tecnológica do setor, conforme apresentado na Figura 8-2, por meio do desenvolvimento de capacidades de tecnológicas de inovação qualificadas no Nível 5 (Inovador global).

Nesse setor, outra instituição de pesquisa, mais especificamente o CTC, também assume grande importância, desempenhando um papel fundamental na trajetória acumulação de capacidades tecnológicas e sustentando o movimento de “catching-up” do setor em direção à fronteira internacional, de acordo com a Figura 8-1. Primeiramente, durante o regime de substituição de importações, o CTC adquiriu capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção) para utilizar e operar tecnologias importadas maduras e também realizou algumas atividades em parceria com as empresas do setor de etanol, classificadas em Nível 2 (Inovador Básico), impactando a trajetória tecnológica disposta na Figura 8-1. Nesse contexto, as empresas associadas à Copersucar exerceram influência na construção do ambiente institucional onde atuam por meio da criação do CTC, ou seja, as ações coletivas dessas empresas, conforme em Murmann (2003), moldaram o ambiente institucional no qual essas empresas operavam. Além disso, as capacidades acumuladas no CTC, a partir de fontes de conhecimento no exterior, ressaltam a importância, de acordo com Murmann (2003), dessas instituições para o compartilhamento do conhecimento técnico e científico inerentes ao desenvolvimento tecnológico do setor. As empresas do setor de etanol, alinhadas à taxonomia de Vedovello (1997, 2001), estabeleceram ligações informais e absorveram recursos humanos em universidades e nos centros de pesquisa, entretanto, essas empresas foram além e agiram de forma mais ativa e também estabeleceram relações mais concretas de natureza formal, baseadas em atividades de P&D, com essas instituições de ensino e pesquisa.

Posteriormente, o CTC também absorveu capacidades tecnológicas de Nível 3 (Inovador Intermediário), conforme mostrado na Figura 8-1, para replicar, implementar e desenvolver tecnologia existentes como, por exemplo, equipamentos estrangeiros utilizados pelas usinas na produção de etanol. Esse processo de “catching-up” realizado pelo CTC e pelas empresas está em consonância com as perspectivas de Hobday (1995), Kim (1997) e Figueiredo (2009), ou seja, os países em desenvolvimento adquirem tecnologias estrangeiras e passam a desenvolver operações locais de produção. Na abordagem de Nelson e Sampat (2001), as funções desempenhadas pelo CTC representavam as tecnologias sociais, ou seja, uma divisão do trabalho conjugada com um modo de coordenação do processo de acumulação de capacidades tecnológicas com as empresas do setor. Mais tarde, durante o regime de economia aberta, o CTC desenvolveu, em parceria com as empresas do setor, capacidades tecnológicas de inovação de Nível 4

(Inovador Avançado) e de Nível 5 (Inovador Global), o que impactou na trajetória acumulação de capacidades tecnológica identificada na Figura 8-1.

No tocante a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas, o CTC realizou atividades de P&D que resultaram na acumulação de capacidades tecnológicas de Nível 4 (Avançado) com a finalidade de desenvolver novas variedades de cana-de-açúcar para o setor. Desta forma, as atividades do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar no CTC contribuíram para o movimento de “path-creating catching-up” do setor e influenciaram a trajetória tecnológica do setor, com o desenvolvimento de capacidades de P&D de Nível 4 (Avançado) para melhoria de matéria-prima, conforme destacado na Figura 8-2. Nesse sentido, as capacidades de P&D acumuladas nessa instituição resultaram na liberação de mais de 80 novas variedades, que representavam aproximadamente 50% da área cultivada de cana no país. Portanto, a tecnologia desenvolvida nessa instituição transferida ao setor por meio de projetos de parceira com empresas também constitui, conforme identificado por Murmann (2003), uma das principais fontes de conhecimento inerentes ao processo de acumulação de capacidades tecnológicas nas empresas no setor brasileiro de etanol. Recentemente, durante o regime de economia aberta, o CTC adquiriu capacidades tecnológicas de inovação de Nível 5 (Inovador Global), o que impactou na trajetória acumulação de capacidades tecnológica exposta na Figura 8-2. As evidências do relacionamento do CTC com as empresas do setor de etanol corroboram os resultados da pesquisa de Figueiredo et al (2005), que demonstra a acumulação progressiva de capacidades tecnológicas inovadoras, após as mudanças institucionais em 1990, contrariando a abordagem fundamentada na teoria da dependência.

Apesar dos incentivos adotados pelo Proálcool, o programa de cana-de-açúcar do IAC não sofreu modificações para atender à expansão tecnológica do setor. A falta de fomento para a expansão do programa resultou na redução de sua importância diante das grandes realizações alcançadas pelo Planalsucar e CTC. Entretanto, a desregulamentação do setor impulsionou a reestruturação do programa no IAC permitiu ao instituto alcançar resultados moderados. Os trabalhos de P&D executados pelo IAC desenvolveram a quantidade total de 26 novas variedades, conforme as evidências apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.2.1) e Capítulo 7 (Seção 7.2.1). Portanto, o IAC adquiriu capacidades tecnológicas no Nível 4 (Inovador Avançado), o que exerceu influência na trajetória de acumulação de capacidade tecnológica do setor de etanol destacada na Figura 8-2.

Finalmente, as capacidades tecnológicas desenvolvidas nas instituições como o CTC, a RIDESA e IAC, nos últimos 40 anos, por meio de atividades de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação, compartilhadas com as empresas do setor, assumiram papel relevante na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol. Portanto, um dos fatores influentes na trajetória tecnológica do setor está sintetizado nas capacidades tecnológicas desenvolvidas na RIDESA e no CTC, por meio da aquisição de capacidades tecnológicas de P&D e engenharia para replicar tecnologias existentes e desenvolver inovações em matéria-prima, produtos e processos utilizados para produzir etanol. Nessa perspectiva, essas instituições assumiram função relevante na agregação de capacidades ao setor de etanol, sustentando o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional e impactando a trajetória tecnológica do setor de etanol brasileiro, como mostra a Figura 8-1 e a Figura 8-2.

## **CAPÍTULO 9 : CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

Esta dissertação analisa o impacto do marco institucional (macro instituições, meso instituições e as instituições baseadas em conhecimento) na trajetória de acumulação de capacidades tecnológica agrícola e industrial de produção e inovação no setor de etanol brasileiro, no período entre 1970 e 2009. A finalidade dessa dissertação foi apresentar novas evidências empíricas a respeito do relacionamento entre os fatores institucionais e o processo de acumulação de capacidades tecnológicas em organizações que operam em economias emergentes.

Por fim, este capítulo apresentará as conclusões e implicações práticas identificadas nesse estudo de caso em nível setorial. Primeiro, na Seção 9.1 apresento as questões de pesquisa que nortearam a dissertação. Na Seção 9.2, apresento algumas conclusões sobre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol. Na seção 9.3, serão descritas as conclusões, à luz das evidências coletadas, sobre o impacto das instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol. A Seção 9.4 apresenta as implicações dessa dissertação para as políticas públicas e para as estratégias empresariais. Na Seção 9.5, serão apresentadas algumas implicações práticas deste estudo. Finalmente, na última seção, a Seção 9.6, serão identificadas sugestões de temas para futuras pesquisas.

