

# **A capacidade de adoção das inovações energéticas em Portugal: Evidência histórica e perspectivas para o futuro**

## **Sumário**

Esta investigação procura avaliar a performance de um país tradicionalmente importador de tecnologia, Portugal, em termos da velocidade de difusão e do desfasamento da adoção de tecnologias da energia relativamente a países de origem da inovação. Foram recolhidos dados sobre o crescimento de oito tecnologias, incluindo inovações do lado da produção (e.g. centrais elétricas a gás ou a carvão, eólicas) e do uso final (e.g. automóveis, motociclos) de energia. A análise é feita em termos da evolução do número de unidades e de capacidade instalada equivalente, evidenciando eventuais efeitos de escala. Os resultados sugerem um desfasamento médio na adoção de uma a duas décadas relativamente aos países do centro. Porém, o ritmo de difusão aumenta quando a inovação chega a Portugal, o que confirma a hipótese segundo a qual a difusão acelera quando a tecnologia atinge novos mercados. Os dados mostram ainda o sucesso da energia eólica, a qual se difundiu aqui com menos de uma década de atraso face aos países do centro e com uma intensidade final semelhante. Isto demonstra não só o êxito do respectivo sistema de inovação, como aponta para uma melhoria na capacidade de adoção ao longo dos últimos anos.

## ***The adoption capacity of energy innovations in Portugal: Historical evidence and perspectives for the future***

### ***Abstract***

*This research aims to evaluate the performance of a traditionally technology importing country, Portugal, in terms of technology diffusion speed and lag of adoption in relation to countries where innovation first started. Data were collected on the growth of eight energy technologies, including innovations in the supply-side (e.g. natural gas or coal power plants, wind turbines) and end-use (e.g., motorcycles). The analysis is done in terms of the evolution of the number of units and installed capacity, indicating any possible scale effects. The results suggest an average lag in adoption of one to two decades for the “core” countries. However, the rate of diffusion increases when innovation arrives at Portugal, which confirms the hypothesis that adoption accelerates when technology reaches new markets. The data also show the success of wind energy, which grew here in less than a decade after the diffusion in the center and with a similar final intensity. This demonstrates not only the success of this innovation system, as points to an improvement in the adoption capacity over the past few years.*

## **1. Introdução**

A transição para uma economia sustentável de baixo carbono passa pela adoção de novas tecnologias renováveis. A experiência histórica revela que a emergência e difusão de tecnologias energéticas é um processo lento e marcado por uma série de barreiras (GRUBLER

et al., 2012; GRUBLER, 2012; FOUQUET, 2012). Uma das razões dessa lentidão prende-se frequentemente com as mudanças institucionais e organizativas necessárias para o desenvolvimento tecnológico (BERGEK et al., 2008; JACOBSSON; BERGEK, 2011). As análises dos padrões internacionais de difusão de inovações revelam uma aceleração do ritmo de crescimento à medida que a tecnologia atinge novas regiões (GRUBLER, 2012, 1998; BENTO, 2013). Uma hipótese explicativa desta regularidade empírica é a existência de efeitos externos (“spillovers”) do desenvolvimento nos países pioneiros, os quais permitem que a inovação se difunda mais rapidamente noutras regiões (JAFFE, 2005). Contudo, o posicionamento de cada país na sequência da difusão espacial depende das condições internas, nomeadamente da capacidade de absorção da tecnologia (COHEN; LEVINTHAL, 1989, 1990).

A imitação e adopção de tecnologia estrangeira é um elemento fundamental na difusão tecnológica internacional e na convergência das economias menos desenvolvidas com os países mais avançados (FAGERBERG; GODINHO, 2008; GODINHO, 1995). A noção de “vantagem do atraso” explica o dinamismo das economias menos avançadas, através do seu maior potencial de crescimento e de inovação relativamente aos países mais desenvolvidos dado partirem de uma base tecnológica inicial mais fraca (GERSCHENKRON, 1962). A diferença tecnológica permite-lhes absorver as últimas inovações desenvolvidas nas economias mais avançadas, sem terem de suportar os elevados custos de desenvolvimento dessas inovações. Verifica-se, de igual modo, que a transição para novos sistemas energéticos tende a levar menos tempo nos países seguidores, que beneficiam da experiência adquirida com a difusão nas zonas pioneiras e de uma tecnologia mais barata (GRUBLER, 2012). Em contraste, os países pioneiros deparam-se com bloqueios na transição em virtude dos investimentos em capital humano e infraestruturas feitos no sistema antigo (UNRUH, 2000).

A situação portuguesa na última metade de século é geralmente caracterizada como sendo típica de uma economia intermédia e “seguidora” das mudanças tecnológicas ocorridas nas economias mais avançadas (GODINHO, 2007; GODINHO; CARAÇA, 1988). Existem alguns estudos que analisam a evolução da capacidade inovadora e institucional recente em Portugal (p.ex. CONCEIÇÃO; HEITOR, 2005; FAGERBERG; GODINHO, 2008). Por um lado, há evidência de convergência (“catching up”) do país relativamente às economias mais avançadas, dado partir de níveis de inovação baixos e revelar forte dinamismo de recuperação em algumas áreas. Por outro lado, o saldo claramente deficitário da balança de pagamentos tecnológicos é indicador do investimento em absorção de tecnologia, o que realça o papel da transferência de tecnologia<sup>1</sup> na convergência com as economias mais avançadas (GODINHO, 1995). Porém, os processos de transferência das inovações e o impacto na difusão tecnológica permanecem ainda pouco conhecidos, particularmente no caso das tecnologias da energia.

Deste modo, importa conhecer qual o ritmo com que essas tecnologias se difundiram historicamente em Portugal e quais os mecanismos presentes nos casos em que essa difusão foi mais rápida. O artigo começa por apresentar o quadro de análise que sistematiza alguns ensinamentos da literatura teórica e empírica sobre a formação de sistemas de inovação e a difusão espacial. Em seguida é comparada a adopção de tecnologias da energia em Portugal

---

<sup>1</sup> Transferência, adopção ou absorção de tecnologia são aqui utilizados com o mesmo significado. Este conceito refere-se ao impacto da inovação no contexto nacional que é susceptível de ser medido em termos quantitativos (unidades ou capacidade equivalente, MW). A forma dessa transferência é importante para o resultado final, mas não é o foco desta investigação.

com a difusão nos países de origem em termos do momento de iniciação, ritmo e escala. Esta abordagem permite não só quantificar a performance inovadora do sector energético, como também lançar a discussão sobre os processos que aceleram a adopção, contribuindo para a formulação de políticas mais eficazes de estímulo à difusão de energias sustentáveis.

