

Análise da dinâmica de P&D&I na construção do Sistema Setorial de Inovação de energia elétrica para o Brasil

Analysis of R&D&I dynamics towards building up the Sectoral System of Innovation for electric power in Brazil



Mariana Pfitzner¹
Sergio Luiz Monteiro Salles-Filho¹
José Luiz Pereira Brittes²

Resumo: Este artigo mostra evidências de que as empresas brasileiras do setor de energia elétrica vêm construindo trajetórias cada vez mais intensivas em tecnologia, materializadas em seus esforços envidados em atividades de P&D&I. Analisa a dinâmica da inovação tecnológica nesse setor à luz de sua motivação para inovar, das estratégias organizacionais (competitivas e tecnológicas) e da cadeia produtiva, formada pelos processos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. A título de ressaltar sua relevância estratégica para o Brasil, note-se que o setor de energia elétrica cresceu a taxas médias superiores ao PIB nacional durante a primeira década deste século, aumentando cerca de 4% ao ano pelo lado da demanda (EMPRESA..., 2011a). O presente artigo explora a hipótese de que as empresas de energia elétrica apresentam complexidade tecnológica e, por sua monta, têm investido em tecnologia e inovação, contribuindo com a construção de um Sistema Setorial de Inovação (SSI) no Brasil. Evidencia-se isso por meio da avaliação da dinâmica de P&D&I e das ações institucionais de quatro empresas de energia do Brasil (Cemig, Furnas, CPFL e Eletronorte), sendo que essas se consolidam em centros de P&D&I, redes de pesquisa, execução de planos de P&D&I e ações conjuntas com agências governamentais. Porém, o uso de indicadores organizacionais e setoriais permite depreender que os esforços de inovação tecnológica ainda não são suficientes para a constituição de um SSI robusto.

Palavras-chave: Pesquisa e desenvolvimento. Dinâmica de P&D&I. Estratégia tecnológica. Estratégia competitiva. Sistema Setorial de Inovação.

Abstract: This article shows that Brazilian companies in the electric power sector are increasingly building technological paths, materialized through their efforts in R&D&I activities. It analyzes the dynamics of technological innovation in this sector, considering its motivation to innovate, organizational strategies (competitive and technological), and the supply chain, which is formed by the processes of generation, transmission, distribution and commercialization. In order to evidence its strategic importance to Brazil, the electricity sector grew at average rates of roughly 4% per year, which have surpassed the growth of the GDP during the first decade, regarding the demand side (EMPRESA..., 2011a). This article explores the hypothesis that the energy companies pursue technological complexity and invest in technology and innovation, contributing to the construction of a Sectoral System of Innovation in Brazil. This can be observed through the evaluation of the R&D&I dynamics and institutional actions of four energy companies (Cemig, Furnas, CPFL and Eletronorte), which correspond to the existence of R&D&I centers, research networks, R&D planning and partnerships with governmental agencies. However, the use of organizational and sectoral indicators lead to the conclusion that technological innovation efforts are not sufficient to constitute a robust Sectoral System of Innovation in Brazil.

Keywords: Research and development. R&D&I dynamics. Technology strategy. Competitive strategy. Sectoral System of Innovation.

¹ Departamento de Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, CEP 13083-970, Campinas, SP, Brasil, e-mail: msavedra@ige.unicamp.br; sallesfi@ige.unicamp.br

² Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, CEP 13420153, Limeira, SP, Brasil, e-mail: jose.brittes@fca.unicamp.br

1 Introdução

As empresas de energia elétrica, a despeito de serem produtoras de *commodities*, apresentam complexidade tecnológica. Em outras palavras, elas demandam um conjunto de sistemas, materiais e equipamentos que precisam operar com alto desempenho, respeitando os princípios de sustentabilidade ambiental ao longo de sua cadeia produtiva, composta pelos processos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. Ora, essas empresas precisam produzir, armazenar e transportar energia para o consumidor final de forma sustentável, ou seja, sem ameaçar o meio ambiente, tampouco causar tensões geopolíticas (CENTRO..., 2010).

Este trabalho faz um recorte analítico para estudar o comportamento deste setor no contexto da sua dinâmica de P&D e Inovação (P&D&I). O objetivo precípua do artigo é, portanto, apresentar evidências dos esforços de P&D&I referentes ao setor de energia elétrica no Brasil, bem como caracterizar o perfil deste sistema setorial, com base na sua dinâmica de inovação tecnológica. Nesse sentido, a dinâmica de P&D&I é aqui explicada a partir de três elementos críticos: 1) das motivações das empresas para inovarem (por que inovam); 2) das estratégias organizacionais competitivas e tecnológicas (como inovam); e 3) dos processos e subprocessos da cadeia produtiva (onde inovam).

O presente artigo está dividido em seis seções. A segunda seção aborda conceitualmente as estratégias competitivas e tecnológicas, o modelo de inovação aberta e suas implicações na formação do SSI de energia elétrica. Articulam-se conhecimentos já existentes, usando para isto a literatura referente à inovação aberta (CHESBROUGH, 2006), Sistemas Setoriais de Inovação (FURTADO, 2002; MALERBA, 2003), estratégias competitivas (PORTER, 1979, 1980; CARNEIRO; CAVALCANTI; SILVA, 1997; GHEMAWAT; RIVKIN, 2000) e tecnológicas (FREEMAN, 1982), marco regulatório da P&D no setor elétrico (BRASIL, 2000) e os manuais de P&D da ANEEL (AGÊNCIA..., 2008, 2012c).

A terceira seção trata da metodologia, a qual se pauta em uma pesquisa exploratória e na construção de indicadores de caráter organizacional e setorial. Os indicadores de caráter organizacional foram formulados para quatro empresas selecionadas (Cemig, Furnas, CPFL e Eletronorte), referindo-se aos seus “esforços inovadores”. Esses abarcam os seus investimentos em P&D&I, total de projetos de P&D realizados em cooperação tecnológica, a evolução dos depósitos de patentes, a presença de cotitularidade nas patentes e o volume de inventores de patentes com publicações científicas. Complementarmente, os indicadores setoriais têm por objetivo comparar o desempenho do setor de energia elétrica brasileiro com o de países desenvolvidos selecionados (Canadá,

Alemanha e Austrália). Para isto, selecionaram-se métricas diretamente ligadas às atividades de P&D&I e à eficiência operacional dos sistemas.

No esteio da dinâmica de P&D&I, a quarta seção contextualiza em termos regulatório-institucionais o setor elétrico no Brasil, explicitando suas motivações para inovar e os processos críticos da sua cadeia produtiva.

A quinta seção mostra as ações institucionais voltadas para P&D&I nas empresas selecionadas, corroborando o fato de que essas não são apenas produtoras de *commodities*, mas, sim, investem em tecnologia e inovação, contribuindo para a formação de um SSI brasileiro. Porém, apesar desses esforços, a análise de indicadores organizacionais e setoriais acusa ainda deficiências no SSI de energia elétrica no Brasil.

A última seção deste artigo resume a pesquisa, retomando a discussão sobre as motivações para inovar, estratégias tecnológicas nas empresas selecionadas, redes de inovação e a contribuição de todos esses elementos para a conformação do SSI de energia. Sem a pretensão de ser singular, o trabalho ainda indica possibilidades de pesquisas futuras nesta temática.

