

Capítulo 2. Heterogeneidade e Eficiência na Inovação nas Regiões Europeias

2.1. Introdução

Neste capítulo procura-se, fundamentalmente, dar nota, sobretudo a nível empírico, da importância atribuída à heterogeneidade pela análise evolucionista da inovação regional na Europa. Embora exista um corpo conceptual interessante sobre as técnicas a usar para este efeito, mormente fruto do trabalho da Escola de Augsburg¹, a verdade é que as aplicações empíricas não abundam, e que as poucas existentes estão fortemente ligadas a uma das metodologias que Cantner e Krüger (2004) englobaram sob a terminologia de *evolometrics*: em particular, a análise não paramétrica da eficiência produtiva. Assim, o capítulo pretende melhorar diversos aspectos da mensuração da heterogeneidade da inovação a nível regional europeu: por um lado, estendendo a análise da heterogeneidade a outros domínios da análise de eficiência, avaliando os resultados da aplicação de metodologias que não o *Data Envelopment Analysis* (DEA) clássico, a que Cantner e os seus co-autores recorrem, – designadamente, usando em alternativa a metodologia *Free Disposable Hull* (FDH). As razões para esta preferência serão explicadas nas secções adequadas, mas traduzem um distanciamento ainda maior face à herança neoclássica do que o uso de uma tecnologia de referência DEA implicaria. Por outro lado, pretende-se aqui dar corpo pioneiro à aplicação de outras metodologias sugeridas por Cantner e Krüger (2004), que não foi ainda possível trazer, na prática, para o domínio da análise evolucionista. Falamos aqui, em concreto, da estimação, através de kernels, das funções densidade de medidas da capacidade de inovação; falamos também de regressão de quantis. Ambas as técnicas

¹ Apresentada na Introdução desta dissertação.

foram sugeridas como fazendo parte do que se designou por *evolometrics*, mas não surgiram ainda estudos que delas fizessem uso na caracterização empírica da heterogeneidade tecnológica.

Convém sublinhar que em nenhuma destas técnicas o propósito central passa por identificar sistemas regionais de inovação. No presente capítulo, pretende-se mormente o reconhecimento da heterogeneidade tecnológica e a validação da sua análise empírica. Não obstante, o capítulo compreende um esforço para realizar a caracterização sócio-económica e tecnológica de algumas regiões europeias, situadas tanto na vanguarda como em estágios muito incipientes de capacidade inovadora. Há por isso uma descida ao concreto, procurando lançar as pontes entre os conceitos aqui analisados, em particular a heterogeneidade, conceitos estudados no capítulo anterior, e o posterior estudo detalhado da inovação na Região Norte de Portugal.

O capítulo encontra-se assim organizado da seguinte forma. Na próxima secção, são discutidos os conceitos evolucionistas de heterogeneidade, variedade, diversidade e assimetria, para concluir pela necessidade de uma análise de índices de eficiência técnica para mensurar a heterogeneidade tecnológica e a sua evolução. A opção por uma tecnologia de referência FDH é explicada. Críticas à abordagem baseada em fronteiras não paramétricas de eficiência são também expostas.

A secção 2.3 aborda, desde um prisma conceptual, a problemática da construção de indicadores de inovação. Este é um debate fundamental, que deve preceder as análises empíricas aqui desenvolvidas, no intuito de, a nosso ver, validar a opção metodológica tomada nessas análises: o uso do número de patentes como indicador da actividade inovadora nas regiões europeias. Esta secção é também o lugar próprio para reconhecer as limitações inerentes a esta opção.

Na quarta secção, é feita uma exposição extensiva da análise não paramétrica de eficiência, sobretudo na óptica da metodologia FDH, dado, em primeiro lugar, o papel que os índices de eficiência técnica assim obtidos desempenharão na análise e, em segundo lugar, a pouca familiaridade da análise económica com as metodologias de programação linear e programação inteira mista. Assim, são nessa secção explicados os pressupostos da metodologia FDH, as fronteiras de referência, as noções de eficiência técnica radial e outras, e desenvolvimentos relevantes que a metodologia teve em anos recentes. É também motivado o uso destas técnicas não só para efeitos de identificação das unidades (ex. regiões) mais eficientes, permitindo a imitação (uma das formas de evolução tecnológica compreendidas pelo evolucionismo), mas também para efeitos de obtenção de rankings (cuja relevância na teoria evolucionista será mais clara na secção 2.2).

Na secção 2.5, é finalmente desenvolvida a análise empírica da heterogeneidade tecnológica na Europa, usando as técnicas propostas acima, bem como outras mais elementares, baseadas na estatística descritiva. No essencial, as diversas técnicas convergem inequivocamente para uma mesma conclusão: apesar da agregação regional, existe evidência clara de heterogeneidade a nível da eficiência na inovação nas regiões europeias. Dois aspectos adicionais desta secção merecem destaque. Por um lado, e independentemente do seu forte teor empírico, a novidade associada a algumas das técnicas usadas (com raízes recentes mesmo no seio da própria econometria), e a concomitante falta de familiaridade da análise económica com esses métodos, levam a que algum espaço de exposição metodológica sumária se revele necessário. Temos aqui particularmente em mente a problemática da aplicação da regressão de quantis a dados de contagem, cujas vicissitudes técnicas não eram antecipadas por Cantner e Krüger

(2004) e que só foram superadas pela metodologia desenvolvida por Machado e Silva (2005), de que aqui fazemos uso e que não foi ainda utilizada no campo da economia da tecnologia e do evolucionismo. Em segundo lugar, como foi já dito, é reservado espaço neste capítulo para da leitura de resultados estatísticos partir para a identificação das regiões em concreto de que estes falam, e para desenvolver, em relação a algumas destas regiões, a discussão em torno dos traços estruturais que explicam as trajetórias tecnológicas que sabemos terem seguido.

A secção 2.6 sumaria as conclusões do capítulo.

2.2. Heterogeneidade, evolucionismo e inovação

A heterogeneidade do comportamento económico está no âmago das diferenças entre as abordagens evolucionistas e neoclássicas do processo económico. Falamos aqui de heterogeneidade de comportamentos, atitudes e características dos agentes. A economia neoclássica recusa relevar a assimetria entre os agentes, tanto em termos estáticos como em termos dinâmicos. Assim, os modelos da teoria neoclássica estão vocacionados para trabalhar com um agente representativo, que mais não é do que um comportamento médio (na esteira aliás da econometria tradicional, criticada, *inter alia*, por Louçã (2001)). O único espaço de relevância da heterogeneidade na economia neoclássica emerge no âmbito de dinâmicas de transição entre trajetórias de crescimento equilibrado (*Balanced Growth Paths*, na literatura do crescimento endógeno) ou entre *steady states*, em versões mais arcaicas da mesma literatura do crescimento económico².

² Importa não deixar de observar que nos últimos 20 anos se tem assistido a um esforço por parte do *mainstream* da teoria económica do crescimento para incorporar nos seus modelos aspectos evolucionistas, como a destruição criativa, o surgimento de inovações com alguma aleatoriedade e o crescimento pela melhoria da qualidade dos bens (ver entre outros Aghion e Howitt (1992), Grossman e

Diferentemente, como argumentam Cantner e Hanusch (2001), a heterogeneidade é fundamental nas teorias económicas de base evolucionista. É, aliás, objecto de intenso debate, o modo como a heterogeneidade molda quer a natureza e estrutura do sistema económico num dado momento do tempo, quer a forma como constringe a dinâmica estrutural de evolução desse sistema.

Conceptualmente, heterogeneidade refere-se aos graus de diferença entre os indivíduos de uma população: sejam agregados familiares, empresas, sectores industriais, países, ou, no que é mais relevante para esta dissertação, regiões. Em particular, embora se pudessem discutir essas diferenças com relação a um sem número de vectores, como o esforço, comportamentos, padrões de produção e consumo, etc., é a diferença ao nível da direcção e intensidade das actividades de inovação que vai merecer a nossa atenção. Por um lado, a heterogeneidade dos agentes é, em si mesma, o resultado da mudança tecnológica, isto é, de diferentes actividades de inovação, imitação e adaptação. Por outro, a heterogeneidade é um elemento decisivo dessa mudança tecnológica, pressionando os agentes mais atrasados a copiar e imitar, e pressionando os agentes mais avançados a continuar a liderar o processo de inovação à medida que o *gap* se estreita. Mais ainda, a heterogeneidade propicia diferentes processos de aprendizagem que motivam diferentes desempenhos.

Em algum sentido, estamos assim próximos das concepções de variedade ou diversidade advogadas por Saviotti (1996, 1998a, 1998b). Em Saviotti, os termos diversidade ou variedade referem-se à mudança de composição do sistema económico.

Assim, a variedade é entendida com um conjunto de actores, actividades ou objectos

Helpman (1991), etc.). É fundamental contudo salientar que estes são ainda modelos de raiz neoclássica, com agentes representativos e optimizadores num contexto de racionalidade e informação perfeitas. O que não significa que não existam conversões interessantes nesse domínio: o melhor exemplo disto mesmo é porventura o artigo recente de Lucas e Rossi-Hansberg (2002) sobre a estrutura das cidades. Já Fafchamps (1997) escrevera sobre a territorialidade e o desenvolvimento numa óptica neoclássica.

necessários para caracterizar o sistema económico (Saviotti, 2001). Considera-se que a variedade é, em simultâneo, um requisito do desenvolvimento económico e um aspecto complementar desse desenvolvimento (variedade de crescimento, levando à emergência de novos sectores; e variedade no crescimento da produtividade dos sectores já existentes).