## **2. A formação da tecnologia no centro e o processo de difusão espacial: enquadramento teórico**

### **2.1. Determinantes do ritmo de difusão das inovações**

A literatura da inovação e mudança tecnológica identifica um conjunto de factores que condicionam o desempenho das inovações no mercado e são susceptíveis de acelerar ou retardar a taxa de difusão (GRUBLER, 2012, 1998; ROGERS, 1995): a vantagem relativa, o tamanho do mercado potencial, a existência de mercados antecedentes, a complexidade tecnológica e as necessidades de infraestrutura.

A vantagem relativa da tecnologia refere-se à maneira como esta desempenha melhor determinada tarefa, é mais eficiente ou mais barata do que as tecnologias rivais. A taxa de penetração no mercado será, em princípio, tanto mais rápida quanto maior for a vantagem relativa (FOUQUET, 2012). O tamanho do mercado potencial da inovação (escala da difusão) é uma restrição importante da velocidade de difusão na medida em que a penetração de sistemas de maior porte exige mais tempo para a preparação da tecnologia e a organização da produção (WILSON, 2012, 2009; WILSON; GRUBLER, 2011). A existência prévia de um mercado e a natureza da inovação – incremental ou de substituição; radical ou de ruptura - implicam diferentes níveis de incerteza sobre a penetração da tecnologia e, portanto, diferentes ritmos de difusão (FREEMAN; PEREZ, 1988).

A complexidade da tecnologia, ou seja, a medida em que o crescimento da inovação é dependente do desenvolvimento de outras tecnologias, torna mais lento o processo de difusão. É o caso de tecnologias como o computador pessoal (hardware) que necessitam de tecnologias complementares (e.g. software) para fornecer um determinado serviço. Finalmente, as necessidades em termos de infraestrutura podem colocar grandes restrições à introdução e ao crescimento de determinada tecnologia no mercado. Foi o caso de sistemas de transporte como os caminhos-de-ferro ou de energia como o gás natural, que levaram várias décadas para se desenvolver e atingir a dimensão actual (GRUBLER; NAKICENOVIC; VICTOR, 1999).

Os factores acima apresentados influenciam o comportamento das inovações durante todo período de difusão e, nomeadamente, nos momentos iniciais de formação nos países de origem. No ponto seguinte são analisadas em maior pormenor as questões ligadas à formação da tecnologia e à sua difusão espacial.

### **2.2. Fase formativa e mecanismos de difusão espacial**

O desenvolvimento e a adopção de inovações de baixo carbono constitui um meio fundamental para mitigar os efeitos das alterações climáticas. Existem na literatura duas correntes que abordam o papel das fases iniciais na mudança tecnológica. Uma corrente, mais teórica, sobre as funções do sistema de inovação na formação da tecnologia (e.g. BERGEK *et al.*, 2008; HEKKERT *et al.*, 2007; JACOBSSON; LAUBER, 2006), e uma outra, mais

empírica, que estuda as regularidades da difusão, como as teorias sistémicas de alteração tecnológica (e.g. GRUBLER, 1998; WILSON, 2009; WILSON; GRUBLER, 2011a).

A literatura dos sistemas tecnológicos de inovação considera que a invenção, desenvolvimento e difusão tecnológica é um processo interactivo que envolve uma rede de actores, que actuam num ambiente marcado por instituições e políticas que influenciam a tecnologia (JACOBSSON; BERGEK, 2011). Nesta perspectiva, o sucesso na emergência de uma nova tecnologia depende do modo como o sistema preenche uma série de processos-chave, designados de “funções do sistema de inovação”: desenvolvimento formal de conhecimento; experimentação empresarial; materialização; orientação da pesquisa; formação de mercado; mobilização de recursos; legitimação; e desenvolvimento de externalidades positivas (BERGEK *et al.*, 2008; HEKKERT *et al.*, 2007). Durante a fase formativa é estabelecida a estrutura do novo sistema de inovação e preenchidas as funções do sistema, o que nos casos de sucesso despoletou “spillovers” com efeitos virtuosos no crescimento sustentado da inovação (JACOBSSON; BERGEK, 2011).

Uma outra corrente de investigação recente, de índole empírica analisa a difusão na óptica do aumento da escala de produção e da comercialização de unidades cada vez maior tamanho (WILSON, 2012, 2009; WILSON; GRUBLER, 2011). A evidência histórica mostra que a expansão de tecnologias da energia depende de ambos os factores e que a difusão evoluiu num processo constituído por três fases (cf. WILSON, 2012): o estabelecimento da base produtiva durante a fase formativa; o aumento da escala unitária; e a generalização da tecnologia. A inovação desenvolve-se em países centrais (“Core”), primeiro, onde se forma e começa a ser utilizada até atingir a maturidade suficiente para a comercialização no mercado, a produção em massa e a disseminação para outras áreas geográficas (GRUBLER, 1998).

As análises empíricas sistémicas aos padrões internacionais de difusão sugerem que a difusão acelera à medida que a tecnologia atinge novas regiões (BENTO, 2013; GRUBLER, 2012, 1998). Existem vários mecanismos por detrás desta aceleração e que podem estar relacionados com a existência de efeitos externos (“spillovers”) do desenvolvimento da tecnologia (JAFFE, 2005). Em particular, são identificadas as seguintes três causas:

- os custos com a I&D e a demonstração suportados pelos países do centro não têm de ser novamente repetidos nas outras regiões. Estas actividades permitem resolver problemas técnicos e refinar a tecnologia, gerando conhecimento que fica livremente disponível para os outros países (excepto nos casos em que é protegido por patentes);
- as despesas com a experimentação da tecnologia e a produção das primeiras unidades mais dispendiosas - tendo como objectivo a redução gradual dos custos através de *learning-by-doing* - não terão que ser novamente suportados pelos mercados periféricos;
- como consequência dos pontos anteriores, o acesso a tecnologia mais barata pelas regiões seguidoras e periferia impulsiona o ritmo de difusão nestes mercados (cf. ponto 2.1).

Nem todas as áreas beneficiam dos efeitos externos na mesma medida. As capacidades locais de absorção de inovações determinam fortemente a velocidade de transferência tecnológica para uma determinada área geográfica e *in fine* o lugar que essa área ocupa na sequência de difusão espacial. Donde a importância de um sistema nacional de inovação dinâmico, conducente ao desenvolvimento de ideias novas ou à rápida adopção de inovações (JACOBSSON; JOHNSON, 2000). A existência e a qualidade de competências locais são factores fundamentais para a constituição de uma massa crítica capaz de absorver spillovers

tecnológicos e adoptar inovações emergentes (COHEN; LEVINTHAL, 1989, 1990). Estudos de caso mostram que estas competências locais de adopção são susceptíveis de serem alargadas e melhoradas através do investimento em educação e em I&D (FAGERBERG; GODINHO, 2008; GODINHO, 2007).