Apesar da tese amplamente aceita de que a economia esteja passando por uma “desindustrialização” ou “especialização reversa”, procura-se destacar o esforço de adensamento tecnológico nos processos da cadeia produtiva das empresas de energia elétrica no Brasil. Essas se tornam também interessantes para o estudo em tela em função de seus investimentos realizados em P&D, os quais totalizaram o valor expressivo de R\$ 2 bilhões entre 2006 e 2011 (POMPERMAYER et al., 2011).

O trabalho se restringe à seleção de empresas de grande porte. Furnas, Eletronorte e Cemig são responsáveis por 22% da geração de energia no País (AGÊNCIA..., 2012a), mas foram selecionadas em razão de seus vultosos investimentos em P&D, os quais somaram R\$ 1 bilhão entre 2006 e 2011 ou 50% do total setorial. Furnas e Eletronorte fazem parte do grupo Eletrobras, que possui um centro de P&D&I cativo, o CEPTEL. A CPFL Energia detém significativo orçamento de P&D&I (cerca de R\$ 33 milhões aplicados ao ano), além de ser a maior distribuidora de energia elétrica privada do Brasil (ASSOCIAÇÃO..., 2010).

2 Estratégias, Redes de P&D&I e Sistemas Setoriais de Inovação

Inovação é a combinação de conhecimentos existentes de forma a se atingir novos resultados (produtos, processos e serviços) ou o uso de conhecimento novo, objetivando a introdução de novidades em empresas e mercados. Segundo o conceito schumpeteriano de inovação, os empresários

inovam para obter lucros, ainda que esses sejam temporários (*windfall gains*). A formulação das vantagens competitivas de Porter (1980) estende a normativa schumpeteriana ao afirmar que os empresários inovam para obter vantagens competitivas de custo e diferenciação. A obtenção de vantagens competitivas no nível corporativo depende da implantação das respectivas estratégias competitivas nas cadeias de valor, consideradas também como as “estratégias genéricas de Porter”. As estratégias genéricas correspondem à liderança em custo, diferenciação e enfoque. Essas últimas sofreram revisões e extensões conceituais ao longo das duas últimas décadas por vários autores (PRAHALAD; HAMEL, 1997; GHEMAWAT; RIVKIN, 2000; STONEHOUSE; SNOWDON, 2007).

Uma das revisões mais relevantes à escola de Porter refere-se ao fato de que é possível às empresas combinarem suas opções estratégicas, ou seja, uma empresa que busca liderança em custo pode também se diferenciar por meio de produtos, desde que estes possuam atributos superiores aos da concorrência (GHEMAWAT; RIVKIN, 2000). Por exemplo, empresas de *commodities* não conseguem modificar os produtos finais, por isso buscam vantagens competitivas de custo, mas também é possível implementarem estratégias de diferenciação a partir de ativos intangíveis (marcas, patentes e serviços) (SHARP, 1991 apud CARNEIRO; CAVALCANTI; SILVA, 1997).

As opções estratégicas das empresas estão diretamente ligadas ao ambiente competitivo em que elas atuam. Cumpre notar que o ecossistema competitivo não significa apenas a concorrência entre as empresas do mesmo setor, mas é constituído por outras forças (PORTER, 1979), como poder de barganha de consumidores e fornecedores, ameaças de novos entrantes e de produtos substitutos. Essas forças possuem maior intensidade e relevância dependendo do setor em análise e dos contextos econômico, regulatório-institucional e socioambiental.

A incorporação da tecnologia à estratégia corporativa ganhou destaque nas últimas décadas por acadêmicos e empresários (COIMBRA; MOURA; POLO, 2005; SANTOS; PINHO, 2012), sendo considerada força motriz para garantir sobrevivência e operação eficiente nas organizações. As estratégias tecnológicas caminham lado a lado com as estratégias competitivas e compreendem o conjunto de decisões que varia entre a aquisição de tecnologias e o desenvolvimento próprio por meio da P&D. O presente artigo adota a tipologia de Freeman (1982), o qual desdobra as estratégias tecnológicas em seis tipos:

- *Ofensiva*: empresa com estratégia tecnológica ofensiva sempre quer estar à frente dos competidores, procurando antecipar suas ações. Essa empresa investe fortemente em P&D (*research intensive*);

- *Defensiva*: essa empresa não quer correr riscos de ser pioneira. É também considerada *research intensive*, mas não é a primeira a entrar no mercado;
- *Imitativa*: empresa com estratégia imitativa prefere adquirir tecnologia e *know-how* de outras a desenvolver suas próprias tecnologias “core”;
- *Oportunista*: essa empresa monitora o surgimento de novas oportunidades (normalmente oriundas de “lacunas tecnológicas”) para orientar novos desenvolvimentos;
- *Tradicional*: empresa com estratégia tradicional pouco investe em tecnologia por não ver razão para mudar seus produtos e processos;
- *Dependente*: essa empresa gravita em torno das necessidades de seus clientes.

Estratégias competitivas de custo e diferenciação possuem uma relação biunívoca e podem combinar-se matricialmente a qualquer uma das estratégias tecnológicas. Em paralelo, distintas estratégias tecnológicas podem coexistir na mesma organização (FREEMAN, 1982). Por exemplo, empresas podem comprar tecnologia (estratégia imitativa) para serem líderes em custo, ao mesmo tempo que trabalham para a identificação de novas oportunidades de pesquisa tecnológica (estratégia oportunista). Todavia, empresas que pouco investem em tecnologia (estratégia tradicional) não conseguem traçar estratégias de liderança em custo, diferenciação ou enfoque. A adoção de estratégias tecnológicas mais ofensivas, defensivas e oportunistas contribui para a criação de conhecimento novo por meio da intensificação das atividades de P&D&I nas empresas.

As estratégias competitivas e tecnológicas são influenciadas pelo contexto regulatório-institucional, socioeconômico e ambiental, bem como pelos atores envolvidos (empresas, governo, sociedade civil e ICTs) (Figura 1).

Cada vez mais as organizações têm reconhecido a importância de envolver ICTs e fabricantes fornecedores em suas atividades de P&D&I com o objetivo de reduzir *gaps* tecnológicos (AMADEI; TORKOMIAN, 2007; LEMA; QUADROS; SCHMITZ, 2012). Com isto, muitas empresas vêm optando por um modelo de inovação aberta, o qual traz como principais vantagens a redução de custos de desenvolvimento - possibilitada pelas parcerias externas - e a oportunidade de comercialização das tecnologias (CHESBROUGH, 2006). Na inovação aberta, existe a empresa principal (*industry shaper*) em torno da qual gravitam as outras instituições numa relação de interdependência (*non arm length transaction*), pautada pela criação e apropriação de valor (CHESBROUGH, 2006). Essa apropriação de valor significa ganhos para todos os atores envolvidos, por exemplo, o aumento de produtividade para a

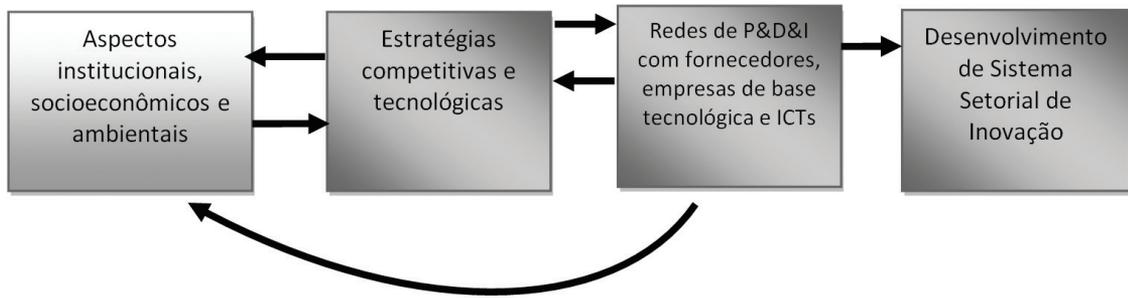


Figura 1. Estratégias, Redes de P&D&I e o SSI. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

empresa, o financiamento de bolsas de mestrado e doutorado para universidades, o aumento da produção técnico-científica e a construção de laboratórios para institutos de pesquisa. Destaca-se também o efeito de transbordamento da inovação para outros setores e segmentos sociais que não estão diretamente envolvidos com as atividades de P&D&I (ORGANIZATION..., 2005).