A noção de heterogeneidade está assim próxima da variedade de Saviotti, embora as duas concepções não se sobreponham. Há diferenças relevantes tanto na generalidade dos conceitos como na especificidade da sua aplicação ao processo de inovação. A heterogeneidade não se reduz à mera contagem de elementos distinguíveis. Antes compreende situações como aquelas em que o agente inovador procura um produto ou processo “melhor” do que o dos seus concorrentes. Esta adjectivação revela-se, nomeadamente, na produção de bens e serviços através do surgimento de rácios preço/qualidade mais elevados. Torna-se desta forma desejável que o conceito de heterogeneidade operacionalize, para além da variedade de outputs, diferenças de qualidade mensuráveis e diferenças ao nível da progressão da gama mais ou menos estreita de atributos de um bem (Lancaster, 1966). Identicamente, no que respeita à variedade de inputs ou técnicas de produção, será necessário mensurar se estas são idênticas ou se algumas existem que se caracterizam por serem mais eficientes que outras, ou por terem exigências diferentes a nível de inputs (como sejam técnicas mais ou menos capital-intensivas).

A correcta abordagem conceptual a este respeito, e que emergiu do programa de investigação de Augsburg, nos anos 90, sobre a relação entre heterogeneidade e inovação, tem as suas raízes no trabalho pioneiro de Dosi (1988). Para Dosi (1988), a variedade é meramente um caso particular da assimetria. Sempre que as empresas

podem ser classificadas como “melhores” ou “piores” relativamente à sua distância a uma fronteira tecnológica de referência, Dosi (1988) fala em “assimetria”. O grau de assimetria de uma indústria pode assim ser aferido pela dispersão da eficiência no uso dos seus inputs para um dado output homogéneo. Relativamente às diferenças não traduzíveis numa distância a uma fronteira hipotética e, como tal, não mensuráveis, Dosi (1988) fala simplesmente em variedade.

Assim, no contexto da discussão empírica da heterogeneidade no evolucionismo, que atravessará esta dissertação, vamos concentrar-nos em problemas relacionados com diferentes performances tecnológicas. Poderiam aqui ser incluídos tanto os desempenhos que podem ser directamente comparados gerando um ranking (ex. unidades que produzem um determinado bem de forma mais ou menos eficiente), como as performances que não são passíveis de comparação directa exigindo o recurso a outras medidas, como rentabilidades, quotas de mercado, etc. Como se vem de dizer, esta dissertação está vocacionada para a primeira destas opções.

Uma nota relevante, no espírito aliás de Cantner e Hanusch (2001), tem a ver com a possibilidade de se conduzir a análise a diferentes níveis de agregação. É evidente que ao analisar regiões ou países há uma perda de informação sobre a heterogeneidade de um nível de desagregação mais fino. Contudo, os autores argumentam que se espera ainda assim observar níveis muito claros de heterogeneidade, desde que a agregação dos agentes seja significativa. É aliás de referir que Bernard e Cantner (1999) foram pioneiros na transposição das técnicas da análise de eficiência para a ciência regional, ao estudarem o desempenho diferenciado de diferentes regiões

francesas³. Existe, contudo, e convém frisá-lo, um significativo número de aspectos em que a abordagem seguida neste texto se divorcia da proposta pelos autores.

Para além da abordagem estática em que a análise de eficiência é usada para caracterizar a heterogeneidade de um conjunto de observações, é evidente que num contexto em que o interesse está na mudança tecnológica e na inovação, a heterogeneidade poderia também ser analisada em termos dinâmicos. A análise de eficiência dispõe dos instrumentos para esse desiderato. Em concreto, na boa tradição do pensamento evolucionista, consideramos que a produtividade total dos factores, à Solow, não é uma boa medida da dinâmica de inovação, na medida em que não permite distinguir inovadores e imitadores, e não permite capturar as movimentações da própria fronteira tecnológica ao longo do tempo. Seria assim preferível usar o índice de Malmquist para analisar esses vários efeitos, como sugerido, *inter alia*, em Cantner e Krüger (2004). Em síntese, e em termos estáticos, a heterogeneidade tecnológica é entendida como diferentes sucessos em termos de inovação acumulados até ao presente por determinada entidade (por exemplo, uma região). Essa inovação pode ser uma melhoria técnica, uma melhor estrutura organizacional, uma melhoria de qualidade ou um produto completamente novo (Schumpeter, 1934).

Tendo estabelecido a necessidade de mensurar a heterogeneidade como parte do processo de compreensão evolucionista da inovação, a questão que emerge com naturalidade passa por saber qual a melhor medida empírica para detectar diversidade tecnológica e mudança tecnológica. As respostas surgidas no âmbito da tecnometria

³ Convirá referir que estudos existem também ao nível da comparação de países (Krüger *et al.*, 1998; Timmer e Loos, 2002). Estes estudos fazem fundamentalmente uso do índice de Malmquist para compreender as mudanças na fronteira tecnológica e as dinâmicas de *catching-up*.

seriam soluções possíveis. Contudo, sob o ponto de vista dos nossos objectivos, Cantner e Hanuch (2001: 234) encontram diversas falhas nessas medidas:

- a exactidão e rigor das medidas da tecnometria relativamente a aspectos muito particulares de produtos ou processos dificultam a comparabilidade das observações;
- a comparação entre diferentes tecnologias torna-se igualmente menos fácil;
- a agregação deixa de ser possível, até pelas diferentes unidades de medida envolvidas em diferentes produtos e sectores.

Cantner e Hanusch (2001), na esteira de Dosi (1988), sugerem o uso de medidas de eficiência técnica baseadas em fronteiras não paramétricas de eficiência. A fronteira é constituída pelas unidades com melhor desempenho. Aquelas que revelam um pior desempenho estão a alguma distância da fronteira, podendo assim construir-se uma medida radial, em que essa distância é usada para mensurar diferenças no desempenho tecnológico e estabelecer rankings. Os autores, na esteira de todo o projecto de Augsburg, têm presente, fundamentalmente, uma metodologia não paramétrica de construção de fronteiras de eficiência: o *Data Envelopment Analysis* (DEA). Contudo, exploraremos neste capítulo uma metodologia alternativa: o *Free Disposable Hull* (FDH), sugerido por Deprins *et al.* (1984). A principal diferença passa por o FDH ser um método substantivamente menos restritivo ao nível dos pressupostos, já que não impõe a convexidade da fronteira, o que sucede com o DEA. Esta parece ser uma boa opção no que toca à análise de eficiência na inovação tecnológica (na esteira da sugestão de Paul Romer (1990), segundo a qual a natureza de não rivalidade no consumo, de certos avanços tecnológicos, implica intrinsecamente a existência de não convexidades). Aliás, como argumenta MacFadden (1974), a convexidade é uma mera

conveniência matemática, no *mainstream* de uma ciência que procura ótimos e unicidade de equilíbrios.

Importará aqui salientar que a evolução da medição e da análise empírica no evolucionismo tem sido notável, existindo outras metodologias que têm ganho crescente popularidade no campo teórico, embora ainda sem exemplos de aplicação nesta área (sendo um dos propósitos desta dissertação fornecer a primeira aplicação de algumas dessas metodologias). Em particular, Cantner e Krüger (2004: 12) cunharam o termo *evolometrics* para referenciar as técnicas empíricas que no seu entender melhor podem ser importadas para medição da heterogeneidade. Nesse sentido, além das técnicas de análise de eficiência não paramétricas (Dosi, 1988), tanto em termos estáticos como em termos dinâmicos, os autores sugerem o uso de estimação de funções densidade para as observações através de kernels (o que pertence ao corpo da estatística não paramétrica) e da regressão de quantis (sugerida, pioneiramente, em contexto muito diverso, por Koenker e Bassett (1978), por oposição à econometria tradicional que se focalizava excessivamente na média). Será nosso propósito, como se enunciou atrás, dar também aplicação a estas metodologias, fornecendo uma pioneira comparação de resultados no âmbito da análise evolucionista da inovação regional.

Importará notar, em nota conclusiva, que o recurso a metodologias não paramétricas de análise de eficiência para medir a heterogeneidade na inovação não está livre de críticas, mesmo no seio da escola evolucionista. Nightingale (2001) advoga que a metodologia do programa de investigação de Augsburg, de que os estudos de Cantner e Hanusch (2001) são expoente relevante, não considera devidamente os aspectos da selecção Darwiniana e da teoria sinérgica da auto-organização. Em particular, Cantner e Hanusch (2001) são acusados de algum neoclassicismo disfarçado, no sentido

em que admitem a existência de um ótimo (representado pela fronteira) para o qual os outros agentes devem convergir. Nightingale (2001) considera, diferentemente, que nenhum agente conhece o ótimo ou sabe se está no ótimo, colocando-se assim numa ortodoxia evolucionista em que o uso de fronteiras empíricas de referência é tão criticável quanto a determinação idílica de um ótimo por um modelo do agente representativo.

Adicionalmente, Nightingale (2001) considera que, se o seguimento da trajetória de evolução da variedade numa população ao longo do tempo deve estar no *core* da teoria evolucionista, o uso de técnicas como o DEA, que transportam essa trajetória para uma função distância, é uma simplificação exagerada da realidade.

Em último lugar, a abordagem baseada nos métodos de fronteiras de eficiência é criticada por assumir algum *benchmarking* das unidades menos eficientes relativamente às unidades que estão na fronteira. O problema aqui é de agregação ou de desagregação. A construção de uma fronteira a partir de uma amostra de observações que podem não provir todas do mesmo ambiente económico, torna esse *benchmarking* um exercício de retórica. Em particular, a imitação só é possível, defendem os críticos deste método, quando o imitador vê e conhece a realidade que quer imitar. Isto exige um elevado nível de desagregação e a consideração de universos pequenos. No exemplo de Nightingale (2001: 272): uma fábrica em Hamburgo vive num ambiente económico diferente de uma fábrica semelhante em Calcutá. A análise DEA (ou FDH para esse efeito) não tem isso em conta.

Permitimo-nos aqui esboçar uma contra-argumentação própria relativamente às ideias de Nightingale. Começando pela derradeira, os estudos bi-etápicos de análise de eficiência permitem entrar em devida conta com a influência de variáveis ambientais na

determinação dos índices de eficiência. É certo que Cantner e os seus co-autores não enveredaram por essa via, expondo-se assim à crítica de Nightingale. Adicionalmente, técnicas existem na Investigação Operacional, para incorporar factores qualitativos e ambientais no problema de programação linear do DEA. Nesse sentido, é, a nosso ver, o modo como Cantner e Hanusch usam a metodologia que pode ser criticado desta forma, e não a ideia em si de usar estes métodos.