### 3. Modelo empírico e dados

Um dos passos principais desta pesquisa consiste em ajustar curvas logísticas aos dados reais a fim de identificar padrões históricos de difusão tecnológica. Existe uma vasta evidência que suporta a utilização da função logística na representação de transições tecnológicas, nomeadamente no domínio da energia e dos transportes (GRUBLER, 1998; MARCHETTI; NAKICENOVIC, 1979). Esta função é inspirada no modelo logístico de Fisher e Pry representado da seguinte maneira:

$$y = K / [ 1 + \exp(-b(t - t_0))] ]$$

onde:

$K$  = nível de saturação (assíntota) da difusão

$t_0$  = ponto de inflexão em  $K/2$

$b$  = taxa de difusão (declive da curva em  $S$ )

$t$  = período de tempo durante o qual  $y$  se difunde de 10% a 90% (ou alternativamente de 1% a 50%) do seu nível de saturação ( $K$ )

O procedimento habitual consiste em ajustar uma curva logística à variável  $y$  que representa o número acumulado de unidades produzidas ou a capacidade instalada acumulada (medida em megawatts, MW).<sup>2</sup> Em trabalhos precedentes foram estabelecidos dois critérios para validar os parâmetros encontrados pelas funções logísticas (WILSON, 2009; DEBECKER; MODIS, 1994): i) qualidade do ajuste ( $R^2$  ajustado) superior a 95%; e ii) dados históricos cobrindo pelo menos 60% da assíntota estimada ( $K$ ).

Com o objectivo de estudar o comportamento de inovações produtoras e utilizadoras de energia, foi seleccionada uma amostra de tecnologias cuja difusão teve um grande impacto no sistema energético. São compiladas séries temporais sobre a difusão histórica de um conjunto de tecnologias não só de produção (refinarias de petróleo; máquinas a vapor; centrais eléctricas: a carvão, a gás natural, hidroeléctricas, eólicas), mas também de utilização de energia (produção nacional de automóveis ligeiros de passageiros ou de motociclos).

A difusão espacial da inovação é analisada globalmente e para três regiões (i.e., centro “core”, seguidores rápidos “rim”, e periferia), as quais são identificadas segundo a entrada na sequência da difusão. Ou seja, as regiões são definidas de acordo com o momento em que a tecnologia penetra nas diferentes zonas geográficas. Historicamente, as inovações partem dos países mais avançados (EUA ou Reino-Unido) para os restantes países desenvolvidos da OCDE, antes de atingirem as outras partes do mundo (WILSON, 2009; GRUBLER; NAKICENOVIC; VICTOR, 1999). Porém, cada tecnologia é um caso específico e o critério de organização dos países é o momento da sua entrada na difusão tecnológica.

---

<sup>2</sup> O ajustamento é feito com recurso ao programa "Logistic Substitution Model II" (LSM2) desenvolvido pelo International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) e livremente acessível online (<http://www.iiasa.ac.at/Research/TNT/WEB/Software/LSM2/lsm2-index.html?sb=3>).

A investigação utiliza a melhor informação estatística disponível constante em base de dados de organizações internacionais ou de agências nacionais de estatística, dados fornecidos por actores sectoriais ou obtidos na literatura. A Tabela 1 apresenta sinteticamente informações sobre as fontes de dados utilizadas, a desagregação espacial e as séries temporais.

TABELA 1. Tecnologias da energia incluídas na análise: unidades, séries temporais e desagregação espacial

Tecnologia		Dados e Unidades	Séries temporais	Outras Regiões	Fontes principais (Portugal) <sup>i</sup>
Tecnologias do lado da produção de energia	Refinarias <sup>ii</sup>	Capacidade total (#, MW)	1940-2007 (Portugal: 1940-2012)	Core: OCDE, (Antiga URSS ou "Former Soviet Union") FSU Rim2: Asia (excl.China), Med.Oriente,Lat.America Periphery: China, Africa Global	Galp (2013)
	Centrais eléctricas (Power) - Carvão	Capacidade acumulada (#, MW)	1908-2000 (Portugal: 1889-2010)	Core: OCDE Rim1: FSU Rim2: Asia, Africa do Sul Periphery: Africa (exl. Afr.Sul.), Lat.Am. Global	DGEG (2013), APA (2013), REN (2013), Museu da Electricidade (2013), Guedes (2001)
	Power - Gás Natural	Capacidade acumulada (#, MW)	1903-2000 (Portugal: 1997-2010)	Core: OCDE Rim1: FSU Rim2: Asia Periphery: Africa, Lat.Am. Global	REN (2013), ERSE (2007, 2013)
	Power – Eólico	Capacidade acumulada (#, MW)	1977-2012 (Portugal: 1985-2011)	Core: Dinamarca	INEGI-APREN (2011), DGEG (2013)
	Máquinas a vapor	Capacidade total (#,hp/MW)	1710-1930 (Portugal: 1819-1946)	Core: UK, US Rim2: Europa Continental Periphery: Resto do Mundo(RdM) Global	Tann&Berckin (1978), Woytinsky (1926), Pedreira(1990), Serrão(1971), INE(1945)
Tecnologias de uso final de energia	Automóveis de passageiros	Carros produzidos (#, hp/MWeq.)	1900-2005 (Portugal: 1960-2012)	Core: US Rim1: FSU Rim2: OCDE(excl.US) Periphery: econ.em desenv. Global	UN (2013), OICA (2013), ACAP (1997, 2002; 2013), Selada&Felizardo (2004)
	Motociclos	Produção de motociclos (#, MWeq.)	1900-2008 (Portugal: 1948-1994)	Core: UK, França, Alemanha, Italia Rim1: FSU Rim2: US, Japão Periphery: China, India, Indonesia Global (incl.RdM)	UN (vários anos)

<sup>i</sup> Fontes principais para as restantes regiões (descritas em detalhe em Wilson (2009) e Bento (2013) ): *Refinarias* - Oil & Gas Journal, BP, Enos; *Power-Carvão* – Platts; *Power- Gás Natural* – Platts; *Power-Eólico* – DEA, BTM Consult (dados atualizados a partir de Spliid (2013); *Máquinas a vapor* – Kanefsky, Woytinsky, US Census; *Automóveis de passageiros* – AAMA, US NHTSA, ACEA; *Motociclos* – UN (2008). Os dados estão livremente acessíveis no site: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/TransitionstoNewTechnologies/Scaling-Dynamics-of-Energy-Technologies1.en.html> (último acesso em 16/5/2013).

<sup>ii</sup> Capacidade instalada (capacidade não cumulativa).