### **9.1 Questões examinadas na dissertação**

Esta dissertação examinou as seguintes questões:

- (1) Como evoluiu a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol entre os anos de 1970 e 2009?
- (2) Qual foi o papel desempenhado pelos componentes do marco institucional em nível macro e meso e aqueles à base de conhecimento (institutos de pesquisa e universidades) sobre a trajetória de acumulação tecnológica para atividades de produção e de inovação no setor brasileiro de etanol durante o período acima?



## **9.2 Conclusões sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol no Brasil (1970-2009)**

As evidências apresentadas nessa dissertação ao longo do Capítulo 6 e do Capítulo 7, e posteriormente analisadas no Capítulo 8, demonstram que as empresas do setor de etanol utilizaram inicialmente uma estratégia tecnológica seguidora (“catching-up”) em direção à fronteira internacional. Esse processo está alinhado ao processo descrito em Hobday (1995) e Kim (1997), ou seja, as empresas situadas nos países em desenvolvimento acumulam capacidades tecnológicas estrangeiras e estabelecem operações locais de produção. Essa estratégia também está alinhada à perspectiva de Figueiredo (2009), isto é, o setor de etanol acumulou capacidades tecnológicas, se movimentando (“catching-up”) através de uma trajetória de acumulação de capacidades de produção e inovação, alcançando as empresas precursoras na fronteira tecnológica internacional, de acordo com as trajetórias analisadas no Capítulo 8.

Entretanto, o setor brasileiro de etanol provocou um desvio qualitativo logo nos primeiros estágios de sua trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, ou seja, realizou um movimento de “path-creating catch-up”. No estágio inicial de desenvolvimento de suas capacidades inovadoras, o setor de etanol iniciou a divergência qualitativa na sua trajetória tecnológica (path-creating catching-up: estágio A -> estágio B -> estágio C' -> estágio D'), o que está alinhado aos resultados identificados nos estudos de Lee e Lim (2001) e Figueiredo (2010).

No que se refere à acumulação de capacidades tecnológicas industriais (processo e produto), o setor de etanol brasileiro incorporou inicialmente, no período compreendido pelo regime de industrialização por substituição de importações (1970-1989), capacidades tecnológicas e gerenciais para utilizar e operar tecnologias importadas maduras para produzir de etanol, classificadas no de Nível 1 (Produção). Segundo, essas empresas continuaram o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional com o desenvolvimento de capacidades de Nível 2 (Inovador Básico) e Nível 3 (Inovador Intermediário) por meio de esforços de engenharia para adaptar e melhorar os processos de produção e sistemas de equipamentos. Mais tarde, durante o regime de economia aberta (1990-2009), as empresas, os institutos de tecnologia e as universidades

do setor de etanol continuaram a adquirir conhecimento, o que sustentou o movimento de “path-creating catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio de atividades em P&D para desenvolver novas tecnologias inovadoras, agregando capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 4 (Inovador Avançado) e de Nível 5 (Inovador Global).

No tocante à acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas (matéria-prima), durante o regime de industrialização por substituição de importações (1970-1989), as capacidades tecnológicas de P&D estavam distribuídas entre as empresas e as instituições como, por exemplo, o Planalsucar, o CTC e o IAC. Portanto, essas instituições em parceria com as empresas do setor de etanol desenvolveram capacidades tecnológicas compartilhadas de inovação, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) e no Nível 4 (Inovador Avançado). No período seguinte, durante o regime de economia aberta (1990-2009), após a desregulamentação do setor de etanol, as empresas, os institutos de pesquisa e as universidades (Ridesa, CTC e o IAC) do setor realizaram projetos e atividades de P&D para desenvolver novas tecnologias inovadoras qualificadas no Nível 5 (Inovador Global).

No entanto, o processo de acumulação tecnológica nas empresas de etanol no Brasil apresenta algumas peculiaridades em relação à abordagem de pesquisa sobre a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas situadas em países em desenvolvimento (Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010), ou seja, as empresas utilizaram um arranjo institucional de P&D descentralizado, em parceria com as instituições do setor, isto é, os institutos de pesquisa e as universidades. Nesse arranjo, as capacidades tecnológicas de P&D estavam distribuídas entre as empresas e as instituições como, por exemplo, o Planalsucar, a Ridesa, o CTC e o IAC, que acumularam capacidades tecnológicas compartilhadas de produção (Nível 1 - Produção) e posteriormente de inovação (Níveis 2 a 5 - Inovação).

Esse arranjo descentralizado, direcionado às especificidades da cana-de-açúcar no Brasil, resultou em um desvio qualitativo nos primeiros estágios da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação do setor de etanol, movimento similar ao destacado por Figueiredo (2010) na indústria de celulose e papel. Por fim, as capacidades acumuladas no Planalsucar, na RIDESA, no CTC e no IAC, em conjunto com empresas produtoras de etanol de 1ª geração no Brasil, destacam a importância dessas instituições,

conforme ressaltado em Murmann (2003), para o compartilhamento do conhecimento inerente ao processo de acumulação tecnológica do setor de etanol.

Além disso, nos últimos anos o setor também iniciou o processo de acumulação de novas capacidades tecnológicas industriais (produto e processo) no Nível 5 (Inovador Global), que compreendem a utilização da biomassa excedente na produção de bioplástico ou na produção de etanol a partir das tecnologias de 2ª geração. Nesse sentido, apesar da perspectiva promissora, a produção de etanol com tecnologias de 2ª geração apresenta desafios ao setor, ou seja, aparentemente, as empresas produtoras de etanol, que acumularam capacidades tecnológicas para produzir etanol de 1ª geração, estão “locked-in” nessa trajetória tecnológica devido à alta rentabilidade do setor nos últimos anos. Esse comportamento é similar ao papel desempenhado pelas instituições globais nos processos nacionais de difusão de tecnologias, descrito por Bodas et al (2010), ou seja, esses mecanismos institucionais sustentam apenas a disseminação de tecnologias simples e maduras em vez de disseminar tecnologias de energias renováveis mais inovadoras. Nesse sentido, apesar da tecnologia de 2ª geração expandir a produção de etanol, há pouco interesse nas empresas do setor em viabilizar a tecnologia de 2ª geração comercialmente.