No que se refere à questão de uma função distância ser uma simplificação exagerada da realidade, há que notar que qualquer exercício de modelização envolve uma redução da complexidade do real, de uma forma que não comprometa para além do aceitável o compromisso de explicação científica. Entendemos que a crítica é aqui uma questão de grau. Nightingale (2001) entende que o índice de Malmquist viola esse requisito. Pode argumentar-se que não é esse o caso, sobrevivendo uma aceitável capacidade de explicação científica de uma realidade complexa. Por outro lado, entendemos que Nightingale (2001) dirige as suas críticas muito especificamente à abordagem de Cantner e Hanusch, não reconhecendo a existência de outras possibilidades não exploradas por estes autores.

Por fim, a crítica que apresentamos inicialmente parece-nos a mais simples de refutar. Concordamos inteiramente com a perspectiva evolucionista de que nenhum agente conhece o óptimo, dando-se a evolução de forma heterogénea e em diferentes processos de aprendizagem e erro. Contudo, não é verdade que uma estimativa da fronteira não seja, em muitos problemas, conhecida. A popularidade da metodologia DEA leva a que seja amplamente usada por agências governamentais e pelo sector privado, em diversos países, para produzir rankings, precisamente com o objectivo de facilitar às unidades menos eficientes a identificação das mais eficientes, potenciando a

cópia das melhores práticas (dado que tais rankings são muitas vezes tornados públicos). Ao nível do sector da educação, Oliveira (2004) fornece inúmeros exemplos destes estudos.

2.3. Questões conceptuais na medida empírica da inovação

Em qualquer estudo empírico, há a necessidade de definir a vertente ou as vertentes segundo as quais se procederá à análise do problema em mãos. Em concreto, para qualquer das metodologias das secções seguintes, estando em causa a capacidade inovadora das regiões europeias, há uma premente necessidade de formular uma ou mais variáveis que de forma mais ou menos perfeita traduzam essa capacidade para inovar.

Sucede, no entanto, que sendo a matéria em questão relacionada com inovação, as dificuldades se revestem de contornos adicionais que de forma alguma poderiam passar sem serem mencionados nesta dissertação. Em particular, porque existe um amplo e vivo debate sobre o que constitui um bom indicador ou uma boa medida da inovação, no âmbito da Economia do Desenvolvimento e da Economia da Tecnologia.

Desde logo, há quem considere que a inovação é idiossincraticamente impossível de mensurar ou quantificar. Não é contudo essa a visão que tem prevalecido na literatura. Diremos, com Smith (2005), que as características da inovação não excluem, *a priori* e de forma inexorável, qualquer possibilidade de quantificação. A dificuldade passa por, conquanto a inovação seja necessariamente uma realidade multifacetada, envolvendo algumas dessas vertentes novidades em aspectos como aprendizagem ou conhecimento organizacional, ser sempre difícil a obtenção de um indicador quantitativo que capture todas essas vertentes. Os aspectos acima referidos de

aprendizagem ou mudança organizacional são, reconhece Smith (2005), intrinsecamente difíceis de mensurar. O autor reconhece, assim, que há, seguramente, aspectos na inovação que não será possível quantificar de modo sistemático e coerente. Dito de outra forma, embora a inovação abarque realidades mensuráveis, e nessa medida nos demarquemos claramente de teses mais radicais que proponham a impossibilidade de a medir, importa reconhecer que nem todos os aspectos da inovação são mensuráveis ou quantificáveis, pelo que, neste domínio com particular acutilância, qualquer medida será sempre uma medida imperfeita.

Smith (2005) sugere, neste contexto, três dimensões em que deve ser pensada a dificuldade de mensurar a inovação. Desde logo, e em primeiro lugar, há que definir as coordenadas conceptuais do objecto a ser medido. O que é novo é difícil de ser conceptualizado, e no caso de inovações incrementais é particularmente difícil identificar o que é de facto novo⁴. Em segundo lugar, há que definir com rigor o significado e, diremos mais, a interpretação da medida da inovação. Diferentes medidas terão significados distintos, sendo função do investigador, além de perceberem correctamente essa realidade, compreender o alcance e limitações da medida que opta por utilizar. Por fim, e ligado umbilicalmente ao aspecto anterior, surge o problema de, em geral, diversas medidas serem possíveis com referência a uma mesma realidade. Este princípio geral não perde validade quando o que está em causa é a inovação.

⁴ Fagerberg (2005) discute em particular o significado do conceito de “novo”. Problematiza se o “ser novo” exige que o item em causa seja a manifestação, tangível ou intangível, de algo nunca utilizado anteriormente (ex. um princípio científico) em qualquer parte do mundo, ou se, no extremo oposto, basta que seja novo numa empresa ou organização específicos (independentemente da sua anterior utilização por terceiros). A dúvida de Fagerberg (2005) remete-nos para amplas discussões, sendo uma das mais pertinentes a questão de saber se a difusão constitui ou não parte da inovação (discutimos, no capítulo anterior, a posição de Bell e Pavitt (1993) a este respeito). É sabido, mediante a mera experiência histórica, que a difusão encerra, as mais das vezes, a capacidade de gerar inovações incrementais e melhorias no produto. A dúvida de Fagerberg (2005) pode por isso ser equacionada em termos de saber se a inovação tem de ser radical ou se é válido considerar como “item novo” uma inovação incremental.

Os pontos que vimos de enunciar são, para Smith (2005), fundamentais, na óptica da definição do que seja uma propriedade essencial do processo de medir a inovação: o exercício só terá interesse e relevância se assentar em alguma forma de comensurabilidade. Isto é, se existir pelo menos alguma vertente ou faceta comum nas múltiplas inovações e nos múltiplos tipos de inovação que autorizem a realização de comparações entre os diferentes valores tomados por essa medida.

As questões que vimos de aflorar, com ajuda do quadro de reflexão de Smith (2005) e Fagerberg (2005), são transversais aos múltiplos indicadores de inovação existentes. Importa-nos contudo reflectir sobre os dois mais comumente usados, mais não seja por razões de índole pragmática – uma vez que a condicionante da disponibilidade de informação enforma qualquer estudo empírico, e este capítulo não é excepção. São estes: as despesas em I&D e o número de registos de patentes. A consideração de indicadores bibliométricos sai claramente fora do âmbito deste estudo, inserindo-se numa perspectiva de análise das dinâmicas da ciência (um exemplo recente é o trabalho de Cruz e Teixeira (2007))⁵.

No que se refere ao primeiro, a sua popularidade nos estudos sobre tecnologia e inovação advém de um quadro mental de referência em que a investigação científica precede a inovação (Laestadius, 2003). Esta percepção foi desafiada por Rosenberg (1976, 1982), que discordava da existência de um carácter sequencial e determinístico no processo de inovação. Adicionalmente, partilhando as percepções de Fagerberg

⁵ Além dos três principais indicadores mencionados, existem outros com alguma tradição na literatura. Saviotti (1996 e 2001) e Grupp (1994 e 1998) discutem, quer de um ponto de vista conceptual quer de um ponto de vista empírico, o uso de indicadores baseados no desempenho técnico e nas características dos produtos. Por outro lado, a Comissão Europeia, o World Economic Forum e outras organizações produzem *scoreboards* de inovação (como o que serve de base de dados a este estudo), em que se procuram hierarquizar países ou regiões de acordo com indicadores de síntese ou compósitos. Em terceiro lugar, algumas instituições, como o prestigiado centro MERIT, da Universidade de Maastricht, constituem bases de dados de grande dimensão baseados em inquéritos a empresas. Nenhum deste tipo de indicadores tem contudo alcançado a relevância da I&D ou do registo de patentes na literatura empírica.

(2005) e de Bell e Pavitt (1993), entre diversos outros, Rosenberg (1976, 1982) discorda do paradigma em que a inovação é completamente isolada do processo de difusão, precisamente porque, como já argumentámos, ao longo da difusão produzem-se, muitas vezes, pequenas melhorias do produto (inovações incrementais), pelos próprios utilizadores ou em resposta a sugestões dos próprios utilizadores. Kline e Rosenberg (1986) desenvolvem assim o modelo da inovação em cadeia, que, seguindo Smith (2005: 150), pode ser sumariado em três ideias basilares. Em primeiro lugar, Kline e Rosenberg (1986) advogam que a inovação é um processo multidireccional, com avanços e retrocessos e sem quaisquer determinismos. Assim, estádios mais avançados podem proporcionar necessidades de ajustamento ao produto (digamos) que seriam comunicadas a estádios anteriores, induzindo uma dinâmica de complexidade: a inovação é, numa analogia matemática, um sistema complexo e não um sistema linear. Em segundo lugar, e claramente relacionado com o ponto anterior surge a percepção da inovação como um processo de aprendizagem. Por fim, Kline e Rosenberg (1986), na sequência do que dissemos em parágrafo anterior, consideram que a investigação e a descoberta não são condições necessárias de toda e qualquer inovação: nas estruturas organizativas das empresas, é muitas vezes a necessidade de resolver um problema com um produto já existente que conduz a melhorias desse produto (sem necessidade de um processo formal que começa no laboratório e acaba na linha de montagem). O departamento fabril pode reenviar o produto ao departamento de I&D e nesse sentido surgir uma inovação (Pavitt, 2005).