## 4. A adopção de tecnologias da energia em Portugal

### 4.1. Evolução histórica da difusão tecnológica

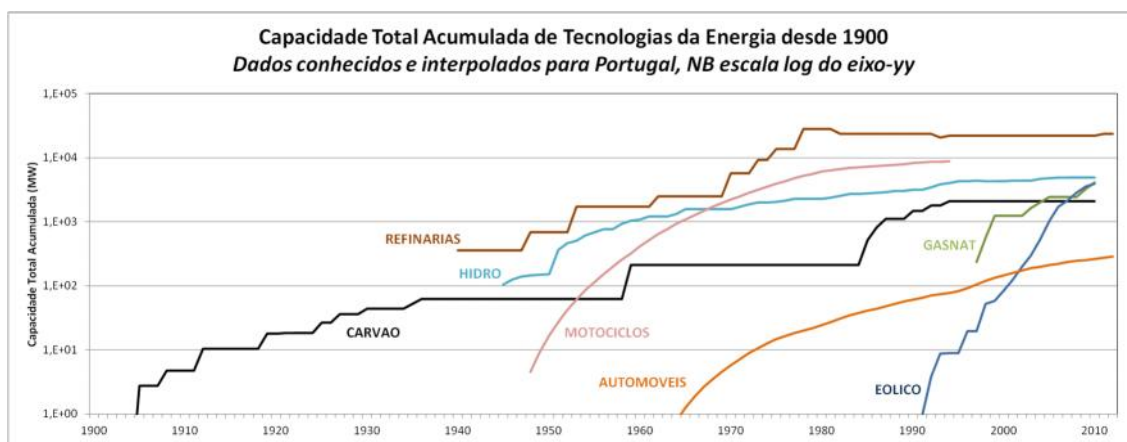
A evolução da capacidade instalada de tecnologias da energia ao longo do tempo é um indicador importante da capacidade de adopção tecnológica de um determinado país. Os processos de difusão podem ser compreendidos através do estudo do modo como as tecnologias se desenvolveram e do tempo médio necessário para o crescimento.

A revisão da literatura apresentada no ponto 2 sugere que a capacidade local de absorção tem uma influência importante na velocidade de transferência tecnológica. Uma capacidade de

adoção melhorada pode traduzir-se num i) maior impacto da tecnologia no mercado, ii) aceleração do crescimento ou iii) menor desfasamento em relação à difusão nos países do centro. Neste ponto serão tratadas as primeiras duas situações, sendo a última abordada no ponto seguinte.

O gráfico 1. apresenta o crescimento de diversas tecnologias da energia em Portugal ao longo do último século. Uma análise preliminar aos dados históricos revela algumas características presentes nos processos de difusão de tecnologias da energia em Portugal. Em primeiro lugar, as tecnologias de uso final de energia atingem níveis semelhantes às das tecnologias de produção de energia em termos de capacidade total acumulada equivalente. Este resultado coincide com as conclusões de análises efectuadas a nível global e para outros países, mostrando que as tecnologias de uso final de energia são tão importantes como as tecnologias do lado da produção para o sistema energético (GRUBLER *et al.*, 2012).

Gráfico 1. A difusão histórica de tecnologias da energia em Portugal no séc. XX



Em segundo lugar, o ritmo de difusão é condicionado pelas características da inovação. A adoção tecnológica é mais lenta no caso de tecnologias complexas cuja difusão depende da utilização de outras tecnologias ou que necessitam da instalação de infraestruturas dedicadas. Por exemplo, no caso das centrais hidroelétricas e de gás natural, a difusão necessitou de uma série de infraestruturas complexas, quer em termos da construção de barragens, quer de gasodutos para o transporte do gás natural.

Finalmente, é de realçar a velocidade de penetração da energia eólica cuja capacidade instalada progrediu enormemente em apenas duas décadas para atingir cerca de 4000 MW em 2010. Neste caso pode argumentar-se que as exigências em termos de instalação de infraestruturas são menores do que no caso das centrais a gás natural. A introdução da energia eólica integrou-se no sistema eléctrico existente (com algumas adaptações, nomeadamente devido à intermitência do vento e investimentos na conexão). A sua progressão foi facilitada pelo facto de se tratar de uma tecnologia de substituição de tecnologias existentes de geração de electricidade e não de uma inovação de ruptura (WILSON, 2012; FREEMAN; PEREZ, 1988). Tal não significa, que a rapidez de adoção e o crescimento da capacidade instalada não tenham sido impressionantes, mesmo quando comparados com a difusão noutros países.

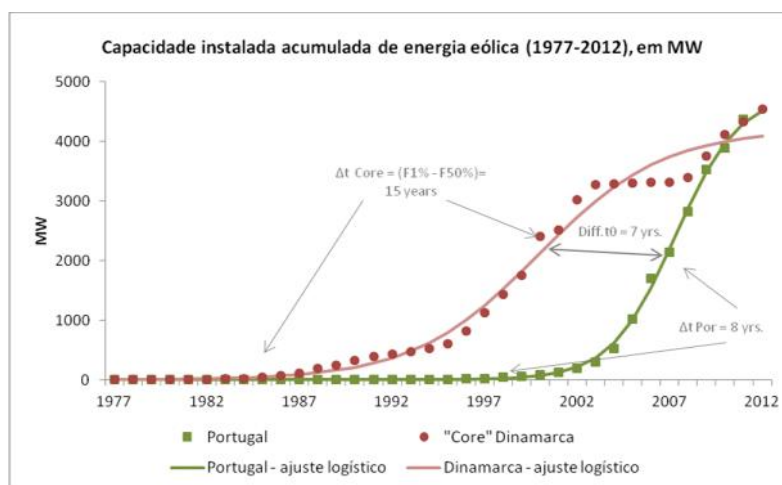
## 4.2. Performance comparativa com outras regiões

A capacidade de adopção de inovações energéticas pode ser também medida através do atraso médio em relação a outros espaços geográficos.

O ritmo de crescimento de uma inovação num país depende, entre outros factores, do contexto económico e da situação desse país na cadeia de inovação, sendo diferente consoante o país se encontre no centro da inovação ou seja seguidor, mais ou menos rápido, das regiões centrais. A investigação empírica sugere que as inovações levam algum tempo para se disseminar nos países do centro (“core”), sendo que o processo de difusão acelera nos mercados seguintes; no entanto, a difusão nesses mercados não chega a atingir níveis de saturação semelhantes àqueles alcançados nas regiões centrais (GRUBLER, 2012).

O atraso médio da adopção de tecnologias da energia em Portugal relativamente aos países do centro e a outros países seguidores é analisado para uma série de inovações através da comparação dos parâmetros de difusão. Esses parâmetros são obtidos a partir de curvas logísticas ajustadas aos dados reais do crescimento das tecnologias nos respectivos mercados. Em particular, o ponto de inflexão ( $t_0$ ) - o qual representa ao mesmo tempo o ponto médio na curva de difusão (F50%) e o momento de maior crescimento da tecnologia no mercado - serve de referência para esta comparação. Deste modo, o atraso na adopção de novas tecnologias é medido através da diferença entre os pontos de inflexão em Portugal e nos países do centro, por exemplo, no sentido em que quanto menor for essa diferença, menor é o desfasamento temporal da difusão tecnológica em Portugal, e vice-versa. O Gráfico 2 ilustra a obtenção dos parâmetros no caso da difusão da energia eólica em Portugal e no centro da inovação (neste caso, a Dinamarca), respectivamente.