Finalmente, as evidências apresentadas nessa dissertação demonstram a criação de uma trajetória de acumulação tecnológica nova para o mundo, conforme descrita em Dantas e Figueiredo (2009) e apresentada no Capítulo 8 (Seção 8.1). Desta forma, de acordo com os critérios do Manual de Oslo (OECD 2006), pode-se considerar o setor de etanol brasileiro um setor inovador em matéria-prima, produto e processo ao nível setorial, devido as suas capacidades tecnológicas acumuladas nas funções tecnológicas agrícolas e industriais. Além disso, os resultados desse estudo são sustentados pelo modelo de trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação desenvolvidas por Figueiredo (2003, 2008, 2009 e 2010) e Ariffin e Figueiredo (2004). Nos últimos 40 anos, as empresas do setor de etanol desencadearam um desvio qualitativo na trajetória tecnológica por meio da acumulação de capacidades de produção e inovação na área agrícola e industrial com a finalidade de produzir etanol a partir da cana-de-açúcar, ou seja, essas empresas se movimentaram em uma trajetória tecnológica nova para o mundo.

### **9.3 Conclusões sobre o papel desempenhado pelas instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol no Brasil (1970-2009)**

Nessa dissertação, examinei o papel desempenhado pelas instituições (macro-instituições, meso-instituições, os institutos de pesquisa e as universidades) sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica agrícola e industrial de produção e inovação no setor de etanol, no período entre 1970 e 2009. O exame do relacionamento entre essas duas variáveis realizou-se por meio do modelo apresentado no Capítulo 3, pela discussão das evidências empíricas apresentadas no Capítulo 6 e no Capítulo 7 e pela análise realizada no Capítulo 8. A literatura sobre acumulação de capacidades tecnológicas (Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Miranda e Figueiredo 2010) utilizada como referência nessa dissertação destinou pouca importância à existência das instituições no processo de acumulação tecnológica em indústrias situadas em países em desenvolvimento. Fonseca (2008) examinou o desenvolvimento de capacidades tecnológicas e suas implicações para o aprimoramento de indicadores de desempenho operacional sob regimes industriais distintos em uma empresa da indústria química no Brasil. Figueiredo (2008) analisou o impacto das mudanças políticas nos anos 1990 sobre a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas do setor de eletroeletrônicos, motocicletas e bicicletas, do Pólo Industrial de Manaus. Finalmente, Garcia e Figueiredo (2009) realizaram um estudo sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológica em empresas de celulose e de papel no Brasil ao longo de diferentes regimes industriais (1970-2004).

Portanto, a metodologia adotada nessa dissertação aplicou a combinação entre a literatura de acumulação de capacidades tecnológicas e a literatura institucional (DiMaggio e Powel 1983; Evans 1995; Scott 2001; Nelson e Sampat 2001; Murmann 2003; Nelson 2008; Peng et al 2008), com a finalidade de compreender o impacto das instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, no setor de etanol brasileiro, no período entre 1970 e 2009. Além disso, o modelo resultante dessa combinação não havia sido aplicado no setor de etanol brasileiro. As conclusões apresentadas aqui também complementam a literatura institucional empírica no nível setorial. Para tanto, utilizei a classificação institucional de Bell e Figueiredo (2010) para analisar o impacto das

instituições (macro-instituições, meso-instituições, os institutos de pesquisa e as universidades) sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol.

Além disso, a análise do impacto das instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas, à luz número de depósitos de pedidos de patentes e dos investimentos em P&D, não apresentam resultados conclusivos quanto à influência exercida pela primeira sobre a segunda. Sob a perspectiva de Ariffin e Figueiredo (2004), isto ocorre, pois os indicadores de pedidos de patentes e os investimentos em P&D refletem apenas as capacidades internacionais contextualizadas em países industrializados. Portanto, esses indicadores excluem as inovações básicas e intermediárias, realizadas em processos para produzir etanol anidro e hidratado de 1ª geração. Portanto, em consonância aos estudos de Figueiredo (2008), esta dissertação incorpora evidências empíricas e introduz uma visão alternativa às pesquisas fundamentadas em dados agregados, que defendem perspectivas negativas quanto ao papel desempenhado pelas instituições sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de indústrias, mais especificamente no contexto de economias emergentes como o Brasil.

Entre as principais conclusões dessa dissertação destacam-se as capacidades tecnológicas desenvolvidas nos institutos de pesquisa e universidades (CTC, na RIDESA e no IAC), por meio de atividades de P&D, em parceria com as empresas do setor. Essas instituições influenciaram consideravelmente a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol brasileiro, identificadas no Capítulo 8 (Seção 8.1). Desta forma, essas capacidades acumuladas de forma compartilhada com as instituições do setor (institutos de pesquisa e universidades) e as empresas produtoras de etanol de 1ª geração, incorporaram conhecimento ao setor de etanol de cana-de-açúcar. Nesse sentido, essa pesquisa complementa, com evidências do setor de etanol no Brasil, a literatura que analisa as implicações dos institutos de pesquisa e universidades sobre o processo de acumulação de capacidades inovadoras em empresas (Vedovello 1997, 2001; Figueiredo e Vedovello, 2004; Figueiredo et al, 2005).

Entretanto, os componentes do marco institucional incentivaram o desenvolvimento de atividades e projetos em universidades e institutos de pesquisa, ou seja, as atividades de pesquisa, em nível de bancada, resultaram em invenções para o setor de etanol. Essas

atividades também estavam concentradas dentro das universidades e dos institutos de pesquisa (grande parte das atividades inovadoras em nível de pesquisa e desenvolvimento é realizada em instituições baseadas em conhecimento e muito pouco em empresas), o que contribuiu para a redução da importância do papel das empresas no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação, simbolizada nesta dissertação pela extinção, em 1999, da área de P&D na Empresa Alfa, constituída por 40 profissionais. Nesse contexto, as invenções resultantes das atividades de pesquisa nas universidades e nos institutos de pesquisa não foram transformadas em escala industrial e comercial, portanto, também não geraram riqueza para o setor de etanol, impactando a competitividade do setor em comparação a outros países.

Além desses, as condições favoráveis de mercado, a grande disponibilidade de cana-de-açúcar e a flexibilidade de produção de etanol ou álcool contribuíram para a acomodação da indústria de etanol, o que resultou na estagnação do processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação. Esses fatores conduziram o setor a acumular capacidades tecnológicas de produção e inovação dentro da trajetória existente, o que provocou o aprisionamento (“locked-in”) do setor brasileiro de etanol na trajetória tecnológica para produzir etanol de 1ª geração. Por fim, as evidências dessa dissertação apresentam um alerta para o setor de etanol brasileiro, sinalizado principalmente na necessidade de investimentos em atividades inovadoras de P&D dentro das empresas, o que pode resultar na criação de inovações, riqueza para o setor de etanol e na diversificação para outros setores. Nos países estrangeiros, a maior parte das atividades inovadoras é realizada nas empresas.

Além do exposto acima, as evidências analisadas nessa dissertação não encontraram conexões, ou seja, projetos de desenvolvimento tecnológico em conjunto ou parcerias, entre a RIDESA, o CTC e o IAC. Desta forma, embora a RIDESA seja caracterizada como uma concorrente do CTC no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar para as empresas produtoras de etanol de 1ª geração, os objetivos dessas instituições poderiam ser complementados e alinhados a fim de desenvolver novas capacidades tecnológicas no setor. As sobreposições nos processos de acumulação de capacidades tecnológicas entre a RIDESA, o CTC e o IAC resultaram em algumas redundâncias e fraquezas para as três instituições.