Em síntese, como argumenta Smith (2005), as ideias desenvolvidas individualmente por Rosenberg e conjuntamente com Kline têm implicações sobre a mensuração da inovação. A mais clara é a necessidade de um indicador de inovação

incorporar, na terminologia Schumpeteriana, não só inovações radicais mas também inovações incrementais. Adicionalmente, um bom indicador deve incluir, dado que a inovação é um processo complexo, não linear e com múltiplas interações dentro (e fora!) da unidade industrial, outros inputs da inovação que não apenas a I&D (sejam os casos do *design*, controlo de qualidade, formação de mão-de-obra, estudos exploratórios de mercados de novos produtos, etc.). Para mais, a crescente percepção da importância das partilhas de conhecimento (muitas vezes tácito, não codificado) em redes de colaboração entre empresas, e entre a empresa e organismos públicos levam a que a própria existência dessas redes seja um input que crescentemente se procura incorporar no cabaz mais tradicional dos inputs da inovação. Existem múltiplos esforços feitos no sentido da mensuração destes efeitos de *networking* (na secção respeitante à regressão de quantis daremos o exemplo da Finlândia, onde existem medidas que aferem o número de empresas que têm acordos com Universidades e institutos públicos de investigação). Howells (2000) sumaria a investigação existente nesta vertente.

As considerações teóricas que vêm de ser produzidas têm tido alguns impactos visíveis no uso da I&D como indicador de inovação. A solução que tem vindo a ser adoptada é inspirada na metodologia tradicional de quantificar a investigação pelo volume de despesas em I&D. De facto, estando em causa, por exemplo, capturar efeitos relacionados com competências e aprendizagem, enquanto inputs de inovação, é hoje em dia tentado, ao nível de inquéritos por questionário, procurar informação sobre algumas categorias de despesas em pessoal, em *design*, em formação profissional, etc. (Smith, 2005). Ao nível das inovações incrementais, e do lado dos outputs do processo de inovação, Smith (1992) considera que as empresas podem identificar alterações na

sua oferta que permitam mensurar as receitas provenientes de vendas dessas inovações incrementais (designadamente via coeficientes de imputação, existindo uma estimativa fiável da fracção do produto que corresponde ao incremento resultante da pequena inovação).

Os dados sobre despesas em I&D são hoje recolhidos com particular nível de pormenor, à luz das considerações teóricas produzidas anteriormente. Contudo, diremos com Smith (2005) que não é muitas vezes verdade que esse nível de detalhe transpareça para os discursos públicos ou para os principais rankings internacionais. Adicionalmente, Kleinknecht *et al.* (2002) discutem se o nível de especificação a que se chegou na desagregação de despesas em I&D, na sequência das preocupações de Rosenberg (1976, 1982) e Kline e Rosenberg (1986), é inteligível na leitura dos inquéritos, quando estes chegam a pequenas empresas.

Poder-se-á perguntar, dados os problemas que temos enunciado, se é de facto interessante continuar a usar dados sobre despesas em I&D para aferir a inovação. A principal razão para uma resposta positiva, como observa Smith (2005), prende-se com a abundância deste tipo de dados, quer numa dimensão temporal, quer numa dimensão seccional. Contudo, importará ter presente que os dados sobre despesas em I&D representam sempre um indicador de input (Kleinknecht *et al.*, 2002), o que é fortemente limitativo da sua valia. Dito de outra forma, e procurando interpretar a crítica em questão, o volume de despesas em I&D não revela qualquer informação sobre, por exemplo, o eventual desperdício ou a eventual eficácia com que são despendidas as verbas em apreço (este é, ademais, um problema transversal a todos os indicadores baseados apenas em inputs, seja qual for o ramo do conhecimento com que se esteja a lidar).

Consideremos agora aquele que tradicionalmente tem sido o outro grande indicador de actividade inovadora: o número de patentes registadas.

Usando a definição de Smith (2005: 158), uma patente representa um contrato público entre o inovador e o Estado, que garante ao primeiro um monopólio temporalmente limitado no uso da sua invenção. Schumpeter advogava ser este um mecanismo de incentivo essencial à inovação em economias de mercado: a procura de lucros de monopólio era a força motriz da actividade inovadora. Como observa Smith (2005), desde 1985 que se tem registado uma aceleração no ritmo de registo de patentes junto do US Patent Office (a par com o European Patent Office, um dos líderes mundiais na manutenção deste tipo de registos e dados). Não é contudo claro se esta tendência quase exponencial resulta de uma redução dos custos de patenteamento, de um aumento efectivo da inovação, ou de uma alteração do comportamento estratégico das empresas (Hall e Ziedonis (2001) e Kortum e Lerner (1999) debatem estes aspectos).

Smith (2005) associa um vasto conjunto de vantagens ao uso de patentes enquanto indicadores de inovação: desde o facto de usualmente apenas serem patenteadas (precisamente por existir um custo no registo) inovações com interesse comercial, até ao facto de o sistema de patentes guardar informações técnicas sobre as inovações, passando pela não negligenciável realidade (para efeitos de estudos empíricos como o que nos propomos realizar neste capítulo) de o registo de patentes permitir uma abundância de informação, tanto na dimensão seccional como na dimensão temporal.

Discordamos contudo de Smith (2005), conquanto este não aparenta vislumbrar problemas de vulto com o uso de patentes como indicadores de inovação. Se é certo que

as patentes têm, relativamente aos indicadores de I&D, vantagens assinaláveis decorrentes de serem um indicador de output e não exclusivamente um indicador de input como sucedia com aqueles, é também verdade que há pelo menos duas dimensões segundo as quais o registo de patentes pode subestimar a actividade inovadora numa economia: por um lado, nem todos os países exibem culturas semelhantes no que respeita à tradição do uso de patentes (parece consensual na literatura que esta tradição é, por exemplo, mais vincada nos EUA do que na UE, e que a UE não é uma realidade homogénea em si mesma quanto a tradições nesta matéria); por outro, é sabido que a facilidade do registo de patentes não é uniforme nos diversos sectores produtivos, acabando o desempenho inovador de um país ou região, se aferido por este indicador, por reflectir a sua especialização produtiva – o exemplo canónico nesta matéria contrasta a indústria automóvel, onde é escasso o recurso a registo de patentes, com a indústria química onde este é mais comum. O que está em causa nos exemplos das duas indústrias é a necessidade de um registo de patente detalhar e especificar com grande rigor em que consiste a inovação, o que é claramente mais simples se esta for uma fórmula química do que se se tratar de uma mudança a nível mecânico de um motor bem estudado. Um terceiro óbice que apontaríamos a este indicador tem a ver com a sua incapacidade de assimilar determinados tipos de inovação: desde inovação organizacional a inovação na estratégia de marketing. A patente está claramente concebida para inovações de produto e processo. E em particular é um indicador assente na distinção entre inovação e difusão que, como dissemos, não é necessariamente, apesar de ser uma tradição longa na Economia da Tecnologia, uma distinção meritória. De facto, o sistema de patentes não permite o registo da adopção de uma nova tecnologia por uma empresa como inovação, no sentido em que ela já esteja registada,

na área geográfica de referência, como invenção de outra empresa ou entidade. Há assim toda uma dinâmica de mudanças estruturais na economia que o registo de patentes não será capaz de acompanhar. Neste sentido, parece-nos que o número de patentes é também um indicador limitado de inovação. Será contudo a medida de inovação tida em conta nos estudos empíricos evolucionistas que se seguem neste capítulo, pois, como começamos por dizer, tem sobre as despesas de I&D a vantagem, a nosso ver não ultrapassada de modo simples, de ser um indicador de output e não de input.

2.4. A metodologia não paramétrica de análise de eficiência

A análise da eficiência produtiva de uma determinada actividade exige a escolha de uma tecnologia de referência (Tulkens, 1993), ou seja, um conjunto de possibilidades de produção cuja fronteira é utilizada para avaliar as unidades produtivas observadas (Grosskopf, 1986). Efectivamente, os resultados obtidos numa análise deste tipo são bastante sensíveis às diferentes especificações desta fronteira.

A escolha de actividades do sector público para aplicação de análises baseadas na fronteira de eficiência é frequente. Uma justificação forte para este facto foi dada por Bronwyn Hall numa sua observação (referenciada em Tulkens (1993: 183)), que assenta na ideia de que o sector público é aquele onde a análise da fronteira de produção é mais útil na medida em que, ao contrário do sector privado, não é possível utilizar a selecção Darwiniana como base para eliminar as unidades de decisão ineficientes. A selecção opera muito mais lentamente.

Contudo, a observação de Bronwyn Hall assume de alguma forma a inexistência de risco moral nas unidades de decisão (*Decision Making Units – DMUs*)⁶ privadas. Bogetoft (1994) considerou explicitamente o problema de agência na análise de eficiência, isto é, o problema da adequação de diversas fronteiras de eficiência à necessidade de, em ambientes caracterizados pela existência de elevada incerteza e risco moral, se desenvolverem contratos com incentivos adequados. O autor conclui que todos os tipos de fronteira considerados geram incentivos de forma eficiente, sob certas condições consideradas pouco exigentes. A análise de fronteiras de eficiência pode por isso, também, ser de grande interesse em aplicações ao sector privado.

Tulkens (1986) levanta a questão de saber se a eficiência produtiva, e concomitantemente a sua medição, é um objectivo coerente para serviços públicos. Segundo o autor, este objectivo só é razoável se for plausível que o serviço opere sempre na fronteira do seu conjunto de produção. Diamond e Mirrlees (1971) e Marchand *et al.* (1984) demonstram a razoabilidade deste objectivo a partir de modelos da teoria económica neoclássica. Estes modelos permitiram concluir também que o objectivo da eficiência produtiva no sector público é compatível com a existência de outros (redistribuição, financeiros, etc.).

A opção por métodos não paramétricos na análise da eficiência do sector público é justificada por Moesen e Persoon (2002). Os autores argumentam que os serviços públicos produzem muitas vezes múltiplos outputs a partir de inputs heterogéneos. Esta característica dos serviços públicos dificulta a explicitação paramétrica de uma tecnologia de produção.

⁶ Designação introduzida por Charnes *et al.* (1978) para descrever o conjunto de empresas, departamentos, divisões ou unidades administrativas que têm inputs e outputs comuns e cuja eficiência está a ser analisada.