Assim como as estratégias competitivas e tecnológicas são influenciadas pelos aspectos institucionais, socioeconômicos e ambientais, elas também podem transformá-los, na medida em que tais estratégias têm a capacidade de influenciar os marcos regulatórios e a concorrência. Analogamente, as redes de P&D&I derivadas do modelo de inovação aberta influenciam as estratégias competitivas e tecnológicas das empresas, ajudando na identificação de oportunidades inovadoras e na execução das atividades de P&D&I.

Como resultado, o valor apropriado pelos atores envolvidos nas redes de cooperação e o conhecimento gerado por meio das atividades P&D&I constroem e fortalecem o SSI. As dimensões que compõem um Sistema Setorial de Inovação são o conhecimento, os atores e as redes e instituições (MALERBA, 2003). Os atores e as redes conectam-se por relações de transferência de tecnologia e conhecimento científico, alianças estratégicas entre as empresas e redes formais. A transferência de conhecimento científico e de tecnologia pode acontecer pelos mecanismos de *workshops*, licenciamentos tecnológicos, pesquisa colaborativa, consultorias (DALZIEL, 1994 apud AMADEI; TORKOMIAN, 2007), além de publicações científicas em coautoria entre os atores do SSI.

Além de se referir a dinâmicas setoriais específicas, a abordagem de Sistemas Setoriais de Inovação também enfatiza o papel desempenhado pelas instituições em cada setor (MALERBA, 2003), refletido pela formulação de regras (FURTADO, 2002), assim como o papel da inserção das empresas no comércio internacional (SALLES-FILHO et al., 2012). A ação de determinados tipos de instituições favorece o desenvolvimento de sistemas de inovação

em setores muito mais do que em outros. Essas instituições têm por função precípua a criação de leis, políticas, procedimentos e normas para viabilizarem a interação entre os atores e as redes. Do ponto de vista do comércio internacional, sua relevância para um sistema setorial pode ser mensurada pelas exportações comerciais.

Em termos de resultados trazidos pelos SSIs, esses podem se desdobrar em: a) maior volume de mestres e doutores; b) novos núcleos e centros de pesquisa e laboratórios; c) nascimento de empresas *spin-offs* de base tecnológica; d) constituição de novos fabricantes nacionais; e e) elevação do PIB pelo incremento nas exportações.

3 Metodologia de pesquisa

A pesquisa deste artigo é caracterizada como exploratória, pois objetiva conhecer um fenômeno novo, o qual consiste no estudo da dinâmica de P&D&I nas empresas de energia elétrica, bem como a sua contribuição para a construção de um SSI brasileiro. O fenômeno a ser explorado deriva da seguinte pergunta: “Como se configura a dinâmica de P&D&I das empresas brasileiras de energia elétrica e qual sua contribuição para a construção do SSI de energia elétrica brasileiro?”.

Os procedimentos metodológicos empregados neste trabalho, que ajudam a responder a sua questão norteadora, são:

- **Pesquisa bibliográfica:** uso da literatura científica e análise das ações de P&D&I nas empresas de energia presentes em artigos e apresentações institucionais. Tais ações são materializadas em centros de P&D&I, redes de pesquisa e ações de fomento conjuntas com agências governamentais.
- **Pesquisa documental:** análise de marcos regulatórios das empresas de energia, que remetem a 2000, 2008 e 2012.
- **Construção de indicadores:** formulação e levantamento de indicadores organizacionais e setoriais. No tocante ao primeiro tipo, o

objetivo é analisar os esforços de P&D&I das empresas selecionadas. Quanto ao segundo grupo de indicadores, tenciona-se comparar o desempenho do setor elétrico brasileiro, em termos de investimentos, produção tecnológica e de resultados operacionais, com o de outros países (Canadá, Alemanha e Austrália).

A combinação entre pesquisa bibliográfica e documental é fundamental na caracterização das estratégias usadas pelas empresas e no levantamento de ações institucionais que favorecem a P&D&I em cooperação. O referencial teórico trazido pela pesquisa bibliográfica demonstra que as estratégias competitivas e tecnológicas das empresas, assim como a formação de redes de pesquisa tecnológica, também podem construir e fortalecer os SSIs, pois fomentam a criação e difusão de conhecimento novo.

O estudo do marco regulatório recorre à regulação dos setores de energia (BRASIL, 2000) e às duas últimas edições dos Manuais de P&D da ANEEL (AGÊNCIA..., 2008, 2012c), sendo importante para o entendimento das motivações para as empresas inovarem. Este já está consolidado e a Lei 9991/2000 é o grande norteador dos investimentos em P&D&I no setor.

Por sua vez, a utilização de indicadores consiste na construção de nove métricas de caráter organizacional e setorial que, em conjunto com a apresentação de ações setoriais, ajudam a compreender a interação dos atores e os resultados operacionais do setor elétrico, no contexto da formação do SSI brasileiro.

A primeira métrica, de caráter organizacional, identifica a evolução dos investimentos em P&D&I entre 2006 e 2011 para CPFL, Cemig, Eletronorte e Furnas. A segunda métrica, sendo também de caráter organizacional, contabiliza o número de projetos realizados (encerrados e em andamento) em caráter de cooperação tecnológica com outras instituições, a fim de medir o intercâmbio de conhecimento provocado pelas empresas dentro do sistema setorial.

A terceira métrica compreende o número de depósitos de patentes realizados por essas empresas a partir da base Derwent da Thomson entre 2000 e 2011. As patentes, juntamente com os investimentos em P&D, são os principais indicadores da atividade

inovativa da indústria, de acordo com o Manual de Oslo (ORGANIZATION..., 2005). O Quadro 1 apresenta a estratégia de busca utilizada (palavras-chave) e o número de famílias ou depósitos analisados entre 2000 e 2011 para as empresas selecionadas. A identificação de inventores das patentes com publicações científicas foi feita a partir da consulta ao currículo Lattes e da base *Web of Science*.

A quarta métrica organizacional avalia a titularidade de patentes das empresas da amostra para a identificação da apropriação dos resultados tecnológicos dentro do setor estudado. Por sua vez, a quinta métrica levanta o número de inventores com produção científica, de forma a se mensurar o intercâmbio de conhecimento científico entre os atores do SSI.