Gráfico 2. Ilustração do processo de ajuste logístico e de obtenção dos parâmetros de difusão



A Tabela 2 apresenta os resultados do desfasamento da difusão em Portugal relativamente a outras áreas geográficas. Para simplificação da análise, os países são agrupados em três grupos de regiões consoante a entrada no processo sequencial de difusão espacial: o(s) país(es) onde a inovação surgiu e penetrou pela primeira vez compõe(m) o centro ou coração (“Core”) da difusão; os seguidores rápidos das áreas pioneiras são agrupados no grupo dos (“Rim”), sendo



que os antigos países pertencentes à União Soviética (“Rim 1”) são distinguidos dos demais (“Rim 2”) pelo facto da difusão ter sido marcada por processos de decisão mais centralizados; o resto dos países da periferia (“Periphery”) onde a tecnologia se difunde por último lugar.

Tabela 2. Desfasamento da difusão histórica de várias tecnologias em Portugal vs. outras áreas geográficas

<i>Tecnologia /região</i>	<i>Core (a)</i>	<i>Rim1</i>	<i>Rim2</i>	<i>Periphery</i>	<i>Portugal (b)</i>	<i>(b)-(a) (anos)</i>
REFINARIAS	1969*		1970	1977	1975	6
POWER – CARVÃO**	1973	1975		1987	1988	15
POWER – HIDRO	1971	1973			1986	15
POWER - GÁS (1.a Fase)	1971	1976	1985	1982	2006	35
POWER – EÓLICAS	2000				2007	7
AUTOMÓVEIS	1989	1998	1995		2006	17

\* Refinarias do tipo *fluid catalytic cracking (FCC)*. \*\* O termo “POWER” significa que a tecnologia é dedicada à geração de electricidade. Por exemplo, “POWER-CARVÃO” refere-se a centrais eléctricas a carvão.

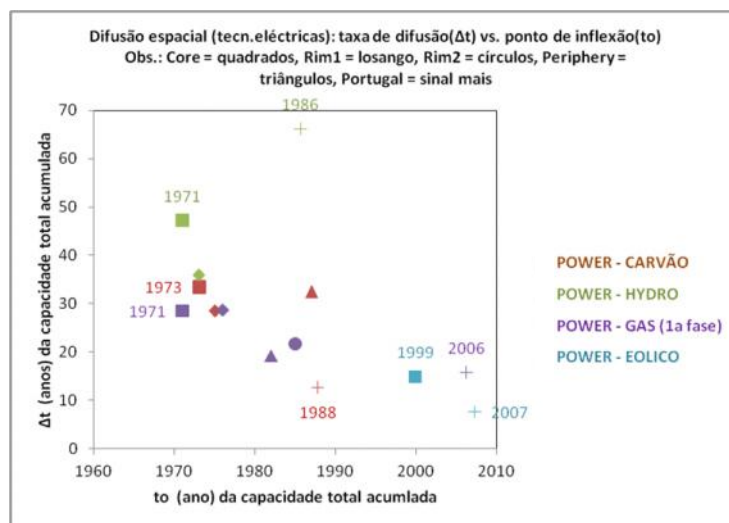
As inovações penetram em Portugal com um atraso de vários anos (por vezes, décadas) relativamente aos países do centro. Na amostra de tecnologias analisadas, o maior atraso foi verificado no caso das centrais eléctricas a gás natural, associado à necessidade de construir infraestruturas de transporte e distribuição do gás. Em contrapartida, o crescimento da capacidade instalada de energia eólica e de refinação foi muito mais rápido, com menos de uma década de desfasamento em relação à difusão nos países centrais.

Globalmente, o atraso médio na adopção das tecnologias da energia analisadas nesta amostra foi de cerca de 15 anos. Este desfasamento médio aproxima-se àquele observado normalmente nos países seguidores do tipo “Rim 2”, o qual é geralmente associado aos países da OCDE que não façam parte do “Core” (WILSON, 2009). No entanto, a estimativa para o atraso na adopção de inovações energéticas deve ser considerada com prudência. Por um lado, os resultados apenas podem ser interpretados em termos da tendência observada para as tecnologias analisadas na amostra, apesar delas representarem sistemas tecnológicos importantes do lado da produção e do uso final de energia. Por outro lado, o desfasamento médio da difusão pode ser afectado pela agregação dos dados e pela escolha do nível de análise.<sup>3</sup> As diferenças metodológicas podem explicar eventuais divergências nas estimativas apresentadas por vários estudos, mas não parecem alterar a conclusão de que a transferência tecnológica na área da energia tem levado anos, mesmo décadas, a chegar a Portugal (GRUBLER, 2012).

Apesar do atraso na transferência de inovações, a velocidade de penetração aumenta quando as tecnologias chegam aos novos mercados. Este efeito de aceleração é medido através da diferença entre as taxas de difusão ( $t$ ) para o centro e para as outras regiões. O Gráfico 3 apresenta apenas os resultados para as tecnologias de geração de electricidade, mas foi observado um comportamento semelhante para as restantes tecnologias da amostra.

<sup>3</sup> O termo “tecnologia” refere-se ao sistema tecnológico composto pela agregação operacional de todas as componentes, antes da inclusão da infraestrutura de difusão e das condicionantes de mercado (cf. MURMANN; FRENKEN, 2006).

Gráfico 3. Aceleração espacial da difusão quando a inovação atinge novos mercados



Nota: As datas referem-se aos pontos de inflexão (t0) da difusão no centro e em Portugal.

À medida que a tecnologia sai do “Core” e atinge os países seguidores, primeiro, e a periferia, mais tarde, as taxas de difusão tornam-se cada vez menores. Ou seja, a tecnologia necessita de cada vez menos tempo para atingir a saturação. Isso é nítido pela tendência de decréscimo para o canto inferior direito do gráfico a partir do momento que a inovação extravasa do centro. No caso português, apenas a energia hidráulica sai deste modelo apresentando um período de difusão extraordinariamente longo. Isto pode ser explicado pelos particularismos inerentes à tecnologia (existência de locais apropriados e obtenção de licenças de exploração).