Deprins *et al.* (1984) introduziram na análise de eficiência uma tecnologia de referência, não muito notada até então e mais tarde rotulada como conjunto de produção FDH. Esta metodologia não paramétrica de análise de eficiência será a usada nesta dissertação.

Esta secção está organizada da seguinte forma. Na subsecção 2.4.1 são apresentados os conjuntos de produção associados às tecnologias de referência mais comuns na análise não paramétrica de eficiência. Ilustra-se a diferença entre o FDH e o seu antecessor directo na família de métodos não paramétricos determinísticos de análise de eficiência, o *Data Envelopment Analysis* (DEA). Um esboço da confrontação empírica dos dois métodos é elaborado. Na subsecção 2.4.2, são discutidos diversos conceitos de eficiência estática e apresentados os instrumentos necessários a uma extensão dinâmica. É estudado em detalhe o cômputo da eficiência técnica.

2.4.1. Conjuntos de Produção de Referência

O conjunto de produção associado a uma determinada actividade produtiva é por norma desconhecido, sendo necessário construí-lo para executar a análise de eficiência pretendida (Deprins *et al.*, 1984). Assim sendo, e possuindo dados estatísticos sobre factores de produção utilizados e produtos obtidos, o método do analista de eficiência assentará na comparação entre as observações e a fronteira do conjunto construído (Tulkens, 1993).

O conjunto de produção é construído de acordo com alguns pressupostos. Naturalmente, a adopção de distintos pressupostos pode implicar diferenças nas “estimativas” numéricas da eficiência (Deprins *et al.*, 1984: 248).

Os pressupostos necessários para construir um conjunto de produção de referência, Y , podem ser expressos em termos dos elementos que este deve conter (Tulkens, 1993). Assim, e designando por plano de produção qualquer vector $z = (y, -x)$, sendo x o vector de inputs e y o vector de outputs, teremos como elementos pertencentes a este conjunto:

P.1 Todos os planos de produção observados (pressuposto determinista)⁷.

P.2 Qualquer plano de produção não observado z' que satisfaça a seguinte condição: Se $z \in Y$ e $z' \leq z \Rightarrow z' \in Y$. (pressuposto de *free disposability*)⁸.

P.3 Qualquer plano de produção não observado que é uma combinação convexa de alguns planos de produção gerados pelos dois pressupostos anteriores (pressuposto da convexidade). Ou seja,

$$\alpha z + (1 - \alpha)z' \in Y, \forall z, z': z \in Y \wedge z' \leq z, \forall \alpha \in [0, 1].$$

P.4 Qualquer plano de produção não observado que é uma combinação convexa de alguns planos de produção gerados pelos dois primeiros pressupostos e a origem do espaço input-output (pressuposto da proporcionalidade parcial). Ou seja,

$$\alpha_1 z + \alpha_2 z' + (1 - \alpha_1 - \alpha_2)\vec{0} \in Y, \forall z, z': z \in Y \wedge z' \leq z, \forall \alpha_1, \alpha_2 \in [0, 1]: (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \in [0, 1].$$

P.5 Qualquer plano de produção não observado que é proporcional a algum plano gerado pelos dois primeiros pressupostos (pressuposto da proporcionalidade completa).

Ou seja,

$$k_1 z \in Y \wedge k_2 z' \in Y, \forall z, z': z \in Y \wedge z' \leq z, \forall k_1, k_2 \in \mathfrak{R}^+.$$

⁷ Este pressuposto elimina os elementos estocásticos, contrariamente ao que é feito ao nível das metodologias paramétricas.

⁸ Que é o mesmo que dizer: qualquer plano de produção não observado com níveis de output iguais ou mais baixos que aqueles de alguns planos de produção observados e mais de pelo menos um input; ou com níveis de input iguais ou maiores que aqueles de alguns planos de produção observados e menos de pelo menos um output; ou ainda, com ambas as propriedades referidas.

Os pressupostos P.1 e P.2 são suficientes para gerar um conjunto de referência poliedral que possua todas as propriedades mínimas de um conjunto de produção requeridas pela teoria económica. Adicionalmente, estes pressupostos implicam que o conjunto Y seja o *free disposable hull* dos planos observados e, por isso, é normal denotar-se o conjunto por Y_{FDH} . Este conjunto satisfaz então a assunção de *free disposability* dos inputs (Deprins *et al.*, 1984; Varian, 1984), ou seja:

$$\text{se } x \in X(y) \wedge x' \geq x \Rightarrow x' \in X(y)$$

e a assunção de *strong disposability* dos outputs (Deprins *et al.*, 1984), ou seja:

$$\text{se } y \in Y(x) \wedge y' \leq y \Rightarrow y' \in Y(x)$$

sendo o conjunto $X(y)$ definido pela correspondência $y \rightarrow X(y) = \{x : (y, -x) \in Y\}$ e $Y(x)$ pela correspondência $x \rightarrow Y(x) = \{y : (y, -x) \in Y\}$.⁹

Por outro lado, o conjunto Y é um *disposable hull*. O *disposable hull* de f , abreviando para $hull(f)$, é definido por Moore (1999) como sendo:

$$hull(f) = \{(y, x) \in X(y) \times \mathfrak{R} \mid x \in X(y) \text{ e } y \leq f(x)\},$$

onde $X(y)$ é um subconjunto convexo de um espaço vectorial e $f : X(y) \rightarrow \mathfrak{R}$.

O conjunto Y_{FDH} é então definido da seguinte forma (adaptado de Deprins *et al.*, 1984):

$$Y_{FDH} = \left\{ (y, x) \in \mathfrak{R}_+^{J+I} : (y, x) = (y^k, x^k) + \mu(\bar{0}, \bar{1}) - v(\bar{1}, \bar{0}), \right. \\ \left. (y^k, x^k) \in Y_0 \cup \{(\bar{0}, \bar{0})\}, k = 1, 2, \dots, n; \mu \geq 0; v \geq 0 \right\} \quad (2.1)$$

⁹ $X(y)$ associa a todo o vector de outputs y , a família de vectores de inputs x tal que $(y, -x)$ seja um ponto atingível, ou seja, um ponto possível do conjunto de produção. Analogamente, $Y(x)$ associa a todo o vector de inputs x , a família de vectores de outputs y tal que $(y, -x)$ seja um ponto atingível. Desta feita, Y pode ser descrito indiferentemente por uma ou outra correspondência, isto é:

$$Y = \{(y, -x) : y \in \mathfrak{R}_+^J, x \in X(y)\} = \{(y, -x) : x \in \mathfrak{R}_+^I, y \in Y(x)\}.$$

sendo μ e v escalares não negativos e $Y_0 = \{(x^k, y^k) \mid k = 1, \dots, n\}$. Y_0 é o conjunto de n planos de produção observados, onde x^k é um vector das quantidades de I inputs usados e y^k é um vector das quantidades de J outputs obtidos.

Adicionando o pressuposto P.3 aos dois primeiros pressupostos, obtém-se um dos conjuntos de referência convexos¹⁰ poliedrais usados na análise DEA, designadamente aquele proposto por Banker *et al.* (1984). Este conjunto exhibe rendimentos variáveis à escala e é definido como (adaptado de Deprins *et al.*, 1984):

$$Y_{DEA-V} = \left\{ (y, x) \in \mathfrak{R}_+^{J+I} : (y, x) = \sum_{k=1}^n \gamma^k (y^k, x^k) + \mu(\bar{0}, \bar{1}) - v(\bar{1}, \bar{0}), \right. \\ \left. \gamma^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, n; \sum_{k=1}^n \gamma^k = 1; \mu \geq 0; v \geq 0 \right\} \quad (2.2)$$

sendo γ^k os coeficientes de intensidade, ou seja, o peso de cada observação na determinação da fronteira.

A metodologia não paramétrica DEA pressupõe a convexidade da tecnologia de produção. De facto, a metodologia FDH é um desenvolvimento desta através da remoção do pressuposto da convexidade na construção da tecnologia de referência.

Os pressupostos P.1-P.4 resultam num poliedro convexo com rendimentos não crescentes, o qual pode denotar-se por Y_{DEA-NC} . Este conjunto é dado por (adaptado de Deprins *et al.*, 1984):

¹⁰ Neste caso tem-se o *hull* convexo, que é o menor conjunto convexo que contém um conjunto original não convexo (Ostaszewski, 1999). Este conjunto convexo pode ser escrito como (Takayama, 1985):

$$C(S) = \left\{ \sum_{i=1}^m \alpha_i x^i : x^i \in S, \alpha_i \in \mathfrak{R}, \alpha_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \right\},$$

onde m e a escolha de x^i e α_i são arbitrários, e S é o conjunto original.

$$Y_{DEA-NC} = \left\{ (y, x) \in \mathfrak{R}_+^{J+I} : (y, x) = \sum_{k=1}^n \gamma^k (y^k, x^k) + \mu(\bar{0}, \bar{1}) - v(\bar{1}, \bar{0}), \right. \\ \left. \gamma^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, n; \sum_{k=1}^n \gamma^k \leq 1; \mu \geq 0; v \geq 0 \right\} \quad (2.3)$$

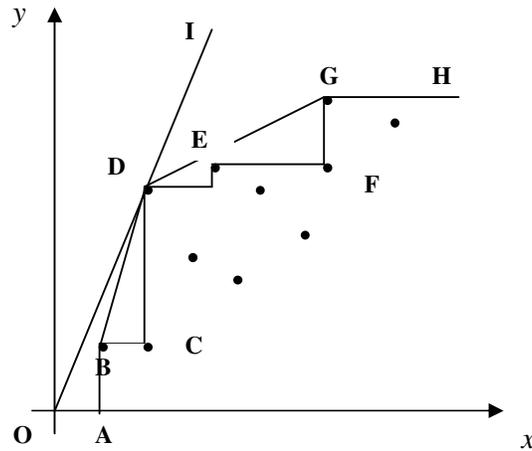
Por fim, e juntando todos os pressupostos, o conjunto de referência obtido é aquele utilizado na forma original da análise DEA proposta por Charnes *et al.* (1978), e que é o mesmo de Farrell (1957) e de Farrell e Fieldhouse (1962). O conjunto em causa apresenta a forma de um cone formado a partir da origem do espaço das quantidades de inputs e outputs, o que implica a existência de rendimentos constantes à escala¹¹ e, como tal, denotar-se-á por Y_{DEA-C} . Este conjunto designa-se por cone de Farrell e é dado por (adaptado de Deprins *et al.*, 1984):

$$Y_{DEA-C} = \left\{ (y, x) \in \mathfrak{R}_+^{J+I} : (y, x) = \sum_{k=1}^n \gamma^k (y^k, x^k) + \mu(\bar{0}, \bar{1}) - v(\bar{1}, \bar{0}), \right. \\ \left. \gamma^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, n; \mu \geq 0; v \geq 0 \right\} \quad (2.4)$$

É possível, e mais intuitivo, efectuar a análise gráfica destes conjuntos. Assim sendo, observe-se a figura 2.1, na qual se representa, para o caso de um output – um input, as fronteiras dos vários conjuntos de produção de referência referidos. Os planos de produção observados são representados por pontos.