A sexta métrica, setorial, corresponde ao total de depósitos de patentes em energias alternativas pelo regime PCT (*Patent Cooperation Treaty*) para Brasil, Canadá, Alemanha e Austrália. Ressalta-se que a escolha da contabilização das patentes depositadas pelo PCT deve-se ao fato de essas invenções patentárias terem alto potencial de se tornarem inovações radicais, uma vez que, quando a instituição titular da patente opta pelo depósito em tal regime, garante reserva de mercado em 148 países pelo período de 30 meses, a contar da data da prioridade (WORLD..., 2013). Neste caso, buscou-se tal indicador na base estatística da OCDE, e em sua formulação levou-se em conta depósitos efetuados para as energias eólica, solar-térmica, fotovoltaica, geotérmica, hidrelétrica e proveniente de marés.

Cumprir justificar a escolha desses países como referencial de comparação, no que tange ao contexto eletro-energético. Além de todos figurarem como países desenvolvidos, o Canadá e a Austrália são os dez maiores produtores de energia primária do mundo, assim como também estão entre os dez maiores consumidores de energia elétrica *per capita* (Quadro 2).

A Alemanha foi selecionada como referencial por ter sólida base de conhecimento gerada e capacidade instalada em energias eólica e solar (ORGANIZATION..., 2013; GLOBAL..., 2013; EUROPEAN..., 2013). Este país possui a terceira maior capacidade instalada em energia eólica do

Quadro 1. Palavras-chave e patentes das empresas selecionadas.

Empresa	Palavras-chave	Patentes (2000-2011)
CPFL	“Companhia Paulista de Força e Luz” ou “Companhia Piratininga de Força e Luz”	14
Cemig	“Cemig” ou “Companhia Energética de Minas Gerais”	37
Eletronorte	“Eletronorte”	32
Furnas	“Furnas”	4

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2. Consumo de energia elétrica e produção de energia primária do Canadá, Alemanha, Austrália e Brasil.

País	Consumo anual de energia elétrica (ano base 2011)		Produção anual de energia primária (ano base 2011)	
	Kwh per capita	Posição no ranking mundial	Kilotonelada (kt) equivalente de petróleo	Posição no ranking mundial
Canadá	16.405,7	3 ^a .	409.028,9	5 ^a .
Alemanha	7.080,9	27 ^a .	124.194,1	23 ^a .
Austrália	10.719,9	10 ^a .	296.725,8	8 ^a .
Brasil	2.437,96	83 ^a .	249.200,7	10 ^a .

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados extraídos do World Bank (2013).

mundo (31.308 MW) e a primeira em energia solar (32.411 MW). Em se tratando de conhecimento, a Alemanha acumula a maior parcela do total de patentes mundiais depositadas via PCT em energia eólica (21%) e é o segundo maior depositante de patentes em energia solar, com 13% do volume global (ORGANIZATION..., 2013).

A sétima métrica, de tipologia setorial, refere-se à evolução dos investimentos em P&D&I do setor elétrico do Brasil, Canadá, Alemanha e Austrália. A oitava métrica é a evolução do percentual de perdas de energia no sistema elétrico, as quais encerram as técnicas e comerciais. As técnicas dizem respeito às perdas de energia que acontecem nas redes devido ao aquecimento das linhas e equipamentos de transmissão e distribuição. As perdas comerciais advêm das fraudes no sistema de distribuição, sendo popularmente conhecidas como “gatos”. Por fim, a nona métrica refere-se à evolução nas tarifas de energia. As duas últimas métricas, embora não tenham relação direta com as atividades de P&D&I, referem-se ao desempenho operacional do sistema de energia, podendo ser impactadas pela inovação tecnológica.

4 Dinâmica de P&D&I: motivações para inovar, estratégias e a cadeia produtiva setorial

Do ponto de vista institucional, os investimentos em P&D nas empresas de energia elétrica são primordialmente impulsionados pelo marco regulatório da ANEEL, o qual obriga cada empresa de energia elétrica a investir entre 0,2% (distribuidoras) e 0,4% (transmissoras e geradoras) de sua Receita Operacional Líquida (ROL) em projetos de P&D, por meio da Lei 9.991/2000 (BRASIL, 2000). O marco regulatório proposto objetiva forçar as empresas de energia a desenvolverem novas tecnologias juntamente com fornecedores, empresas de base tecnológica e ICTs nacionais.

Historicamente, o setor de energia elétrica se constitui em um importador líquido de sistemas e equipamentos de fornecedores estrangeiros, indo no sentido contrário ao desenvolvimento de conhecimento novo no País e à geração de capacidades tecnológicas

internas (FURTADO, 2010). Assim, a Lei 9.991/2000 veio para tentar reverter este quadro (AGÊNCIA..., 2008, 2012c), visando à criação de um Sistema Setorial de Inovação por meio do Programa de P&D ANEEL. Ademais, o marco legal estabeleceu o Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), para o qual as empresas de geração, transmissão e distribuição contribuem com valores percentuais da ROL, variando de 0,75% a 1%. Os recursos deste Fundo direcionaram-se preferencialmente a projetos de P&D&I nas ICTs. Ou seja, antes da Lei os investimentos em P&D&I não eram obrigatórios em razão da remuneração mínima do custo de capital garantida pela ANEEL às empresas (custo de capital regulatório), bem como da relativa falta de competição no setor, cuja estrutura é monopólicia. O setor eletro-energético é constituído a partir de monopólios naturais, baixo grau de competição e *players* com atuação local (FURTADO, 2010). O monopólio natural deve-se à escala e aos volumes de investimento exigidos para geração, transporte e distribuição de energia. Note-se que o sistema eletroenergético é interligado e o transporte de energia precisa enfrentar longas distâncias com o mínimo de perdas na rede, o que justifica volume e escala de investimentos.

Cabe mencionar que, para consumidores com demanda mínima de energia elétrica 0,5 Megawatts, a escolha da empresa fornecedora de energia e das condições de contratação é livre. Assim, a estrutura de mercado não se caracteriza como indutora de inovações, demandando um arcabouço legal gerador de investimentos em P&D&I pelas empresas de energia elétrica no território nacional.

A relativa falta de competição setorial não significa que as empresas de energia elétrica estejam alijadas do ambiente competitivo como proposto por Porter (1979). Conforme mencionado, o ecossistema competitivo é formado por diversas forças que não somente a concorrência entre as empresas do mesmo setor ou a ameaça de novos entrantes ou substitutos (PORTER, 1979). Embora não existam essas forças competitivas no setor elétrico, o poder de barganha de consumidores é uma força intensificada pela ação regulatória da ANEEL, impactando, portanto, na disposição das empresas a inovar.

A despeito da obrigatoriedade prevista em Lei, também existem aspectos socioeconômicos motivadores da alocação dos investimentos em P&D&I pelas empresas de energia:

- aumento da eficiência operacional em processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, explicitada, por exemplo, por meio da mitigação de perdas técnicas e comerciais de energia;
- modicidade tarifária expressa na redução dos preços da energia ao consumidor final, conforme previsto no marco regulatório do setor elétrico (AGÊNCIA..., 2008, 2012c);
- possibilidade de auferição de *royalties* com a comercialização de tecnologias geradas a partir do Programa de P&D ANEEL (AGÊNCIA..., 2008, 2012c).