Neste sentido, o estabelecimento de parcerias e projetos de pesquisas entre essas instituições poderia resultar em novas configurações e complementaridades, que possibilitariam novas linhas de pesquisa e reduziriam os custos de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, as evidências apresentadas no Capítulo 7 demonstram a existência recente de arranjos de P&D distribuídos entre as empresas, os institutos de pesquisa e as universidades do setor de etanol. Portanto, o desenvolvimento de capacidades tecnológicas inovadoras em matéria-prima, produtos e processos de níveis mais complexos irá demandar uma estrutura de P&D descentralizada em diversas organizações do setor.

Desta forma, as evidências coletadas sugerem:

- (1) No tocante às macro-instituições, destaca-se a influência praticada pelo regime de industrialização de substituição de importações e pelo regime de economia aberta sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação na área industrial (processo e produto). Durante o regime de industrialização de substituição de importações (1970-1989), o setor realizou o movimento de “catching-up” por meio da aquisição de capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção), de Nível 2 (Inovador Básico) e de Nível 3 (Inovador Intermediário). No período seguinte (1990-2009), a instituição do regime liberal no setor de etanol, após a desregulamentação do setor, impulsionou o processo de “catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio da acumulação de capacidades tecnológicas de Nível 4 (Inovador Avançado) e de Nível 5 (Inovador Global). Desta forma, as evidências confirmam a argumentação de que no setor de etanol o regime de economia aberta sustentou a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras de níveis mais complexos. Figueiredo (2008) identificou um comportamento semelhante no estudo sobre empresas do setor de eletroeletrônicos, motocicletas e bicicletas, do Pólo Industrial de Manaus, isto é, ocorreu uma influência positiva na taxa de acumulação de capacidades tecnológicas devido às mudanças institucionais políticas ocorridas após 1990. Fonseca (2008) também identificou esse padrão em uma empresa da indústria química no Brasil, entretanto, a análise apresenta nessa dissertação complementa a literatura de acumulação de capacidades tecnológicas com evidências sobre o setor brasileiro de etanol.

- (2) Ainda no que se refere às macro-instituições, destaca-se a influência praticada pelo regime de industrialização de substituição de importações e pelo regime de economia aberta sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação na área agrícola (matéria-prima). Durante o regime de industrialização de substituição de importações (1970-1989), o setor realizou o movimento de “catching-up” por meio da aquisição de capacidades tecnológicas agrícolas de Nível 3 (Inovador Intermediário) e de Nível 4 (Inovador Avançado). No período seguinte (1990-2009), a instituição do regime liberal no setor de etanol impulsionou o processo de “catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio da acumulação de capacidades tecnológicas de Nível 5 (Inovador Global). Esse processo de transição macro institucional corrobora a existência temporal de diferentes estruturas organizacionais e funções desempenhadas pelas instituições no processo de acumulação de capacidades tecnológicas do setor (Evans, 1995). Entretanto, o setor de etanol acumulou capacidades tecnológicas inovadoras na área agrícola (matéria-prima) de níveis mais complexos mesmo durante o regime de industrialização de substituição de importações.
- (3) As empresas do setor brasileiro de etanol se organizaram em associações representativas para exercer atividades de lobby no governo brasileiro, durante o período de transição entre o regime de industrialização de substituição de importações (1970-1989) e o regime de economia aberta (1990-2009), com a finalidade de moldar o ambiente institucional onde operam, possibilitando a acumulação de capacidades tecnológicas de níveis mais elevados. Esse movimento é similar ao identificado por Murmann (2003) na indústria alemã de corantes sintéticos, entretanto, as evidências dessa dissertação complementam a abordagem de pesquisa direcionada à acumulação de capacidades tecnológicas em empresas situadas em países em desenvolvimento.
- (4) No tocante às meso-instituições, destacam-se os incentivos utilizados pelo governo por meio do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) para estimular o setor de etanol a acumular capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção) e de Nível 2 (Inovador Básico) e de Nível 3 (Inovador Intermediário). O governo brasileiro também utilizou mecanismos para controlar o teor de mistura de etanol na gasolina, ou seja, essa prática persistente ao longo dos anos garantiu a existência de um mercado



consumidor para o setor de etanol, o que influenciava a aquisição de capacidades tecnológicas de produção e de inovação na área agrícola e industrial.

- (5) Ainda no que se referem às meso-instituições, algumas medidas governamentais federais e estaduais, direcionadas para a eliminação gradual das queimadas realizadas durante o período de colheita da cana-de-açúcar, incentivaram a acumulação de novas capacidades tecnológicas industriais de Nível 5 (Inovador Global). Além disso, o BNDES desempenhou um papel expressivo na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol, ou seja, o Banco liberou financiamentos que incentivaram a acumulação de capacidades tecnológicas industriais de Nível 1 (Produção) e também aprovou recursos para instituições de pesquisa realizarem projetos de P&D, em parceria com empresas do setor de etanol, com a finalidade de adquirir capacidades tecnológicas inovadoras, qualificadas no Nível 5 (Inovador Global). Desta forma, as evidências dessa dissertação demonstram a existência de um conjunto complexo de meso-instituições que desempenharam papéis distintos ao longo do tempo sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação no setor de etanol. Portanto, as instituições devem evoluir em conjunto com as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação, ou seja, os mecanismos institucionais utilizados na aquisição de níveis de capacidade de produção e inovação básicas devem ser reconfigurados conforme o setor de etanol atinge níveis mais avançados, próximos à fronteira internacional.
- (6) O terceiro grupo de instituições em análise nesse estudo compreende os institutos de pesquisa e as universidades. No tocante à acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas (matéria-prima), durante o regime de industrialização por substituição de importações (1970-1989), o Planalsucar, o CTC e o IAC em parceria com as empresas do setor de etanol desenvolveram capacidades tecnológicas compartilhadas de inovação, classificadas no Nível 3 (Inovador Intermediário) e no Nível 4 (Inovador Avançado). No período seguinte, durante o regime de economia aberta (1990-2009), as empresas, os institutos de pesquisa (CTC e IAC) e as universidades (RIDESA) desenvolveram novas tecnologias inovadoras qualificadas no Nível 5 (Inovador Global). Sob a perspectiva de Murmann (2003), essa rede de universidades influenciou o processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação (matérias-primas).

(7) Ainda no tocante às instituições representadas pelos institutos de pesquisa e as universidades, destaca-se o papel desempenhado pelo CTC sobre a trajetória acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol. No que se refere à acumulação de capacidades tecnológicas industriais (processo e produto), durante o período compreendido pelo regime de industrialização por substituição de importações (1970-1989), o CTC desenvolveu capacidades tecnológicas de Nível 1 (Produção), de Nível 2 (Inovador Básico) e Nível 3 (Inovador Intermediário). Mais tarde, durante o regime de economia aberta (1990-2009), o CTC sustentou o movimento de “catching-up” em direção à fronteira internacional, por meio de atividades em P&D para desenvolver novas tecnologias inovadoras, agregando capacidades tecnológicas inovadoras de Nível 4 (Inovador Avançado) e de Nível 5 (Inovador Global).