#### 4.3. Efeitos de escala na transferência tecnológica: Extensão e ritmos de crescimento em Portugal

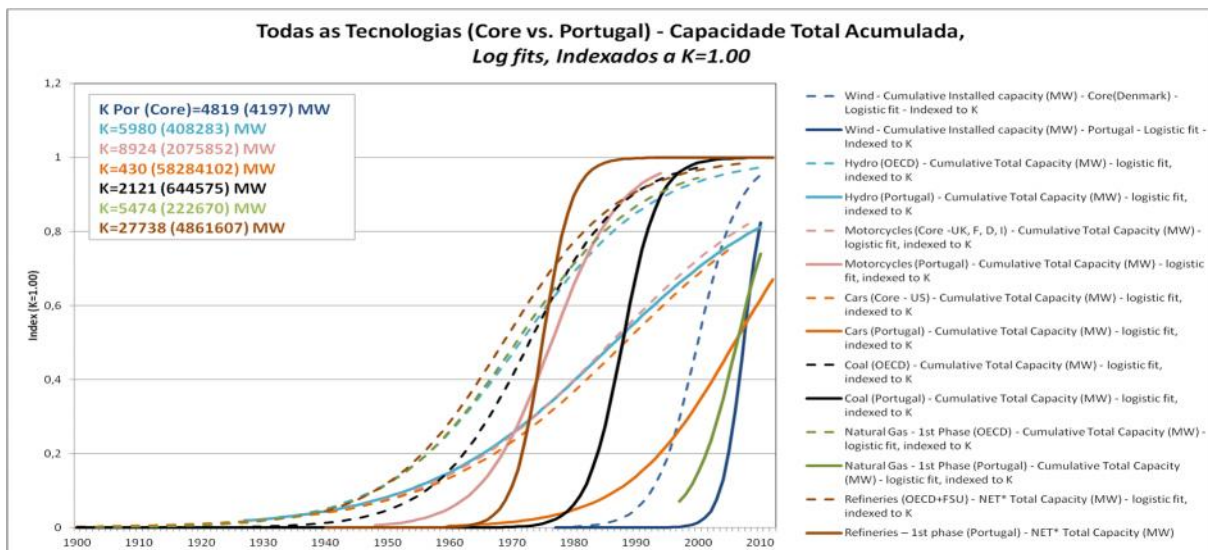
A análise ao processo de difusão espacial permite conhecer melhor o comportamento da inovação quando extravasa do centro e penetra em novos mercados. Assim é investigada a relação entre a taxa de crescimento e a extensão da difusão tecnológica em diferentes níveis geográficos, comparando a adopção nos países centrais e em Portugal.

A relação entre a velocidade e a extensão da difusão tecnológica foi recentemente demonstrada para uma série de tecnologias. Estudos empíricos revelaram que as inovações que tiveram um maior impacto no sistema energético necessitaram de períodos mais longos de difusão (WILSON, 2012, 2009). Esta regularidade pode ser explicada pelas necessidades tecnológicas, organizativas e institucionais colocadas por inovações cujo potencial de difusão é maior (ROSENBERG; TRAJTENBERG, 2004; BENTO, 2013). A relação entre taxa e extensão de difusão foi especialmente observada em transições ocorridas nos países centrais. Ela sublinha a importância do potencial de mercado e das economias de escala para a duração da difusão. Como é que estes factores intervieram no caso da transferência de tecnologias da energia para um país seguidor como Portugal?

O processo de transferência de tecnologias da energia, dos países do centro para Portugal, é analisado no Gráfico 4, onde são apresentadas as curvas logísticas ajustadas aos dados reais do

crescimento das inovações. A comparabilidade dos dados é assegurada pela indexação dos valores da capacidade total acumulada ao nível de saturação previamente estimado para cada uma das regiões.

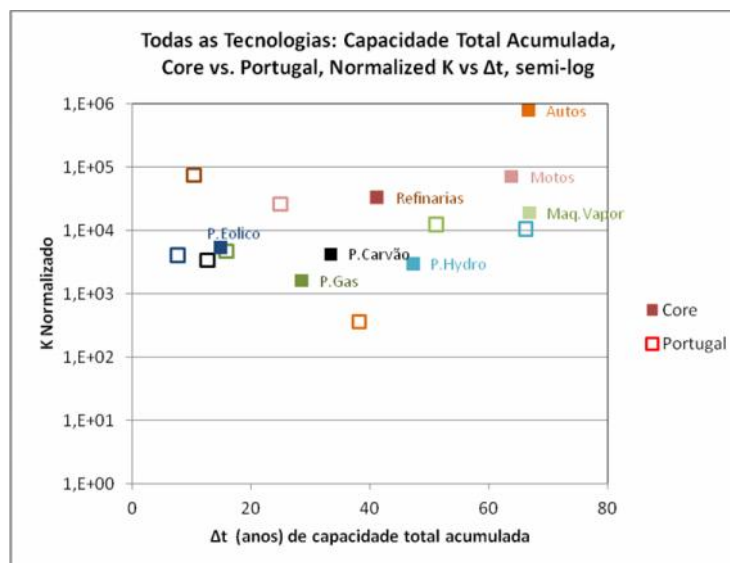
Gráfico 4. A difusão histórica de tecnologias da energia no séc.XX em Portugal – eixo dos YY indexado ao nível de saturação (apresentado na caixa de texto)



As inovações penetram em Portugal com algum atraso (medido em décadas) relativamente aos países do “Core”. Porém, o processo de difusão é mais rápido, precisando de um período de tempo mais curto para atingir a saturação - a inclinação das curvas logísticas é maior em Portugal. Por outro lado, o nível de saturação é mais baixo em Portugal do que nos países do centro. A única exceção é a energia eólica, para a qual o potencial estimado de difusão ronda os 4800 MW em Portugal, sendo ligeiramente maior do que na Dinamarca (quase 4200 MW). Sendo assim, a evidência corrobora a hipótese segundo a qual as inovações atingem mais rapidamente o nível de saturação nos novos mercados, o qual é normalmente mais baixo do que nos países do centro da inovação.

A relação entre a taxa de crescimento ( $\dot{t}$ ) e a extensão da difusão ( $K$ ) revela o efeito de escala na penetração das tecnologias nos mercados. O Gráfico 5 compara o comportamento da difusão no “Core” e em Portugal. Os valores da extensão foram normalizados de modo a tornar comparável o impacto da difusão de tecnologias em diferentes momentos de tempo e de espaço, correspondendo a diferentes dimensões do sistema energético – o nível de saturação é dividido pelo consumo primário de energia (em EJ) da região respectiva no momento  $t_0$  (cf. WILSON, 2009).