Até a promulgação da Lei 9.991/2000 (BRASIL, 2000), os investimentos do setor em inovação eram residuais e estavam pulverizados em algumas universidades e poucos centros de pesquisa, como o CEPEL. Com a criação da Lei 9.991, a elevação do volume de recursos investidos intensificou a participação das ICTs brasileiras no processo de inovação no setor elétrico, bem como impulsionou a criação de fornecedores nacionais e empresas de base tecnológica (PFITZNER; QUADROS, 2011). De acordo com o novo marco regulatório, as empresas de energia elétrica são obrigadas pelo órgão regulador a definirem planos estratégicos de P&D&I quinquenais (AGÊNCIA..., 2008, 2012c), os quais devem prever valores de investimentos, temas e subtemas de pesquisa.

A obrigação legal dos planos de P&D&I contribui para que as empresas adotem estratégias tecnológicas oportunistas (lembrando que pode haver combinação de estratégias tecnológicas em uma mesma organização), pois a construção de tais planos exige esforços corporativos de identificação e prospecção de oportunidades tecnológicas originais, ou seja, ainda indisponíveis no mercado. Cabe ressaltar ainda que a originalidade é um dos critérios eliminatórios de avaliação de projetos de P&D pela ANEEL, além da aplicabilidade, relevância e razoabilidade de custos. A comprovação da originalidade depende de a empresa realizar buscas de anterioridade para demonstrar que o resultado previsto pelo projeto de P&D não está compreendido no estado da arte. A aplicabilidade, por seu turno, refere-se à funcionalidade e à abrangência da invenção (área, segmento, classe e número de consumidores). A relevância compreende os impactos do projeto em termos científicos, tecnológicos e econômicos e, por fim, a razoabilidade de custos é um critério que analisa o retorno financeiro trazido pelo projeto por meio do cálculo do valor presente líquido.

O cumprimento destes critérios perante a ANEEL é mandatório para as empresas terem seus projetos aprovados, sob risco de glosa ou multa. De acordo com o marco regulatório de 2008, ratificado em 2012, os projetos de P&D são avaliados pela ANEEL segundo esses critérios de qualidade somente após sua execução (*ex-post*). A necessidade de satisfazer tais critérios também reforça o fato de que as empresas de energia tendem a adotar estratégias tecnológicas mais oportunistas.

Em se tratando da cadeia produtiva, o setor elétrico é constituído pelos processos de geração, transmissão, distribuição e comercialização.

Na geração hidrelétrica, a queda da água gera a energia mecânica; quando a água passa pelas turbinas geradoras, a energia mecânica é transformada em elétrica. No processo de geração termelétrica, a queima de combustíveis fósseis transforma a água em vapor por meio do aquecimento da caldeira. Este vapor é utilizado para girar a turbina e acionar o gerador elétrico. Alternativamente, pode-se prescindir dos combustíveis fósseis e substituí-los pelo bagaço da cana-de-açúcar para produzir o vapor nas usinas térmicas (BERNARDES, 2012).

A transmissão de energia acontece com o transporte desta do gerador para um transformador que eleva seus níveis de tensão (69/88/138/240/440 kV). Os cabos elétricos transportam-na em corrente alternada (60 Hz) até as subestações abaixadoras, permitindo que esta energia seja distribuída para os centros de consumo pelas redes de distribuição (11,9 Kv/ 13,8 Kv/23 Kv) (COMISSÃO..., 2005).

Em cada um dos processos da cadeia produtiva da energia elétrica existem subprocessos críticos, sendo que nestes ocorre a inovação tecnológica do tipo *demand pull*. Uma vez que o setor de energia é caracterizado por vultosos investimentos em usinas e equipamentos, as inovações tecnológicas tendem a ser de caráter incremental, pois os altos custos afundados (*sunk costs*) oferecem resistência à mudança nas trajetórias tecnológicas previamente escolhidas (*path dependence*). Pompermyer et al. (2011) afirmam que as inovações tecnológicas ligadas à geração de energia por meio de combustíveis fósseis têm caráter incremental. Para Dooley (2010), as pesquisas básicas em fusão e fissão nuclear realizadas entre as décadas de 1960 e 1980 nos EUA trouxeram avanços significativos em geração de energia ao longo do século XX, indicando alta capacidade inovadora no setor elétrico.

Na geração de energia, observam-se como subprocessos críticos a manutenção e operação de equipamentos, como as turbinas, geradores, transformadores, capacitores, chaves, sistemas de medição, dentre outros (COMISSÃO..., 2005). O desenvolvimento da construção civil de grande porte por meio de concretos mais resistentes para as

barragens também faz parte da agenda de inovação tecnológica das empresas geradoras de energia, especialmente no Brasil, demonstrando o uso de estratégias de diferenciação. Furnas, por exemplo, mantém um laboratório dedicado à pesquisa do concreto em Goiânia (FURNAS, 2011).

Além disto, destaca-se na geração de energia a inserção da sustentabilidade socioambiental na construção e operação dessas usinas, objetivando a redução da queima de combustíveis fósseis e dos impactos ambientais provocados nos biomas (AALBERS; SHESTALOVA; KOCKSIS, 2012).

Especificamente no Brasil, as inovações tecnológicas ocorrem no contexto da geração hidrelétrica, posto que três quartos da matriz energética devem-se à hidroeletricidade (POMPERMAYER et al., 2011). Assim, a queima de combustíveis fósseis não é tão relevante quanto em outros países. Antes, os impactos ambientais provocados pelo alagamento na construção de usinas hidrelétricas tem sido fonte de controvérsias de cunho ambiental, como no caso da usina de Belo Monte, e deu origem ao conceito de usina-plataforma. Esta usina, desenvolvida pelas empresas geradoras do sistema Eletrobras, assemelha-se à plataforma de exploração de petróleo em alto mar. Ela é cercada de floresta por todos os lados e durante a construção há revezamento de turnos entre os trabalhadores, sem necessidade de canteiros de obras (ELETROBRAS, 2013).

Da transmissão, fazem parte as subestações, torres, os transformadores de potência, isoladores, chaves, seccionadores de manobra e cabos condutores, tornando-se críticos os subprocessos de operação, proteção e manutenção desses equipamentos (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

Nas redes de distribuição, a operação, manutenção e proteção compreendem os equipamentos de distribuição (postes, capacitores, isoladores, cruzetas e cabos). Esses equipamentos levam a energia para as casas e indústrias em voltagens distintas, sendo que ela é aferida por medidores mecânicos, eletrônicos ou eletromecânicos.

As redes inteligentes (*Smart Grids*) nada mais são do que sistemas de operação em tempo real, permitindo a comunicação bidirecional entre clientes e empresas de energia com a utilização de medidores. Além disto, as redes inteligentes, por meio de tecnologias digitais, permitem o controle da demanda de energia em momentos de pico de carga e a conexão com veículos elétricos. As redes inteligentes envolvem geração, transmissão e distribuição e compreendem modelos de negócios mais flexíveis, pois: a) oferecem a possibilidade de os consumidores obterem tarifas diferenciadas dependendo do horário de consumo; e b) permitem a acomodação entre usinas e *sites* de geração distribuída no sistema elétrico (INTERNATIONAL..., 2011).