Finalmente, as evidências empíricas apresentadas no Capítulo 6 e no Capítulo 7, e posteriormente analisadas e discutidas no Capítulo 8, permitem concluir que as macro-instituições, as meso-instituições, os institutos de pesquisa e as universidades exerceram um papel fundamental sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas agrícolas e industriais de produção e inovação no setor de etanol brasileiro.

#### **9.4 Implicações para as políticas públicas e para as estratégias empresariais**

Os resultados obtidos com o exame do relacionamento das variáveis em análise nesta dissertação nos permitem ir além da nossa compreensão a respeito da complexidade do processo de acumulação de capacidades tecnológicas em indústrias inseridas em economias emergentes, mais especificamente no setor brasileiro de etanol. As evidências dessa dissertação indicam um conjunto de implicações futuras para as políticas públicas e para as estratégias empresariais do setor brasileiro de etanol. Nesse sentido, o estudo aponta para algumas vulnerabilidades do setor de etanol brasileiro no que se refere a sua capacidade de sustentar o seu desempenho inovador, o que implica em mudanças nas políticas públicas e para as estratégias empresariais do setor, focadas na produção de etanol de 1ª geração.

Entre as principais implicações práticas para as políticas públicas do setor brasileiro de etanol, as evidências dessa dissertação propõem aos representantes governamentais a instituição de políticas alinhadas às demandas e às necessidades da indústria de etanol brasileira. Nos últimos anos, a maior parte das atividades inovadoras foi desenvolvida dentro das instituições baseadas em conhecimento e estava direcionada à sustentação das capacidades tecnológicas existentes. Não menos importante grande parte das atividades inovadoras ocorreu dentro das instituições baseadas em conhecimento, em nível de bancada, e resultaram apenas em invenções para o setor brasileiro de etanol. Desta forma, a natureza dessas políticas deveria estar não só preocupada com a oferta de recursos, mas também com o estabelecimento de mecanismos integradores das atividades inovadoras realizadas nas universidades, nos institutos de pesquisa e nas principais empresas brasileiras do setor de etanol. Isso poderia evitar a duplicação de esforços e também a falta de integração no processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras nas instituições baseadas em conhecimento e nas empresas do setor brasileiro de etanol.

Nesse sentido, os representantes governamentais podem incentivar a elaboração de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas inovadoras dentro das empresas e também para o estabelecimento de ligações com fornecedores e empresas de outros setores, o que pode estimular o desenvolvimento de produtos inovadores que irão criar novas receitas e gerar riqueza para as empresa do setor brasileiro de etanol. Portanto, as novas políticas públicas podem direcionar as atividades de P&D dentro das empresas do setor brasileiro de etanol com o objetivo de criar e desenvolver novos produtos em parceria com empresas de outras indústrias, promovendo a diversificação para novos setores e novas linhas de negócio como, por exemplo, as indústrias química, farmacêutica e biotecnológica.

Além disso, as políticas públicas do setor de etanol brasileiro precisam redirecionar as estratégias de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, fortemente vinculadas às trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas para produzir etanol de 1ª geração. Atualmente os recursos são destinados à realização de atividades inovadoras focadas na sustentação as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de 1ª geração. A continuidade das estratégias de inovação nessas trajetórias existentes não incentivará a expansão das capacidades tecnológicas inovadoras no setor brasileiro de etanol. Nesse sentido, as novas políticas públicas deveriam desafiar a indústria com a

finalidade de estimular o processo de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de etanol. Desta forma, as políticas públicas poderiam criar mecanismos e incentivos para impulsionar a acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação na trajetória emergente para produzir etanol de 2ª geração, que atualmente encontra-se em nível experimental e é largamente desenvolvida de forma independente dentro dos institutos de pesquisas e universidades.

No tocante às implicações para as estratégias empresariais, o setor de etanol necessita aprofundar e sustentar a aquisição de capacidades inovadoras, qualificadas no nível 4 e no nível 5. Mais especificamente, as capacidades tecnológicas inovadoras desse setor foram acumuladas em grande parte dentro das instituições baseadas em conhecimento, isto é, os institutos de pesquisa e universidades. Desta forma, as empresas do setor de etanol deveriam estabelecer relacionamentos ativos com essas instituições, a fim de transformarem as invenções, produzidas nas universidades e nos institutos de pesquisas, em inovações disseminadas em escala industrial.

Além disso, a concentração das atividades inovadoras dentro das universidades e dos institutos de pesquisa reduziu ao longo dos últimos anos a importância estratégica das empresas no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de inovação. Portanto, as evidências dessa dissertação sugerem a reformulação das estratégias empresariais com a finalidade de expandir as atividades inovadoras dentro das empresas do setor de etanol, que poderão resultar na criação de inovações em escala industrial, na diversificação para outros setores e na geração de riqueza para as empresas do setor brasileiro de etanol. O estabelecimento de estruturas internas de P&D e o estabelecimento de ligações com fornecedores e empresas de outros setores, como por exemplo, as indústrias químicas e farmacêuticas, podem resultar no desenvolvimento de produtos inovadores que irão gerar novas receitas para as empresas do setor brasileiro de etanol.

Por fim, as evidências desse estudo incitam as empresas a estruturar áreas internas de P&D, contratar pessoas responsáveis pela coordenação das atividades inovadoras e a integrar os esforços inovadores realizados em instituições baseadas em conhecimento, fornecedores e empresas de outros setores, como por exemplo, a indústria química e a indústria farmacêutica. Desta forma, as empresas do setor de etanol deveriam assumir um comportamento proativo, por meio do direcionamento das atividades de pesquisa e

desenvolvimento com a finalidade de coordenar esses esforços em direção aos problemas e desafios futuros a serem enfrentados no contexto das principais empresas do setor.

### **9.5 Implicações para a literatura de acumulação de capacidades tecnológicas**

A perspectiva institucional teórica (Nelson e Winter 1982; DiMaggio e Powel 1983; Evans 1995; Scott 2001; Nelson e Sampat 2001; Murmann 2003; Nelson 2008; Peng et al 2008) utilizada nessa dissertação para pesquisar as influências das macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisas e universidades sobre a trajetória de acumulação tecnológica de produção e inovação no setor de etanol brasileiro, complementa a abordagem direcionada à pesquisa sobre a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas situadas em países em desenvolvimento (Bell e Pavitt 1993; Hobday 1995; Kim 1997; Lee e Lim 2001; Figueiredo 2003, 2008, 2009 e 2010; Ariffin e Figueiredo 2004; Miranda e Figueiredo 2010).