¹¹ Pioneiramente, a abordagem não paramétrica foi levada a cabo sob pressupostos muito fortes relativamente aos rendimentos à escala. Contudo, Afriat (1972) demonstrou a possibilidade de gerar uma fronteira de produção abandonando a restrição de rendimentos constantes à escala.

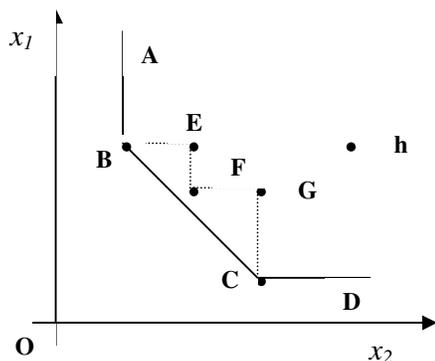
Figura 2.1. Fronteiras dos Conjuntos de Produção de Referência



A fronteira de Y_{FDH} é a linha em escada ABCDEFGH. Este conjunto está contido em Y_{DEA-V} , que tem por fronteira a linha gerada por segmentos lineares ABDGH, o qual está por sua vez contido em Y_{DEA-NC} , cuja fronteira é ODGH. Finalmente, o conjunto Y_{DEA-NC} está contido no cone de Farrell, Y_{DEA-C} , cuja fronteira é ODI.

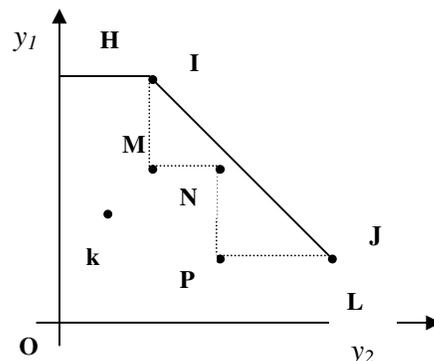
As figuras 2.2 e 2.3 permitem ilustrar $X(y)$ e $Y(x)$, respectivamente, considerando apenas dois inputs e dois outputs. A isoquanta ou fronteira de $X(y)$ gerada pelo método de DEA é dada pelos segmentos ABCD enquanto ABEFGCD é a fronteira construída pelo FDH. De forma similar, a fronteira de $Y(x)$ construída pelo DEA é dada pelos segmentos HIJL, e a fronteira gerada pelo FDH é HIMNPJL. As observações h e k pertencem ao interior do conjunto $X(y)$ e ao interior de $Y(x)$, respectivamente.

Figura 2.2. Conjuntos de Referência das Necessidades de Inputs



Fonte: Adaptado de Tulkens (1993)

Figura 2.3. Conjuntos de Referência das Possibilidades de Outputs



Fonte: Adaptado de Tulkens (1993)

É importante referir que os modelos DEA foram sofrendo outras alterações ao longo do tempo além daquelas aqui já apontadas.

O conceito *Data Envelopment Analysis*, como já foi referido, foi introduzido por Charnes *et al.* (1978), mas a origem da metodologia é normalmente associada a Farrell (1957)¹². Contudo, entre 1957 e 1978, o contributo de Farrell (1957) foi de alguma forma ignorado (Russell, 1998). Apesar disso, existiram desenvolvimentos, que não sendo largamente conhecidos, foram também de extrema importância (Førsund e Sarafoglou, 2002).

Assim, e no que respeita à abordagem não paramétrica, surgiram neste período vários estudos conduzidos por um grupo de economistas agrícolas de *Berkeley* – nomeadamente, Boles (1967, 1971) e Seitz (1970, 1971) – em que se desenvolveram esforços no sentido de melhorar o método de estimação de eficiência de Farrell,

¹² Thompson e Thrall (1993) identificam, após Farrell (1957), três escolas de pensamento, designadamente, a Escola de Afriat (abordagem paramétrica), a Escola de Charnes (abordagem não paramétrica) e a Escola de Shepard (teoria axiomática da produção).

utilizando um modelo de programação linear¹³ que se tornou central em Charnes *et al.* (1978) (Førsund e Sarafoglou, 2002). Refira-se que Farrell e Fieldhouse (1962) também tinham utilizado o modelo de programação linear que o grupo de *Berkeley* desenvolveu posteriormente.

Após Charnes *et al.* (1978), verificaram-se vários desenvolvimentos e aplicações da metodologia a diversas áreas (Seiford, 1996).

Charnes *et al.* (1982, 1983) propuseram os modelos multiplicativos de DEA, que geram fronteiras constituídas por segmentos não lineares (do tipo log-lin ou log-log). Por outro lado, Charnes *et al.* (1985) desenvolveram os modelos aditivos, em que as fronteiras construídas são lineares e os rendimentos à escala considerados são variáveis.

Färe *et al.* (1985, 1994), considerando distintos pressupostos quanto aos rendimentos à escala e quanto à monotonicidade da tecnologia de produção, construíram várias fronteiras para o caso de múltiplos outputs e múltiplos inputs.

Posteriormente, surgem outros desenvolvimentos com a consideração nestes modelos de variáveis *dummy* (Banker e Morey, 1986a; Cook *et al.*, 1996) e de variáveis não discricionárias ou fixadas exogenamente (Banker e Morey, 1986b) – definidas como sendo aquelas que estão fora do controlo da unidade de decisão em análise (Charnes *et al.*, 1994). Ainda relativamente às variáveis, Charnes *et al.* (1994) apresentaram formas de inclusão na análise de informação prévia sobre estas, facto que possibilita evitar soluções pouco aderentes à realidade.

Acrescente-se também que Lovell (1993) defende a importância da investigação relacionada com a introdução de propriedades estatísticas neste tipo de modelos, que são na sua maioria determinísticos e, como tal, não permitem a inferência estatística.

¹³ O cômputo da eficiência será discutido na secção 2.4.2.

Dessa forma, o modelo em causa seria, como designa Lovell (1993), um DEA estocástico. Uma comparação entre os modelos DEA estocástico e determinístico é efectuada por Hjalmarsson *et al.* (1996).

No que concerne à qualidade de ajustamento dos dados, enquanto o cone de Farrell é a forma mais inexacta de descrever o conjunto de dados, a fronteira FDH é, no extremo oposto, a metodologia que evidencia melhor ajustamento entre aquelas aqui consideradas (Tulkens, 1993). Este facto verifica-se, fundamentalmente, devido à ausência da assunção de convexidade na definição do conjunto FDH.

Diversos estudos empíricos têm procurado fazer o confronto entre tecnologias de referência DEA com vários tipos de rendimentos à escala e a tecnologia de referência FDH com rendimentos variáveis (o FDH *standard*, tal como proposto por Deprins *et al.* (1984)). Não sendo objecto desta dissertação a comparação destas duas metodologias, pretende-se aqui, contudo, dar nota de alguns dos principais resultados, que concluem em favor da tecnologia FDH no que respeita à qualidade de ajustamento dos dados, confirmando a intuição de Tulkens (1993).

Vanden Eeckaut *et al.* (1993) procuram confrontar a tecnologia FDH com tecnologias de referência DEA com rendimentos constantes à escala, rendimentos variáveis e rendimentos não crescentes. Os autores utilizam dados respeitantes às despesas de municípios belgas. Duas medidas de qualidade de ajustamento dos dados são propostas: por um lado, de entre as unidades identificadas como eficientes pelo FDH pretende-se ver quais as que também o são pelo DEA, por outro, pretende-se ver a percentagem de excesso de despesa implicada por cada um dos métodos. A intuição para a primeira destas medidas é clara: se uma DMU é eficiente de acordo com o FDH

(isto é, não é dominada por nenhuma outra DMU existente) e não é eficiente pelo DEA, a ineficiência DEA resulta de dominação por uma DMU fictícia (uma combinação convexa de DMUs existentes). Nesse sentido, a classificação dessa DMU como ineficiente é entendida como fictícia. Em relação à segunda das medidas, Vanden Eeckaut *et al.* (1993) consideram que quanto menor for a estimativa da percentagem de excesso de despesa melhor a qualidade de ajustamento associada ao método em causa.

Os resultados obtidos pelos autores são favoráveis ao FDH. Por um lado, no que se refere à primeira medida da qualidade de ajustamento dos dados, e tomando por referência os 82 municípios na classe de despesa anual entre 100 e 199 milhões de francos belgas, os autores concluem que 52 municípios são eficientes em termos de uma tecnologia de referência FDH mas não de uma tecnologia de referência DEA. É evidente então que esta ineficiência resulta inteiramente do pressuposto da convexidade. Ademais, conclusões semelhantes são tiradas para outras classes de despesa da amostra¹⁴.

No que se refere ao segundo indicador de qualidade de ajustamento dos dados considerado, Vanden Eeckaut *et al.* (1993) concluem que enquanto no FDH o excesso de despesa é de 2,1%, nos diversos modelos DEA oscila entre os 19% e os 33%. À luz das considerações anteriores, a qualidade de ajustamento dos dados é superior na metodologia FDH.