A geração distribuída dá espaço para que cada unidade consumidora se torne também produtora de energia, criando *sites* dispersos de geração. Esses *microsites* de energia não apenas podem produzir para consumir, mas também são elegíveis a vender e injetar energia na rede. Com a realidade da geração distribuída, as empresas de energia elétrica enfrentam o desafio de pensarem em novos modelos de negócios para “comportarem” os vários concorrentes em potencial em seus sistemas de distribuição. A geração distribuída poderá causar uma mudança estrutural no setor elétrico – o que também evidencia sua capacidade inovadora – pois esta transformará suas características consolidadas. Em outras palavras, o setor elétrico, que é caracterizado por larga escala e alto nível de investimentos (*sunk costs*), tornar-se-á de baixa escala e requererá baixo nível de investimentos para os novos entrantes no sistema de distribuição. As recentes transformações na cadeia de fornecimento de energia proporcionadas pela geração distribuída e microgeração estão obrigando as empresas de energia a pensarem novas oportunidades de negócio, o que é um reforço para a adoção de estratégias tecnológicas oportunistas e competitivas de diferenciação. Com o desenvolvimento de tecnologias para microgeração, será possível que os consumidores, atualmente cativos das empresas distribuidoras, produzam energia para consumo próprio a partir de fontes alternativas.

A comercialização de energia significa a venda de energia em varejo e atacado, sendo um subprocesso transversal, que ocorre na geração, transmissão e distribuição de energia ao consumidor final. Nela, atuam bolsas de energia, nas quais são feitas compra e venda de eletricidade no curto e longo prazos. No Brasil, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é o mediador de natureza privada que realiza leilões, compensação e liquidação financeira, tanto em ambientes de contratação livre quanto em ambientes regulados (CÂMARA...; EUROPEAN...; EUROPEAN..., 2012).

5 Análise de indicadores e ações institucionais em P&D&I

Dadas suas distintas motivações para inovar, a configuração da cadeia produtiva e das estratégias, apresentam-se algumas evidências de que as empresas de energia elétrica são tecnologicamente complexas. A Tabela 1 mostra a evolução dos investimentos em P&D das empresas da amostra entre 2006 e 2011 (primeira métrica).

De maneira geral, as empresas experimentaram crescimento de seus investimentos neste período, porém, a análise dos dados merece algumas ressalvas. Muitas empresas de energia elétrica ainda enxergam os investimentos da “P&D ANEEL” como uma obrigação e não como uma oportunidade de negócio,

Tabela 1. Evolução dos investimentos em P&D para as empresas selecionadas (em R\$ milhões).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2006-2011
Cemig	26	24	N.D*	79,8	106	160	396
Furnas	14	67	11	120	153	50	415
Eletronorte	90	34	38	34	36	40	272
CPFL	N.D	N.D	17	27	34	57	135

* N.D: Não disponível. **Fonte:** Elaborado pelos autores, com base nos dados dos relatórios financeiros e administrativos das empresas, vários anos.

fazendo com que elas nem sempre invistam de maneira eficiente seus recursos (MAISONNAVE; ROCHA PINTO, 2008 apud FERNANDINO; OLIVEIRA, 2010). Apesar disso, desde a criação da Lei 9.991, o setor elétrico brasileiro tentou construir um modelo de inovação aberta, no qual as atividades de P&D&I passaram a ser essencialmente executadas por parceiros externos sob a coordenação da empresa de energia (*industry shaper*). Fernandino e Oliveira (2010) e Brittes, Bombassaro e Dias (2005) mencionam especificamente o caso da CPFL, que constituiu a rede Webtech, caracterizada por relacionamentos contratuais de longo prazo com ICTs e empresas de base tecnológica.

Avaliaram-se 704 projetos de P&D&I, assim distribuídos (segunda métrica): Furnas (84), Cemig (291), Eletronorte (145) e CPFL (183), sendo que apenas 20 destes (2,8%) foram executados sem cooperação externa. A análise dos dados dos projetos de P&D&I de 2000 a 2011 aponta que as empresas do setor elétrico concentram a maioria de seus investimentos em P&D&I em algumas ICTs (universidades), quase sempre localizadas em sua área de concessão, com quem são estabelecidas relações de cooperação tecnológica de longo prazo (superiores a 5 anos). As principais instituições parceiras da Cemig são a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com participação em 111 e 28 projetos, respectivamente. No caso da CPFL, seus maiores parceiros de P&D&I são a Universidade Estadual de Campinas (47 projetos) e a Universidade de São Paulo (43 projetos). A Universidade Federal do Pará (UFPA) e a Federal do Maranhão (UFMA) são as principais instituições parceiras da Eletronorte, com 40 e 15 projetos de P&D&I. Furnas concentra sua carteira de projetos de P&D&I na UFRJ (19 projetos) e na UFMG (12 projetos).

Apesar de as ICTs serem as principais parceiras de pesquisa, todas as empresas de energia elétrica incluem fabricantes fornecedores e empresas de base tecnológica nos projetos de P&D&I. Via de regra, estes atores participam da P&D em suas fases de desenvolvimento experimental e lote piloto, pois são os responsáveis pela transformação do conhecimento acadêmico em produtos com aplicação

no mercado. Embora o CEPEL seja o centro de P&D cativo de Furnas e Eletronorte, contabilizou-se que essas empresas têm apenas 5 projetos com o centro, demonstrando que a participação de parceiros externos ao Sistema Eletrobras é mais significativa no âmbito do Programa de P&D ANEEL. O CEPEL existe há cerca de 30 anos e até a promulgação da Lei 9.921/2000 concentrava os recursos e as atividades de P&D do Sistema Eletrobras. Durante este período as empresas do Sistema coordenavam de maneira autônoma suas atividades de P&D. No entanto, desde o início de 2012, o CEPEL passou a assumir a gestão das atividades de P&D&I de todas as empresas da Eletrobras (CENTRO..., 2012), com isto, espera-se que a cooperação entre Eletronorte, Furnas e o centro se intensifique nos próximos anos.

Além da formação de redes de cooperação entre esses diversos atores, desde 2008, a ANEEL vem articulando ações institucionais de parceria entre as várias empresas de energia, reforçando a construção do SSI. O órgão regulador faz chamadas periódicas para a execução de projetos temáticos de P&D entre as empresas de energia, sendo que estes estão ligados a temas de interesse para todo o setor elétrico, como aplicações de novas tecnologias para sistemas de transmissão, metodologias de estrutura tarifária para o setor, impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas e inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética (AGÊNCIA..., 2012b).

As ações institucionais do setor de energia mostram a preocupação das empresas com P&D&I para crescimento e sobrevivência dos negócios. Todavia, essas ações são recentes e destoam da análise de indicadores de patentes depositadas entre 2000 e 2011 (terceira métrica). Os depósitos de patentes foram agrupados em dois quinquênios na Tabela 2 e mostram uma redução no segundo quinquênio (2006-2011) em relação ao primeiro (2000-2005). Com isto, conclui-se que houve uma queda na produção tecnológica (patentes) dessas empresas, apesar do crescimento dos investimentos em P&D&I. Este descompasso pode indicar que:

- Os investimentos em P&D&I não estão gerando resultados patenteáveis.

- Os projetos de P&D&I estão sendo executados em prazos mais longos, retardando o patenteamento dos resultados finais.
- As empresas têm optado por outras formas de proteção como o segredo industrial.