Desta forma, as instituições, ou seja, das macro-instituições, meso-instituições, institutos de pesquisas e universidades contribuem com parte da explicação sobre o processo de acumulação tecnológica nas empresas situadas em países em desenvolvimento como, por exemplo, as empresas brasileiras produtoras de etanol. Portanto, os diversos mecanismos institucionais descritos nesse trabalho complementam os mecanismos de aprendizagem intra e inter organizacionais, utilizados pelas empresas, no contexto de países em desenvolvimento, para explicar o processo de acumulação de um estoque inicial de conhecimento e posteriormente as capacidades tecnológicas de produção e de inovação.

Além disso, a perspectiva institucional também agrega conhecimento à literatura de gestão estratégica, mais especificamente, sobre a construção de capacidades ou competências estratégicas essenciais (core capabilities ou core competences), por empresas localizadas na fronteira tecnológica internacional de países desenvolvidos (Porter 1980 e 1985; Leonard 1995; Teece e Pisano 1997; Christensen 1997 e 2003; Chesbrough 2003). As evidências apresentadas nessa dissertação comprovam a importância das instituições nos estágios mais básicos da trajetória tecnológica, que sustentam o processo posterior de acumulação de capacidades estratégicas essenciais, mais avançadas e inovadoras. Desta forma, devemos também acrescentar os fatores institucionais à relação dos fatores

organizacionais, gerenciais, estratégicos, tecnológicos e os processos de aprendizagem intra e inter organizacionais para compreendermos o processo de acumulação de capacidade tecnológica no setor de etanol no Brasil.

A combinação da literatura de aprendizagem e acumulação de capacidade tecnológica inovadora com a literatura institucional, no contexto do setor de etanol Brasil, contribuiu para a identificação da influência exercida pelas instituições formais e informais sobre o processo de acumulação de capacidades tecnológicas em indústrias situadas em países em desenvolvimento. Além desse argumento, esta dissertação contribui para reduzir a escassez de estudos sobre a relação entre os fatores institucionais e a transformação tecnológica de indústrias e organizações, no contexto de países em desenvolvimento. Finalmente, a compreensão das relações entre os fatores institucionais e a criação de capacidades tecnológicas, na indústria de etanol brasileira, complementa a literatura institucional empírica, no nível setorial, ao discorrer sobre as funções desempenhadas pelas instituições na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol brasileiro.

## **9.6 Sugestões para futuras pesquisas**

A partir das evidências e dos resultados apresentados nessa dissertação é possível sugerir novos estudos que permitam expandir os conhecimentos a respeito do impacto exercido pelas instituições (macro instituições, meso instituições e os institutos de pesquisa/universidades) sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológica agrícola e industrial de produção e inovação em setores situados em países em desenvolvimento.

- (1) Realizar estudos similares a essa dissertação, que examinem o impacto das instituições sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em outras indústrias situadas em países em desenvolvimento.
- (2) Desenvolver um modelo para avaliar o nível de capacidades tecnológicas compartilhadas entre institutos de pesquisas, universidades e as empresas do setor de etanol.

- (3) Realizar estudos de caso nas principais empresas no setor de etanol com o objetivo de comparar os níveis de capacidades tecnológicas de produção e inovação, com a finalidade de comparar as evidências discutidas e apresentadas nesta dissertação.
- (4) Realizar uma pesquisa mais detalhada por meio de estudos de casos em empresas do setor de etanol, com o objetivo de examinar ao longo de um período de tempo as diferenças nas trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação de etanol.
- (5) Realizar uma análise comparativa entre países distintos, desenvolvidos e em desenvolvimento, com a finalidade de examinar as influências dos fatores institucionais sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de etanol e comparar os níveis de capacidades entre as indústrias dessas nações.
- (6) Investigar de forma mais detalhada e aprofundada o relacionamento das macro instituições, meso instituições, institutos de pesquisa e universidades com as principais empresas do setor sucroalcooleiro no processo de acumulação de capacidades tecnológicas de produção e inovação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ARIFFIN, Norlela; FIGUEIREDO, Paulo. Internationalization of Innovative Capabilities: Counter-evidence from the Eletronics Industry in Malaysia and Brasil. Oxford Development Studies, Vol. 32, nº 4, 2004.

AVÓ, Marcos Rocha de. Estratégia em tempos turbulentos: a realidade das empresas familiares vista através do ramo de álcool combustível brasileiro. São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo. 2008.

BACHA, Carlos José Caetano; SHIKIDA, Pery Francisco Assis. Evolução da Agroindústria Canavieira Brasileira de 1975 a 1995. Revista Brasileira de Economia, vol. 53, n. 1, p. 69-90, 1999.

BARROS, Geraldo Sant'ana de Camargo; MORAES, Márcia Azanha Ferraz Dias de. Desregulamentação do Setor Sucroalcooleiro. Revista de Economia Política, v. 22, n. 2 (86), 2002.

BELIK, Walter. Agroindústria processadora e política econômica. Universidade Estadual de Campinas, 1992.

BELL, Martin; PAVITT, Keith. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. Industrial and corporate change, 2(2), Oxford p. 157-211, 1993.

BELL, Martin. Time and technological learning in industrialising countries: how long does it take? How fast is it moving (if at all)? Int. J. Technology Management, vol. 36, nº 1/2/3, 2006.

BELL, Martin; Figueiredo, Paulo. Building Innovative Capabilities in Latecomer Firms: Some Key Issues. 2010. Versão rascunho.



BNDES e CGEE. *Bioetanol de Cana-de-açúcar. Energia para o Desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro, novembro de 2008. Disponível em: <<http://www.sugarcanebioethanol.org/pt/download/etanol.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2009.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *BNDES aprova financiamento de R\$ 37 milhões para produção de etanol*. 2005. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Sala\\_de\\_Imprensa/Noticias/2005/20050601\\_not133\\_05.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2005/20050601_not133_05.html)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *Carteira do BNDES para setor de açúcar e álcool já soma R\$ 19,7 bilhões*. 2007a. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Sala\\_de\\_Imprensa/Noticias/2007/20071203\\_not271\\_07.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2007/20071203_not271_07.html)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *BNDES aprova financiamento de R\$ 1,5 milhão para apoio a pesquisa de inovação em etanol*. 2007b. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Sala\\_de\\_Imprensa/Noticias/2007/20070829\\_not194\\_07.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2007/20070829_not194_07.html)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *BNDES aprova R\$ 555 milhões para Braskem produzir eteno e polietilenos de cana*. 2009. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Sala\\_de\\_Imprensa/Noticias/2009/Todas/20090512\\_braskem\\_alcoolquimica.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2009/Todas/20090512_braskem_alcoolquimica.html)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

BODAS FREITAS, Isabel Maria; DANTAS, Eva; IIZUKA, Michiko; *The role of global institutional frameworks on the diffusion of renewable energy technologies in the BRICS countries*. International Schumpeter Society Conference. Aalborg, 2010.