Gráfico 5. A relação entre taxa de crescimento e extensão da difusão histórica de tecnologias da energia nos países do centro (quadrados a cheio) e em Portugal (quadrados vazios)



Uma análise preliminar ao gráfico revela a existência de uma forte relação positiva (no mesmo sentido) entre o ritmo e a extensão da difusão. Isto significa que inovações com maior potencial de difusão necessitam de mais tempo para progredir no mercado. A evidência empírica apresentada reforça o pressuposto teórico de que o tamanho do mercado (escala) é uma condicionante importante do ritmo de difusão das tecnologias. A comparação mais pormenorizada da difusão tecnológica no “Core” e em Portugal evidencia duas conclusões. Por um lado os resultados confirmam que, regra geral, a difusão é mais rápida em Portugal, mas atinge um nível de saturação mais baixo. Por outro lado, a relação crescimento-extensão é mais nítida nos países do “Core” do que para Portugal. Isto é uma conclusão importante no sentido em que sugere que o ritmo da mudança tecnológica é menos influenciado pela escala da difusão no caso de países seguidores como Portugal.

## 5. Discussão e conclusão

O estudo da performance de difusão de tecnologias energéticas em Portugal comparativamente aos países do “Core” da inovação revela algumas características marcantes do processo de transferência tecnológica. Primeiro, as tecnologias da energia são adoptadas em Portugal com um atraso médio de uma a duas décadas relativamente à sua difusão nos países pioneiros. Segundo, o ritmo de penetração acelera quando a inovação chega a Portugal graças à experiência ganha durante a difusão nos países do centro. Terceiro, o sucesso da difusão da energia eólica em Portugal e do respectivo sistema de inovação tecnológico pode fornecer lições importantes sobre os factores susceptíveis de acelerar a adopção tecnológica no futuro.

O desfazamento com que as tecnologias da energia se difundem em Portugal tem a ver, por um lado, com as características da inovação em termos da natureza da mudança tecnológica - substituição ou ruptura - e da existência de mercados. Assim, a transferência tecnológica é mais rápida no caso de tecnologias de substituição cujo mercado existe previamente, como é o

caso das tecnologias de geração de electricidade (energia hidráulica ou eólica). Por outro lado, a complexidade das tecnologias e a necessidade de uma infraestrutura dedicada atrasam a transferência da tecnologia, como se verificou no caso do gás natural.

A evidência encontrada na análise ao caso português suporta a tese segundo a qual o ritmo de difusão acelera à medida que a tecnologia penetra em novas regiões. Esta tendência pode ser explicada pela existência de externalidades positivas (“spillovers”) que as actividades de I&D e a produção das primeiras unidades mais dispendiosas nos países do centro geraram em termos de conhecimento e de aprendizagem, e que se encontram disponíveis aos restantes países a custos muito inferiores. Em contrapartida o potencial de difusão parece ser mais baixo nos mercados subseqüentes, corroborando a regularidade empírica encontrada em estudos anteriores. No entanto, a relação entre o ritmo e a extensão da difusão, os quais tendem a estar altamente correlacionados nos países do centro, revelou ser bastante menos intensa no caso da transferência tecnológica para Portugal. Isto é uma descoberta importante e que merece atenção em futuras investigações, porque levanta a hipótese do ritmo de crescimento em Portugal ser pouco influenciado pelo efeito de escala (extensão) da tecnologia.

Finalmente, a difusão da energia eólica em Portugal é um caso inequívoco de rápida transferência tecnológica. A capacidade instalada começa a crescer com um atraso relativamente pequeno e evolui a um ritmo muito elevado, atingindo um nível de saturação superior ao do país do centro da inovação. Quais terão sido os factores que estão na base deste sucesso?

A abordagem pelas funções do sistema de inovação permite compreender melhor as etapas principais do desenvolvimento da energia eólica em Portugal. Numa primeira fase exploratória, as políticas de ciência e tecnologia surgiram como "motor" de mudança apoiando o cumprimento das funções críticas do sistema de inovação (legitimação, direcção de pesquisa, mobilização de recursos, desenvolvimento de conhecimentos formais e experimentação). Entretanto, a formação de expectativas atraiu actores-chave que vieram reforçar a força de pressão deste grupo o que gerou recursos adicionais (p.ex., um regime regulamentar muito favorável) e legitimidade, acelerando o desenvolvimento tecnológico e a formação de mercado. Por outro lado, este sucesso também pode estar associado a uma evolução na capacidade inovadora que terá permitido uma absorção mais rápida dos *spillovers* gerados pela difusão nos países pioneiros. Mais investigação é necessária neste ponto, designadamente quanto ao impacto dos incentivos e medidas de suporte nos custos de difusão da energia eólica e ao efeito que a existência de actividades contíguas à inovação (p.ex., uma base científica e tecnológica ao nível da engenharia mecânica e da indústria metalomecânica) tiveram para o reforço da capacidade de absorção tecnológica.

## **Agradecimentos**

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito de uma bolsa de investigação, Ref<sup>a</sup> SFRH/BPD/91183/2012 e do projecto de investigação Ref<sup>a</sup> PTDC/CS-ECS/113568/2009. Os autores agradecem a Charlie Wilson por ter disponibilizado os dados sobre a difusão internacional e também a colaboração do Museu da Electricidade, da REN, da DGEG e da ACAP na recolha de dados. O aviso usual de responsabilidade relativamente a erros e omissões aplica-se.

## Referências

ACAP. **Comunicação pessoal**. 2013.

AIMA/ACAP. **O Comércio e a Indústria Automovel em Portugal**. Lisboa: Associação do Comércio Automovel em Portugal - ACAP, Auto Informa, 1997.

AIMA/ACAP. **O Comércio e a Indústria Automovel em Portugal**. Lisboa: Associação do Comércio Automovel em Portugal - ACAP, Auto Informa, 2002.

APA. **Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2010**. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente, 2013.

BENTO, N. **New Evidence in Technology Scaling Dynamics and the Role of the Formative Phase**. IIASA Interim Report. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2013.

BERGEK, A. *et al.* Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, 2008. v. 37, n. 3, p. 407–407.

COHEN, W.; LEVINHAL, D. Innovation and Learning: The Two Faces of R&D. **The Economic Journal**, 1989. v. 99, p. 569–596.

COHEN, W.; LEVINHAL, D. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, 1990. v. 35, p. 128–152.

CONCEIÇÃO, P.; HEITOR, M. V. **Innovation for All? Learning from the Portuguese path to technical change and the dynamics of innovation**. Westport and London: Praeger, 2005.

DEBECKER, A.; MODIS, T. Determination of the Uncertainties in S-Curve Logistic Fits. **Technological Forecasting and Social Change**, 1994. v. 46, p. 153–173.

DGEG. 2013. Disponível em: <[www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt) e comunicação pessoal>.

ERSE. **Análise à procura de gás natural 2007-2008**. 2007. Disponível em: <[http://www.erse.pt/pt/gasnatural/tarifaseprecos/historico/tarifasreguladasdejulhode2007ajunhode2008/Documents/AnaliseconsumoGN20072008\\_Final.pdf](http://www.erse.pt/pt/gasnatural/tarifaseprecos/historico/tarifasreguladasdejulhode2007ajunhode2008/Documents/AnaliseconsumoGN20072008_Final.pdf)>. Acesso em: 7 fev. 2013.