Em paralelo, a análise dos depósitos em cotitularidade (Tabela 3) (quarta métrica) permite depreender que, proporcionalmente, a CPFL é a empresa que mais deposita patentes em cotitularidade (13 patentes em cotitularidade de um total de 14 depósitos). Furnas e Eletronorte não depositam patentes com seus parceiros de pesquisa. A Cemig possui três depósitos em cotitularidade, efetuados entre 2006 e 2011. Apesar da realização de projetos em cooperação, as empresas do setor de energia se apropriam quase integralmente de seus resultados, o que remete a uma agressiva política de propriedade intelectual.

A análise do número de inventores com publicações científicas (quinta métrica) não apenas reflete a atividade científica dos setores estudados, como também mede o intercâmbio de conhecimento científico entre seus atores. Avaliaram-se 684 inventores de patentes das empresas selecionadas, concluindo-se que, proporcionalmente, a CPFL possui o maior número de inventores com publicações científicas, todas realizadas em coautoria (Tabela 4). Com isto, extraem-se indícios de que entre as empresas

desse setor e outras instituições nacionais ainda ocorre inexpressiva transferência do conhecimento científico.

Com respeito aos indicadores setoriais, a análise do total de patentes em fontes alternativas de energia entre 2006 e 2011 (sexta métrica), demonstra liderança da Alemanha (2868 patentes), a qual é seguida pelo Canadá (464 patentes), Austrália (313 patentes) e Brasil (119 patentes). É importante destacar que, na Alemanha e Austrália, as matrizes energéticas da eletricidade são predominantemente baseadas em carvão (BUNDESVERBAND..., 2013a; ORIGIN ENERGY, 2014). No Brasil, a matriz energética é regida pela hidroeletricidade, como no Canadá (CANADIAN..., 2012), e mesmo assim, a produção de patentes do Brasil não consegue acompanhar a dos outros países neste domínio tecnológico.

A despeito de o Brasil não possuir muitas patentes de potencial inovador, os investimentos em P&D cresceram a uma taxa composta anual de 22% entre 2006 e 2011, pois acompanharam a variação positiva na receita operacional das empresas de energia elétrica (sétima métrica). Este indicador expõe que a Alemanha encabeça o volume de recursos investidos em P&D para energia elétrica (exclusive de fonte nuclear), sendo seguida, respectivamente, por Canadá, Brasil e Austrália (Tabela 5).

A análise comparada nas perdas de energia (oitava métrica) mostra que houve redução nas perdas totais de

Tabela 2. Evolução dos depósitos de patentes para os quinquênios 2000-2005 e 2006-2011.

	2000-2005	2006-2011	Total (2000-2011)
CPFL	7	7	14
Cemig	29	8	37
Eletronorte	2	30	32
Furnas	3	1	4

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3. Depósitos efetuados em cotitularidade para os quinquênios 2000-2005 e 2006-2011.

	2000-2005	2006-2011	Total (2000-2011)
CPFL	6	7	3
Cemig	0	3	0
Eletronorte	0	0	0
Furnas	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4. Volume de inventores de patentes com publicações científicas em autoria individual e coautoria (2000-2011).

Inventores	Com Publicação		Sem Publicação	Total
	Autoria individual	Coautoria		
CPFL	0	39	9	48
Cemig	1	13	65	79
Eletronorte	0	9	29	38
Furnas	0	2	7	9

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5. Evolução dos recursos investidos em P&D em energia elétrica (US\$ milhões de 2012).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total acumulado
Canadá	186	152	207	307	321	370	1.543
Alemanha	303	307	329	330	342	427	2.038
Austrália	199	23	225	139	142	236	964
Brasil	155	144	9	118	252	300	978

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados extraídos de OCDE (2014) e Pompermayer et al. (2011).

Tabela 6. Evolução dos percentuais de perdas nos sistemas elétricos (2006-2011).

	2006 (%)	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)
Canadá	8	8	10	11	4	5
Alemanha	5	5	5	4	5	4
Austrália	7	6	6	6	6	5
Brasil	17	16	17	17	17	16

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados extraídos do World Bank (2013).

Tabela 7. Evolução da tarifa de energia elétrica residencial nos países selecionados (US\$/Mwh, a preços de 2006).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Canadá	61	60	61	68	69	79
Alemanha	254	270	283	304	305	330
Austrália	42	41	35	31	24	23
Brasil	141	140	132	137	141	152

Fonte: Elaborado pelos autores. Dados extraídos da EPE (EMPRESA..., 2011b, 2012), AEMO (AUSTRALIAN..., 2013), Ontario Energy Board (2013) e BDEW (BUNDESVERBAND..., 2013b).

energia nos sistemas elétricos da Alemanha, Canadá e Austrália. O Brasil é o único país que vem mantendo suas perdas de energia em patamares acima de dez pontos percentuais (Tabela 6).

Em todos os países avaliados, houve aumento na tarifa de energia elétrica (nona métrica) (Tabela 7), portanto, para o período entre 2006 e 2011 não há qualquer indício de correlação entre aumento nos investimentos em inovação tecnológica e mitigação das tarifas de energia elétrica.

Comparativamente, os dois últimos indicadores de desempenho operacional exibem que o Canadá e a Austrália aumentaram suas tarifas residenciais para o consumidor final, porém mitigaram as perdas de energia no sistema. A Alemanha e o Brasil, países com as maiores tarifas residenciais, além de elevarem os preços da eletricidade para o período analisado, não conseguiram reduzir as perdas totais de energia elétrica em seus sistemas. Porém, no caso brasileiro, as perdas passam de dez pontos percentuais. Resumindo, os esforços de P&D&I pouco se refletiram no desempenho operacional do sistema elétrico brasileiro e em sua produção tecnológica, *vis-à-vis* os demais países.

6 Considerações finais

Os SSIs são formados por conhecimento, atores e redes e instituições. A construção de um sistema setorial depende da dinâmica de P&D&I das

organizações, que, por sua vez, é constituída por motivações para inovar, estratégias organizacionais e cadeia produtiva setorial. Não obstante, a própria caracterização da dinâmica aqui realizada mostra evidências da complexidade tecnológica do setor elétrico.

Nesse setor, o peso da dimensão regulatório-institucional fortalece as atividades de P&D&I entre as empresas. De fato, a garantia mínima de retorno sobre o investimento dada pela ANEEL (chamado custo de capital regulatório) e a relativa falta de competição são fatores que não estimulam a inovação enquanto um “processo natural”. No entanto, a ANEEL pode ser considerada uma instituição que favorece o fortalecimento do SSI de energia elétrica. O marco legal promovido pelo órgão regulador em 2000 contribuiu para formar redes de pesquisa com fabricantes fornecedores, empresas de base tecnológica e ICTs por meio de projetos de P&D&I em cooperação, criando um modelo de inovação aberta. Em paralelo, os projetos estratégicos emulados pela ANEEL favorecem um ambiente propício à parceria e formação de redes entre as empresas de energia.