BP. British Petroleum. *Statistical Review of World Energy*. 2010. Disponível em: <[http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications)>.

blications/statistical\_energy\_review\_2008/STAGING/local\_assets/2010\_downloads/statistical\_review\_of\_world\_energy\_full\_report\_2010.pdf>. Acesso em: 04 de julho de 2010.

BRASKEM. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/plasticoverde/principal.html>> Acesso em: 10 de novembro de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Anuário Estatístico da Agroenergia*. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Ementário Nacional. Compêndio histórico de normativos e documentos legais*. 1ª ed. Brasil: Brasília, 2009a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Mistura Carburante Automotiva (Etanol Anidro / Gasolina) Cronologia*. 2010.

CAVALCANTI, Carlos Eduardo. *O Apoio do BNDES ao Setor de Bioenergia*. In: II SEMINÁRIO BIOENERGIA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE NEGÓCIOS. 2010.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil*. 2009.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Biocombustíveis aeronáuticos. Progressos e desafios*. 2010.

CHESBROUGH, Henry. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press, 2003.

CHRISTENSEN, Clayton. *Innovator's Dilemma. When new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1997.

CHRISTENSEN, Clayton. *Innovator's Solution. Creating and Sustaining Successful Growth*. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 2003.

COELHO, Suani Teixeira; LORA, Beatriz Acquaro; GUARDABASSI, Patrícia Maria. *Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo*. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

COPERSUCAR. Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. *Relatório de Gestão. Coopersucar 50 anos*. 2009. Disponível em: <<http://www.copersucar.com.br>>. Acesso em: 11 de outubro de 2010.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. *Relatório de Realizações 2005-2010*. 2010.

DANTAS, Eva; FIGUEIREDO, Paulo. *The Evolution of the Knowledge Accumulation Function in the Formation of the Brazilian Biofuels Innovation System*. VII GLOBELICS Conference in Dakar, 2009. Disponível em: <[http://globelics2009dakar.merit.unu.edu/papers/1238516980\\_ED.pdf](http://globelics2009dakar.merit.unu.edu/papers/1238516980_ED.pdf)>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2010.

DEDINI. Indústrias de Base. *USD – Usina Sustentável Dedini*. 2009.

DIMAGGIO, Paul; POWELL, Walter. *The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields*. American Sociological Review, v. 48, p. 147-160, 1983.

EVANS, Peter. *Embedded Autonomy. States and Industrial Transformation*. Estados Unidos da América: Princeton University Press, 1995.

FIGUEIREDO, Paulo N. *Technological Learning and Competitive Performance*. Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar Publishing Ltd, Inc., ed. 1, 2001.

FIGUEIREDO, Paulo N. *Learning, capability accumulation and firms differences: Evidence from latecomer steel*. Industrial and Corporate Change, 2003.

FIGUEIREDO, Paulo N. Industrial Policy Changes and Firm-Level Technological Capability Development: Evidence from Northern Brazil. World Development, v. 36, n. 1, p. 55-88, 2008.

FIGUEIREDO, Paulo N. Gestão da Inovação. Conceitos, Métricas e Experiências de Empresas no Brasil. Rio de Janeiro, LTC: 2009.

FIGUEIREDO, Paulo N. Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource-processing firms. Technological Forecasting & Social Change, 2010.

FIGUEIREDO, Paulo N. ; VEDOVELLO, C. ; MELO, M. S. ; MARINS, L. M. . Research and Technology Institutes (RTIS) in a latecomer innovation system: evidence from the Information and Communications Technology (ICT) industry in Brazil. International Journal of Technology and Globalisation, Maastricht, v. 1, n. 3/4, p. 286-310, 2005.

FO LICHT. World Ethanol & Biofuels Report. 2007.

FO LICHT. World Ethanol & Biofuels Report. 2009.

FONSECA, Maria da Graça Derengowski; SILVEIRA, Jose Maria J; COSTA, Charles Menard; ROSÁRIO, Francisco José P. ; NEVES, Romulo Ely; A dinâmica agroindustrial e tecnológica da agroindústria brasileira sob a ótica de sistemas de inovação: grãos e cana-de-açúcar. Workshop BRICS, 2007.

FONSECA, Marcelio Souza. Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Aprimoramento de Performance Operacional sob Diferentes Regimes Industriais: Evidências em Nível de Empresa da Indústria Química no Brasil (1950-2007). 2008.

FURTADO, André; CORTEZ, Luis; SCANDIFFIO, Mirna. O Sistema de Inovação da Agroindústria Canavieira Brasileira. UNICAMP, 2008

GARCIA, Claudia Teresa C.; FIGUEIREDO, Paulo. Mudanças em Regimes Industriais e Acumulação de Capacidades Tecnológicas: Evidências de Empresas de Celulose e Papel no Brasil. Revista de Economia Contemporânea, v. 13, p. 489-510, 2009.

GOLDEMBERG, José; GUARDABASSI, Patricia. *The potential for first-generation ethanol production from sugarcane*. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, v. 4, p. 17-24, 2010.

HOBDAY, Michael. *Innovation in East Asia. The Challenge to Japan*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limite, 1995.

HUNG, Shih-Chang. *Institutions and systems of innovation: an empirical analysis of Taiwan's personal computer competitiveness*. Technology in Society, v. 22, p. 175–187, 2000.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 de julho de 2010.

IRDC. International Development Research Center. ITS - Innovation, Technology and Society. *Projeto: Innovation, Learning and Institutional Frameworks in Natural Resource Industries (Argentina, Brazil and Chile)*. 2009. Disponível em: <[http://www.idrc.ca/es/ev-115348-201\\_105165-1-idrc\\_adm\\_info.html](http://www.idrc.ca/es/ev-115348-201_105165-1-idrc_adm_info.html)>. Acesso em: 05 de outubro de 2009.

IEA BIOENERGY. International Energy Agency Bioenergy. *Bioenergy - A Sustainable and Reliable Energy Source. A review of status and prospects*. 2009. Disponível em: <<http://www.ieabioenergy.com/LibItem.aspx?id=6479>>. Acesso em: 23 de outubro de 2010.

INOVAÇÃO UNICAMP. Universidade Federal de Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br>>. Acesso em: 11 de setembro de 2010.

IRDC. International Development Research Center. ITS - Innovation, Technology and Society. *Projeto: Innovation, Learning and Institutional Frameworks in Natural Resource Industries (Argentina, Brazil and Chile)*. 2009. Disponível em: <[http://www.idrc.ca/es/ev-115348-201\\_105165-1-IDRC\\_ADM\\_INFO.html](http://www.idrc.ca/es/ev-115348-201_105165-1-IDRC_ADM_INFO.html)>. Acesso em: 05 de outubro de 2009.

KIM, Linsu; *Analytical Frameworks*. In: Kim, L; Imitation to Innovation. Boston: Harvard Business School Press, p 85-103, 1997.

LALL, Sanjaya; *Technological capabilities and industrialization*. Word Development, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.

LEE, Keun; LIM, Chaisung. *Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries*. Research Policy, v. 30, p. 459-483, 2001.