Como nota final desta secção importa não ignorar os esforços envidados no sentido de considerar tecnologias de referência FDH com outros tipos de rendimentos à

¹⁴ Kerstens e Vanden Eeckaut (1998) desenvolvem uma decomposição da eficiência que lhes permite concluir que entre 10% e 16% da *Overall Technical Inefficiency* calculada mediante uma tecnologia de referência DEA pode ser directa e inequivocamente atribuída ao pressuposto da convexidade. A secção seguinte explicita a noção de *Overall Technical Efficiency*, bem como o processo de cálculo da componente de ineficiência atribuído ao pressuposto da convexidade.

escala. O conjunto de produção Y_{FDH} apresentado em (2.1) corresponde à versão original sugerida por Deprins *et al.* (1984) e compreende rendimentos variáveis à escala. Este é claramente o pressuposto menos restritivo que é passível de implementação a nível de rendimentos à escala. Contudo, como observam Lovell e Vanden Eeckaut (1994), os rendimentos variáveis à escala são ainda menos restritivos no âmbito de uma tecnologia de produção não convexa do que no âmbito de uma tecnologia convexa. Nesta última, rendimentos variáveis à escala implicam, *de facto*, rendimentos que são numa primeira fase crescentes e depois decrescentes.

Kerstens e Vanden Eeckaut (1999) desenvolvem uma importante extensão do conjunto de produção Y_{FDH} tradicional por forma a este passar a comportar outro tipo de rendimentos à escala. Em concreto, a primeira das novas tecnologias introduzidas diz respeito a um conjunto de produção com rendimentos constantes à escala e que é dado por:

$$Y_{FDH-C} = \{(y, x) : N' \gamma_1 \geq y, M' \gamma_1 \leq x, I'_n \gamma_2 = 1, \gamma_2^h \in \{0,1\}, \gamma_1 = \delta \gamma_2\}$$

onde γ_1 e γ_2 são vectores $n \times 1$ de parâmetros de intensidade, N e M são as matrizes $n \times J$ e $n \times I$ de, respectivamente, outputs e inputs observados, e finalmente, I_n é o vector unitário de dimensão $n \times 1$. Adicionalmente, e para evitar a imposição de convexidade, o vector de intensidade γ_2 contém zeros ou uns, ou seja, $\gamma_2^h \in \{0,1\}$, $h = 1, \dots, n$. δ é um parâmetro escalar positivo.

Outra tecnologia introduzida em Kerstens e Vanden Eeckaut (1999) respeita ao conjunto de produção FDH com rendimentos à escala não crescentes:

$$Y_{FDH-NC} = \{(y, x) : N' \gamma_1 \geq y, M' \gamma_1 \leq x, I'_n \gamma_2 = 1, \gamma_2^h \in \{0,1\}, \gamma_1 = \delta \gamma_2, \delta \leq 1\}$$

em que a diferença face ao conjunto anterior resulta da imposição de uma restrição sobre o valor máximo do parâmetro δ . Nesta conformidade, o conjunto de produção FDH com rendimentos à escala não decrescentes pode ser definido como:

$$Y_{FDH-ND} = \{(y, x) : N' \gamma_1 \geq y, M' \gamma_1 \leq x, I'_n \gamma_2 = 1, \gamma_2^h \in \{0,1\}, \gamma_1 = \delta \gamma_2, \delta \geq 1\}$$

em que é imposto um limite inferior a δ .

2.4.2. Cômputo das Medidas de Eficiência

Diversas noções de eficiência foram propostas desde os trabalhos pioneiros de Koopmans (1951) e Debreu (1951). Uma taxinomia dos diversos conceitos foi elaborada por Färe *et al.* (1983, 1985, 1994).

Nesta secção são analisadas algumas componentes da eficiência produtiva, nomeadamente, a eficiência técnica.

A definição formal de eficiência técnica, proposta por Koopmans (1951), corresponde a planos de produção em que: um aumento da quantidade de um output exige a redução de quantidade de pelo menos um outro output ou o aumento da quantidade de pelo menos um input; e a redução da quantidade de um input exige o aumento da quantidade de pelo menos outro input ou a redução de pelo menos um output. Debreu (1951) e Farrell (1957) operacionalizaram uma medida da eficiência técnica. A medida de Debreu-Farrell (orientada para os inputs) corresponde a um menos a máxima redução equiproporcional em todos os inputs que permite continuar a produzir a mesma quantidade de output.

De uma forma informal diremos que a eficiência técnica corresponde a situações em que o plano de produção é um ponto da fronteira do conjunto de possibilidades de

produção. Um plano de produção é tecnicamente ineficiente quando é um ponto no interior do conjunto de produção.

A função distância dos inputs ou dos outputs é uma noção enraizada na teoria económica da produção desde os trabalhos de Shephard (1953, 1970). O inverso da função distância dos inputs corresponde à medida de eficiência técnica de Debreu-Farrell. Chambers *et al.* (1996, 1998) e Luenberger (1992) introduziram uma noção mais abrangente de função distância direccional generalizada. Este novo instrumento atraiu grande atenção por compreender como casos especiais diversas medidas de eficiência técnica, mais notoriamente a medida de Debreu-Farrell. Na sequência deste interesse assistiu-se a uma proliferação de aplicações empíricas no âmbito de uma tecnologia de referência DEA (exemplos pertinentes são Halme *et al.* (1999) e Halme e Korhonen (2000)). O mesmo dinamismo esteve longe de se verificar no que se refere a aplicações usando a tecnologia de referência FDH.¹⁵

A eficiência de escala corresponde a planos de produção compatíveis com o equilíbrio competitivo de longo prazo (Färe *et al.*, 1994).

As medidas de eficiência técnica (*TE*) e de escala (*SCE*) são mutuamente exclusivas e exaustivas, permitindo uma decomposição multiplicativa da chamada *Overall Technical Efficiency (OTE)*:

$$OTE = SCE \times TE ,$$

onde *OTE* corresponde à eficiência técnica medida relativamente a uma tecnologia com rendimentos à escala constantes e *TE* é a eficiência técnica medida com respeito a uma tecnologia com rendimentos variáveis.

¹⁵ Este facto é frequentemente atribuído a dificuldades computacionais associadas à programação inteira mista. Cherchye *et al.* (2001) sugeriram uma extensão do algoritmo de enumeração completa proposto por Tulkens (1993), por forma a facilitar o cômputo da função distância direccional com uma tecnologia FDH.

Esta decomposição é válida para tecnologias convexas e para a tecnologia FDH (Vanden Eeckaut, 1997).

Mairesse e Vanden Eeckaut (2002), no âmbito de uma tecnologia FDH, utilizam uma noção de rendimentos à escala restritos, que permite a decomposição multiplicativa da eficiência de escala em duas parcelas: uma respeitante à ineficiência de curto/médio prazo, isto é, tomando a escala de operações como um dado; outra respeitante à diferença entre a eficiência de escala no curto/médio prazo e a de longo prazo.

Kerstens e Vanden Eeckaut (1998) demonstram que a *OTE* medida relativamente a uma tecnologia convexa não pode exceder a *OTE* avaliada com uma tecnologia não convexa. A diferença entre as duas medidas pode assim ser inteiramente imputada à convexidade. Os autores introduzem a noção de *convex related efficiency (CRE)*, que definem através do rácio:

$$CRE = \frac{OTE^{convexa}}{OTE^{não\ convexa}}.$$

Dado que $0 < OTE^{convexa} \leq 1$, $0 < OTE^{não\ convexa} \leq 1$ e $OTE^{convexa} \leq OTE^{não\ convexa}$, $0 < CRE \leq 1$.

A eficiência produtiva tem outra componente fundamental além da eficiência técnica: a eficiência preço (Farrell, 1957). Farrell (1957) define a eficiência produtiva como o produto da eficiência técnica e da eficiência preço. A eficiência preço refere-se à capacidade de uma DMU para combinar inputs numa proporção óptima dados os respectivos preços. O conceito de eficiência preço pressupõe um objectivo comportamental e Farrell (1957) assume que cada DMU tem como objectivo a minimização do custo.

Outras noções de eficiência têm sido propostas tendo em vista outros objectivos comportamentais das DMUs. Releva aqui considerar a eficiência lucro, sugerida por

Nerlove (1965). A eficiência lucro nerloviana compara o nível de lucros obtidos com o nível de lucros máximo que é possível obter, dada a tecnologia existente e os preços de inputs e outputs. Um plano de produção é eficiente se, para uma dada tecnologia e um dado nível de preços, proporcionar esse máximo lucro possível.

O conceito de eficiência lucro esteve na base da crítica de Thrall (1999) à metodologia FDH. O autor argumentou que o FDH carecia de significado económico uma vez que as unidades consideradas tecnicamente eficientes quando este método era usado não eram necessariamente eficientes no sentido de Nerlove. Cherchye *et al.* (2000) contrargumentaram que a eficiência técnica não é, independentemente de se supor uma tecnologia FDH ou outra, uma condição suficiente para a eficiência lucro. Desta forma, e contrariamente ao pretendido por Thrall (1999), o significado económico do conjunto de produção FDH não pode ser negado (Cherchye *et al.*, 2000).