A necessidade de as empresas formularem e apresentarem planos estratégicos de P&D&I unida aos critérios de qualidade impostos pela ANEEL (originalidade, aplicabilidade, relevância e razoabilidade de custos) impulsiona a adoção de estratégias tecnológicas oportunistas. Isso também

- BRITTES, J. L. P.; BOMBASSARO, P. R.; DIAS, M. C. Webtec de parceiros para P&D: uma proposta de modelo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 18., 2005, Curitiba.
- BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. - BDEW. **Entwicklung in der deutschen Strom- und Gaswirtschaft 2012:** BDEW-Presskonferenz. Berlin, 2013a. Disponível em: <[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/65D793F9C998D687C1257AEF0035191F/\\$file/Entwicklungen%20der%20deutschen%20Strom-%20und%20Gaswirtschaft_Stand_28012013.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/65D793F9C998D687C1257AEF0035191F/$file/Entwicklungen%20der%20deutschen%20Strom-%20und%20Gaswirtschaft_Stand_28012013.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2013.
- BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. - BDEW. **BDEW-Strompreisanalyse Mai 2013:** haushalte und industrie. Berlin, 2013b. Disponível em: <[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/\\$file/13%2005%2027%20BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/$file/13%2005%2027%20BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2013.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE; EUROPEAN POWER EXCHANGE - EPEX; EUROPEAN COMMODITY CLEARING - ECC. **Construindo um mercado inteligente de energia elétrica no Brasil.** São Paulo, 2012. (White Paper). Disponível em: <http://www.ccee.org.br/cs/idcplg?IdcService=GET_FILE&dID=78845&dDocName=CCEE_069924&allowInterrupt=1>. Acesso em: 22 set. 2012.
- CANADIAN ELECTRICITY ASSOCIATION - CEA. **Canada's electricity industry.** Canada, 2012. Disponível em: <<http://www.electricity.ca/media/Electricity%20101.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.
- CARNEIRO, J. M. T.; CAVALCANTI, M. A. F. D.; SILVA, J. F. Porter revisitado: análise crítica da tipologia estratégica do mestre. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 1, n. 3, p. 7-30, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65551997000300002>
- CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Ampliando o papel do CEPEL para as empresas Eletrobras.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.cepel.br/cepel_noticias/noticia.php?id=399>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Materiais avançados 2010-2022.** Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.ipen.br/biblioteca/2010/16640.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2012.
- CHESBROUGH, H. **Open innovation:** researching a new paradigm. New York: Oxford University Press, 2006.
- COIMBRA, F. C.; MOURA, G. L.; POLO, E. F. O papel da tecnologia na estratégia: o caso de uma operadora de telefonia fixa e a tecnologia VoIP. **Revista de Administração e Inovação**, v. 2, n. 2, p. 98-109, 2005.
- COMISSÃO TRIPARTITE PERMANENTE DE NEGOCIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO NO ESTADO DE SÃO PAULO - CPNSP. **Norma regulamentadora nº 10:** segurança em instalações e serviços em eletricidade. CPNSP, 2005. Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/cedc7a_0bc9dc189a71bea36d0d4cc44aea93730.pdf?dn=NR-10-resumida.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2013.
- DOOLEY, J. J. U. S. **Federal investments in energy R&D:** 1961-2008. Oak Ridge: U.S. Department of Energy, 2010.
- ELETROBRAS. **Usinas-plataforma.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/ELB/natrilhadaenergia/meio-ambiente-e-energia/main.asp?View=%7BC93EAB45-F64F-42C5-8E52-C30EF9341BBE%7D>>. Acesso em: 15 jul. 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço energético nacional 2011.** Rio de Janeiro, 2011a.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2011.** Rio de Janeiro, 2011b.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2011.** Rio de Janeiro, 2012.
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION - EPIA. **Global market outlook for photovoltaics 2013-2017.** Brussels, 2013. Disponível em: <http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2013.
- FERNANDINO, J. A.; OLIVEIRA, J. L. Arquiteturas organizacionais para a área de P&D em empresas do setor elétrico brasileiro. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 14, n. 6, p. 1073-1093, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65552010000700006>
- FREEMAN, C. **The economics of industrial innovation.** London: Frances Pinter, 1982.
- FURNAS. Tecnologia de ponta suporta construção civil de grande porte. **Revista Apoena**, n. 4, p. 6-13, 2011.
- FURTADO, A. T. Mudança institucional e inovação na indústria brasileira de petróleo. **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, n. 1, 2002.
- FURTADO, A. T. **O sistema setorial de inovação do setor elétrico brasileiro e o CTEng.** Campinas: UNICAMP, 2010.
- GHEMAWAT, P.; RIVKIN, J. W. Criando vantagem competitiva. In: GHEMAWAT, P. **A estratégia e o cenário dos negócios:** texto e casos. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC. **Annual market update 2012.** Brussels, 2013. (Global Wind Report). Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_LowRes.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Technology roadmap:** smart grids. Paris: OECD, 2011.
- LEMA, R.; QUADROS, R.; SCHMITZ, H. **Innovation in the Brazilian auto and Indian software industry:** insights into the organisation of knowledge creating activities in global value chains. Brighton: Institute of Development Studies, 2012. (IDS Research Report, n. 73).
- MALERBA, F. Sectoral systems and innovation and technology policy. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 2, p. 329-375, 2003.
- ONTARIO ENERGY BOARD - OEB. **Electricity prices.** 2013. Ontario. Disponível em: <<http://www.ontarioenergyboard.ca/OEB/Consumers/Electricity/Electricity+Prices#tous>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data**. 3. ed. Paris: OECD, 2005.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. OECD.StatExtracts. Paris. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/#>>. Acesso em: 15 ago. 2014.
- ORIGIN ENERGY. **A-Z of Australia's energy sources**. Disponível em: <<http://www.originenergy.com.au/energymix>>. Acesso em: 13 fev. 2014.
- PFITZNER, M. S.; QUADROS, R. R&D portfolio management: the case study of a big energy company in Brazil. In: PORTLAND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2011, Portland. **Proceedings...**
- POMPERMAYER, F. M. et al. Rede de pesquisa formada pelo programa de P&D regulado pela ANEEL.: abrangência e características. In: POMPERMAYER, F. M.; DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R (Orgs.). **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa de P&D regulado pela ANEEL**. Brasília: IPEA, 2011. p. 55-87.
- PORTER, M. **How competitive forces shape strategy**. Boston: Harvard Business School Press, 1979. p. 1-10. (Harvard Business Review).
- PORTER, M. **Competitive strategy: techniques for analysing industries and competitors**. New York: Free Press, 1980.
- PRAHALAD, C. K.; HAMEL, G. The core competence of the corporation. In: FOSS, N. (Ed.). **Resources, firms and strategies**. New York: Oxford University Press, 1997.
- SALLES-FILHO, S.; GIANONI, C.; JEANNE, P. **Guía metodológica para el diagnóstico de sistemas nacionales de innovación agroalimentaria en América Latina y Caribe**. San José: IICA, 2012.
- SANTOS, M. C. B. G.; PINHO, M. Estratégias tecnológicas em transformação: um estudo da indústria farmacêutica brasileira. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 2, p. 405-418, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2012000200013>
- STONEHOUSE, G.; SNOWDON, B. Competitive advantage revisited: Michael Porter on strategy and competitiveness. **Journal of Management Inquiry**, v. 16, n. 3, p. 256-273, 2007. <http://dx.doi.org/10.1177/1056492607306333>
- WORLD BANK. **The World Bank Data**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/>>. Acesso em: 15 fev. 2013.
- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION - WIPO. **PCT: Sistema Internacional de Patentes**. Geneva. Disponível em: <<http://www.wipo.int/pct/pt/>> Acesso em: 12 maio 2013.