ERSE. comunicação pessoal. 2013.

FAGERBERG, J.; GODINHO, M. M. Innovation and Catching-up. **J. Fagerberg, Mowery D.C. E R.R. Nelson (eds.), The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford University Press, Chapter 19 ed., 2008, p. 514–542.

FOUQUET, R. Past and prospective energy transitions: Insights from history. **Energy Policy**, 2012. v. 50, p. 1–7.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment: Business cycles and investment behaviours. **Technical Change and Economic Theory**. London: Pinter, 1988.

GALP. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.galpenergia.com/EN/agalpenergia/os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/ARL/Refinacao/Paginas/Home.aspx> AND <http://www.galpenergia.com/PT/investidor/ConhecerGalpEnergia/Os-nossos-negocios/>>

Refinacao-Distribuicao/ARL/Refinacao/RefinariaMatosinhos/Paginas/DatasChave.aspx>.  
Acesso em: 11 fev. 2013.

GERSCHENKRON, A. **Economic Backwardness in Historical Perspective**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1962.

GODINHO, M. M. Difusão internacional de tecnologia e perspectivas de convergência. **Sociologia - Problemas e Práticas**, 1995. v. 18, p. 9–21.

GODINHO, M. M. Indicadores de C&T, inovação e conhecimento: Onde Estamos? Para onde vamos? **Análise Social**, 2007. v. XLII, n. 182, p. 239–274.

GODINHO, M. M.; CARAÇA, J. M. . Inovação tecnológica e difusão no contexto de economias de desenvolvimento intermedio. **Análise Social**, 1988. v. XXIV, n. (103-104), (4.º, 5.º), p. 929–962.

GRUBLER, A. **Technology and Global Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

GRUBLER, A. Energy transitions research: Insights and cautionary tales. **Energy Policy**, 2012. v. 50, p. 8–16.

GRUBLER, A. *et al.* Chapter 24 - Policies for the Energy Technology Innovation System (ETIS). **Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future**. Laxenburg: Cambridge University Press, Cambridge, and IIASA, 2012, p. 1665–1744.

GRUBLER, A.; NAKICENOVIC, N.; VICTOR, D. G. Dynamics of energy technologies and global change. **Energy Policy**, 1999. v. 27, n. 5, p. 247–280.

GUEDES, M. V. **1936 - Central Termoelectrica do Freixo**. Actos do 5º Encontro do Colegio de Engenharia Electrotecnica da Ordem dos Engenheiros.

HEKKERT, M. *et al.* Functions of Innovation Systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, 2007. v. 74, n. 4, p. 413–432.

INE. **Estatísticas industriais 1945-1948**. Lisboa: Instituto Nacional de Estatísticas, 1945.

INEGI - APREN. **Parques Eólicos em Portugal**. 2011. Disponível em: <[http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal\\_Parques\\_Eolicos\\_201112.pdf](http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal_Parques_Eolicos_201112.pdf)>. Acesso em: 3 jan. 2013.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 2011. v. 1, n. 1, p. 41–57.

JACOBSSON, S.; JOHNSON, A. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. **Energy Policy**, 2000. v. 28, p. 625–640.

JACOBSSON, S.; LAUBER, V. The politics and policy of energy system transformation-explaining the German diffusion of renewable energy technology. **Energy Policy**, 2006. v. 34, n. 3, p. 256–276.

JAFFE, A. B. **The Importance of “Spillovers” in the Policy Mission of the Advanced Technology Program**. Disponível em: <<http://www.atp.nist.gov/eao/jtt/jaffe.htm>>.

- MARCHETTI, C.; NAKICENOVIC, N. **The dynamics of energy systems and the logistic substitution model**. Laxenburg, Austria: IIASA, 1979.
- MURMANN, J. P.; FRENKEN, K. Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change. **Research Policy**, 2006. v. 35, p. 925–952.
- MUSEU DA ELECTRICIDADE. 2013. Disponível em: <<http://www.wikienergia.pt/>>. Acesso em: 4 fev. 2013.
- OICA. 2013. Disponível em: <<http://www.oica.net/>>. Acesso em: 7 jul. 2013.
- PEDREIRA, J. M. MÁQUINA A VAPOR. In: José Costa (cord.), **Dicionário Enciclopédico da História de Portugal**. Publicações Alfa.
- ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: Simon and Schuster, 1995.
- ROSENBERG, N.; TRAJTENBERG, M. A General-Purpose Technology at Work: The Corliss Steam Engine in the Late-Nineteenth-Century United States. **The Journal of Economic History**, 2004. v. 64, n. (1) March, p. 1–39.
- SELADA, C.; FELIZARDO, J. R. Da Produção à Concepção: Meio Século de História Automóvel em Portugal. Heitor, M., Brito, J. M. B., Rollo, M. F. (eds.), **Momentos de Inovação e Engenharia em Portugal no século XX**. Lisboa: Dom Quixote, 2004.
- SERRÃO, J. VAPOR, MÁQUINA DE. In: », Joel Serrão (dir.), **Dicionário de História de Portugal**. Iniciativas Editoriais.
- SPLIID, J. “Stamdataregister for vindmøller,” HTML-spreadsheet, Danish Energy Agency. 2013. Disponível em: <<http://www.ens.dk/info/tal-kort/statistik-noegletal/oversigt-energisektoren/stamdataregister-vindmoller>>. Acesso em: 23 abr. 2013.
- TANN, J.; BERCKIN, M. J. The International Diffusion of the Watt Engine, 1775-1825. **The Economic History Review, New Series**, 1978. v. 3, n. 4, p. 541–564.
- UNITED NATIONS. **Industrial Commodity Statistics Database**. New York: United Nations Statistics Division (UNSD), 2008.
- UNITED NATIONS. UN Industrial Commodity Statistics Database. 2013. Disponível em: <[website: data.un.org](http://data.un.org)>. Acesso em: 11 jan. 2013.
- UNRUH, G. C. Understanding carbon lock-in. **Energy Policy**, 2000. v. 28, p. 817–830.
- WILSON, C. **Meta-analysis of unit and industry level scaling dynamics in energy technologies and climate change mitigation scenarios**. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2009.
- WILSON, C. Up-scaling, formative phases, and learning in the historical diffusion of energy technologies. **Energy Policy**, 2012. v. 50, p. 81–94.
- WILSON, C.; GRUBLER, A. Lessons from the history of technology and global change for the emerging clean technology cluster. **Natural Resources Forum**, 2011. v. 35, p. 165–184.
- WOYTINSKY, W. L. **Die Welt in Zahlen**. Berlin: Rudolf Mosse-Buchverlag, 1926. v. VI.