LEONARD, Dorothy. *Wellsprings of Knowledge. Building and Sustaining the Sources of Innovation*. Harvard Business School Press, 1995.

MARCHETI, Renata. *A importância do direito e das discussões jurídicas nas questões de bioenergia*. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

MARIOTONI, Marili Arruda. *O desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (1975-1985)*. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

MIRANDA, Eduardo C.; FIGUEIREDO, Paulo. *Dinâmica da acumulação de capacidades inovadoras: evidências de empresas de software no Rio de Janeiro e em São Paulo*. São Paulo: RAE, v. 50, n. 1, 2010.

MOREIRA, José Roberto; VELÁSQUEZ, Sílvia M. S. G.; MELO, Euler Hoffman. *Uso do etanol em motores ciclo diesel*. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010.

MURMANN, Johann. *Knowledge and Competitive Advantage. The coevolution of Firms, Technology, and National Institutions*. Inglaterra: Cambridge University Press, 2003.

NELSON, Richard; WINTER, Sidney. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1982.

NELSON, Richard; SAMPAT Bhaven. *Making sense of institutions as a factor shaping economic performance*. Journal of Economic Behavior & Organization, v. 44, p. 31-54, 2001.

NELSON, Richard. *What enables rapid economic progress: What are the needed institutions?* Research Policy, v. 37, p. 1-11, 2008.

NORTH, Douglass. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. New York: Cambridge University Press, 1990.

OECD; EUROSTAT; FINEP. *Manual de Oslo. Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação*. Tradução: FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, 3a. ed, 1997.

PENG, Mike; WANG, Denis; JIANG, Yi. *An institution-based view of international business strategy: a focus on emerging economies*. Journal of International Business Studies, v. 39, p. 920-936, 2008.

PORTER, Michael. *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. New York: Free Press, 1980.

PORTER, Michael. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. New York: Free Press, 1985.

QUADROS, Ruy; CONSONI, Flávia. *Innovation capabilities in the Brazilian automobile industry: a study of vehicle assemblers' technological strategies and policy recommendations*. International Journal of Technological Learning, Innovation and Development, v. 2, n. 1/2, p. 53-75, 2009.

REVISTA PESQUISA FAPESP. *Revolução Genômica*. 2008. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?ed=904&lg=>>. Acesso em: 26 de outubro de 2010.

REVISTA PESQUISA FAPESP. *O saldo de uma década. Como o Programa Genoma FAPESP criou novos paradigmas no ambiente de pesquisa brasileiro*. Ed. 174, 2010.

Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?ed=936&lg=>>. Acesso em: 26 de outubro de 2010.

REVISTA OPINIÕES sobre o setor Sucroenergético. São Paulo: Ed. WDS, v. Julho-Setembro, 2009. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br>>. Acesso em: 12 de outubro de 2010.

REVISTA OPINIÕES sobre o setor Sucroenergético. São Paulo: Ed. WDS, v. Abril-Junho, 2010a. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br>>. Acesso em: 12 de outubro de 2010.

REVISTA OPINIÕES sobre o setor Sucroenergético. São Paulo: Ed. WDS, v. Julho-Setembro, 2010b. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2010.

RIDESA. Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. 2010. Disponível em: <<http://www.ridesa.com.br>>. Acesso em: 18 de julho de 2010.

RIDESA. Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. Catálogo Nacional de Variedades “RB” de Cana-de-Açúcar. 2010b.

RODRIK, Dani; SUBRAMANIAN, Arvind; TREBBI, Francesco. Institutions Rule: The Primacy of Institutions over Geography and Integration in Economic Development. Journal of Economic Growth, v. 9, n. 2, 2004.

ROSÁRIO, Francisco José Peixoto; FONSECA, Maria Da Graça Derengowski. Transformações industriais e sistemas setoriais de inovações: progresso técnico e implicações na dinâmica da agroindústria sucroenergética no Brasil. Economia política do desenvolvimento, Maceió, v. 1, n. 2, p. 95-134, mai-ago, 2008.

SCOTT, W. Richard. Institutions and organizations. 2ª ed. Estados Unidos da América: Sage, 2001.



SHIKIDA, Pery Francisco Assis; MORAES, Márcia Azanha Ferraz Dias de; Alves, Lucilio Rogerio Aparecido; Agroindústria canavieira do brasil: intervencionismo, desregulamentação e neocorporatismo. Revista de Economia e Agronegócio, v.2, n. 3, 2004.

SOUZA, Taynah; HASENCLEVER, Lia. The Brazilian System of Innovation for Ethanol Fuel: An Essay on the Strategic Role of the Standardization Process. VI Globelics Conference at Mexico City, 22-24, Setembro, 2008. Disponível em: <[http://globelics\\_conference2008.xoc.uam.mx/papers/Taynah\\_The\\_Brazilian\\_system.pdf](http://globelics_conference2008.xoc.uam.mx/papers/Taynah_The_Brazilian_system.pdf)> Acesso em: 11 de fevereiro de 2010.

SZMRECSÁNYI, Tamás; MOREIRA, Eduardo. O Desenvolvimento da Agroindústria Canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. Estudos Avançados, 1991.

TEECE, David; PISANO, Gary. Dynamic Capabilities and Strategic Management. Strategic Management Journal, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. 2010. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 9 de novembro de 2010.

UNEP-DTIE. United Nations Environment Programme - Division of Technology, Industry, and Economics. Towards sustainable production and use of resources: Assessing Biofuels. 2009.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 14 de outubro de 2010.

UFSCAR. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br>>. Acesso em: 18 de julho de 2010.

VEDOVELLO, Conceição. Science parks and university-industry interaction: Geographical proximity between the agents as a driving force. Technovation, Grã-Bretanha, v. 17, n. 4, p. 491-502, 1997.

VEDOVELLO, Conceição. Perspectivas e Limites da Interação entre Universidades e MPMEs de Base Tecnológica localizadas em Incubadoras de Empresas. Revista do BNDES, Brasil, v. 8, n. 2, p. 281-316, 2001.

VEDOVELLO, Conceição; FIGUEIREDO, Paulo. Infra-estrutura tecnológica e capacidade inovadora: algumas evidências do pólo industrial de Manaus. T&C Amazônia, v. 2, p. 24-28, 2004.

VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González; SANTOS, Sandra Maria Apolinário dos; MOREIRA, José Roberto; MELO, Euler Hoffmann; COELHO, Suani Teixeira. O Projeto BEST - BioEtanol para o Transporte Sustentável - Uma Contribuição ao Meio Ambiente das Metrôpoles. Trabalho apresentado e publicado no evento: XIII Congresso Brasileiro de Energia - XIII CBE, Rio de Janeiro, Brasil, 09 a 11 de Novembro, 2010.

WINTER, Eduardo; LIMA, Araken Alves; MENDES, Cristina d'Urso de S. Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do etanol proveniente da cana-de-açúcar sob enfoque dos pedidos de patentes: cenário brasileiro. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

YIN, Robert. Estudos de Caso. Planejamento e Métodos. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.