As noções de eficiência analisadas foram apresentadas implicitamente num contexto estático. Subjacente está a existência de uma amostra *cross section* de DMUs para definir o conjunto de produção. No entanto, em diversas aplicações empíricas, existem dados em painel, isto é, observações das mesmas DMUs ao longo do tempo. Nesse enquadramento seria possível efectuar uma análise dinâmica, e mesmo identificar movimentos na fronteira de produção como correspondendo a progresso ou regressão técnicos (Tulkens e Vanden Eeckaut, 1995). Os conjuntos de produção introduzidos em Tulkens (1986) e Thiry e Tulkens (1988) são fundamentais para levar a cabo este tipo de análise. Em concreto, para os períodos $t = 1, \dots, T$ para os quais se disponha de observações, são sugeridas três formas de definição do conjunto de produção:

1. conjuntos de produção contemporâneos: para cada período t , apenas as observações (x^{kt}, y^{kt}) , $k = 1, \dots, n$, determinam o conjunto de produção, denotado Y_C^t . A forma destes subconjuntos pode variar de período para período.
2. conjuntos de produção sequenciais: para cada período t , todas as observações deste período, bem como dos períodos antecedentes, $(x^{k\tau}, y^{k\tau})$, $k = 1, \dots, n$, $\tau = 1, \dots, t$, determinam o conjunto de produção, denotado Y_S^t . A forma destes conjuntos ao longo do tempo é tal que: $Y_S^\tau \subseteq Y_S^t$, $\forall \tau \leq t$.
3. conjuntos de produção intertemporais: para cada período t , todas as observações de todos os períodos, (x^{kt}, y^{kt}) , $k = 1, \dots, n$, $t = 1, \dots, T$, determinam o conjunto de produção, denotado Y_I^t . Este conjunto é idêntico em todos os períodos.

A última destas opções conduz a uma medida de eficiência intertemporal, não permitindo a percepção de existência de progresso ou regressão técnicos ao longo do tempo. O mesmo não sucede com as duas primeiras. Tulkens e Vanden Eeckaut (1995: 86) consideram que os conjuntos de produção sequenciais são particularmente apelativos, uma vez que, como resulta da definição acima, estão contidos sequencialmente uns nos outros, sendo o mais recente o conjunto envelope de todos os anteriores.

Após as considerações feitas sobre diversos conceitos de eficiência num contexto estático importa salientar que, em coerência com a componente empírica desta dissertação, o remanescente desta secção se referirá somente à eficiência técnica, e que a análise será sempre desenvolvida numa perspectiva estática.

As medidas de eficiência técnica radiais¹⁶ respeitantes à tecnologia de referência Y_{DEA-C} são obtidas através dos problemas de programação linear (2.5) e (2.6). Assim, o índice de eficiência técnica na utilização dos inputs da observação k , dadas as quantidades de outputs, é o valor θ^{k*} da solução óptima do problema apresentado de seguida:

$$\begin{aligned} & \underset{\{\theta^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Min}} \theta^k, \text{ sujeito a} \\ & \theta^k x_i^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \geq 0, \quad i = 1, \dots, I, \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h y_j^h \geq y_j^k, \quad j = 1, \dots, J, \\ & \gamma^h \geq 0, \quad h = 1, \dots, n; \end{aligned} \tag{2.5}$$

onde γ^h são coeficientes de intensidade. De forma similar, o índice de eficiência técnica na produção dos outputs da observação k , dadas as quantidades de inputs, é o valor λ^{k*} da solução óptima do seguinte problema de programação:

$$\begin{aligned} & \underset{\{\lambda^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Max}} \lambda^k, \text{ sujeito a} \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \leq x_i^k, \quad i = 1, \dots, I, \\ & \lambda^k y_j^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h y_j^h \leq 0, \quad j = 1, \dots, J, \\ & \gamma^h \geq 0, \quad h = 1, \dots, n. \end{aligned} \tag{2.6}$$

¹⁶ Para além da necessidade de especificar cuidadosamente a tecnologia de referência, descrevendo esta o conjunto de possibilidades de produção e a sua fronteira, existe um outro aspecto de grande importância a ter em conta aquando do cálculo da ineficiência técnica. Designadamente, para medir a eficiência impõe-se a definição de um conceito de distância que relacione os vectores de inputs e outputs observados e a fronteira postulada. Na realidade, existem formas alternativas de medir a eficiência técnica relativamente a uma dada tecnologia de referência.

A literatura empírica baseia-se sobretudo em medidas radiais, tal como foram propostas por Debreu (1951) e Farrell (1957). As medidas de eficiência radiais definem o grau de ineficiência de uma determinada observação em função da sua distância à isoquanta, pelo que as quantidades são ajustadas proporcionalmente em todas as dimensões relevantes, ou seja, aquelas em análise.

Todavia, e com base na definição de eficiência técnica de Koopmans (1951), Färe e Lovell (1978) introduziram a análise de eficiência definida em termos do subconjunto eficiente, em contraposição à utilização da isoquanta. Como exemplos de estudos seguidores deste tipo de medida de eficiência podem apontar-se Zieschang (1984), Bol (1986) e Russell (1988).

À luz dos argumentos desenvolvidos na literatura, optamos por utilizar as medidas de eficiência radiais na componente empírica desta dissertação.

Adicionando a ambos os problemas a restrição:

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h \leq 1 \quad (2.7)$$

equivale a ter Y_{DEA-NC} como conjunto de referência. Alternativamente, se a restrição for:

$$\sum_{h=1}^n \gamma^h = 1 \quad (2.8)$$

significará assumir como conjunto de produção de referência o conjunto Y_{DEA-V} .

Os índices de eficiência técnica utilizando o método FDH são obtidos através dos seguintes problemas:

$$\begin{aligned} & \underset{\{\theta^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Min}} \theta^k, \text{ sujeito a} \\ & \theta^k x_i^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \geq 0, \quad i = 1, \dots, I, \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h y_j^h \geq y_j^k, \quad j = 1, \dots, J, \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h = 1 \\ & \gamma^h \in \{0, 1\}, \quad h = 1, \dots, n; \end{aligned} \quad (2.9)$$

com $k = 1, \dots, n$, e, no que respeita aos outputs:

$$\begin{aligned} & \underset{\{\lambda^k, \gamma^h, h=1, \dots, n\}}{\text{Max}} \lambda^k, \text{ sujeito a} \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h \leq x_i^k, \quad i = 1, \dots, I, \\ & \lambda^k y_j^k - \sum_{h=1}^n \gamma^h y_j^h \leq 0, \quad j = 1, \dots, J, \\ & \sum_{h=1}^n \gamma^h = 1 \\ & \gamma^h \in \{0, 1\}, \quad h = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (2.10)$$

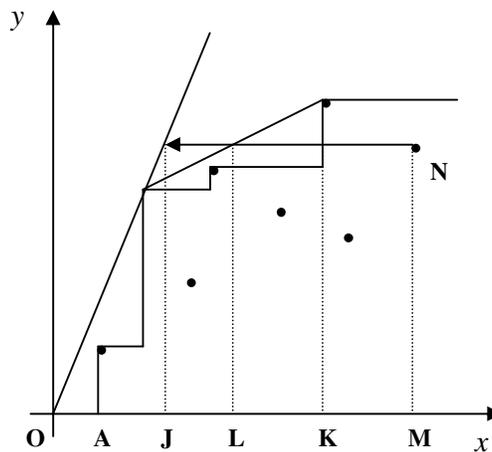
Os índices de eficiência técnica dos inputs, θ^{k*} , satisfazem a seguinte condição:

$0 < \theta^{k*} \leq 1$. Os índices de eficiência técnica dos outputs, λ^{k*} , são superiores ou iguais à

unidade. Em ambos os casos um índice unitário equivale a uma observação tecnicamente eficiente¹⁷.

A figura 2.4 ilustra os índices de eficiência técnica dos inputs para uma determinada observação (N), considerando os vários conjuntos de referência e assumindo um input e um output.

Figura 2.4. Medidas de Eficiência Técnica



Fonte: Adaptado de Tulkens (1993)

O rácio $\overline{OK}/\overline{OM}$ representa o índice de eficiência técnica de FDH (Deprins *et al.*, 1984; Tulkens, 1986). O rácio $\overline{OL}/\overline{OM}$ é o índice de eficiência DEA-V e DEA-NC, e o rácio $\overline{OJ}/\overline{OM}$ o índice de eficiência DEA-C. De facto, estes rácios medem a distância da observação N à fronteira de cada um dos conjuntos de produção de referência considerados (Tulkens, 1993).

¹⁷ Outras propriedades dos índices de eficiência técnica são apresentados em Färe, *et al.* (1994).

Ao contrário dos problemas de DEA descritos, cuja computação de soluções requer os algoritmos *standard* de programação linear, no caso do FDH os problemas são de programação inteira mista, logo estes algoritmos *standard* não se aplicam. As soluções são então obtidas por meio de um procedimento simples de comparação de vectores que equivale a um algoritmo de enumeração completa (Tulkens, 1993). Este procedimento corre da seguinte forma: para a observação (x^k, y^k) ser avaliada em termos de eficiência técnica, associa-se-lhe o conjunto $D^i(k)$ que contém os índices desta mesma observação e do subconjunto de observações (subconjunto de vectores (x^h, y^h)) que a dominam fracamente nos inputs, ou seja:

$$D^i(k) = \{(x^k, y^k)\} \cup \{(x^h, y^h) \in Y_0 : x_i^h \leq x_i^k, i = 1, \dots, I \wedge \exists i : x_i^h < x_i^k \wedge y_j^h \geq y_j^k, j = 1, \dots, J\},$$

onde Y_0 é o conjunto de n planos de produção observados.

A solução θ^{k*} do problema de programação (2.9) é dada por:

$$\theta^{k*} = \underset{d \in D^i(k)}{\text{Min}} \underset{i=1, \dots, I}{\text{Max}} \left\{ \frac{x_i^d}{x_i^k} \right\}. \quad (2.11)$$

A observação d em (2.11), em relação à qual a eficiência de k é calculada, é aquela que mais domina a observação k nos inputs.

É possível provar que (2.11) é a solução de (2.9). Para demonstrar este resultado, note-se que (Tulkens, 1993):

- por um lado, todos os vectores que correspondem aos elementos de $D^i(k)$ são vectores que satisfazem os dois primeiros conjuntos das restrições de (2.9);
- por outro, rescrevendo o primeiro conjunto de restrições como:

$$\theta^k \geq \frac{\sum_{h=1}^n \gamma^h x_i^h}{x_i^k}, \quad i = 1, \dots, I,$$

mostra-se que o papel do operador *Max* em (2.11) é o de satisfazer cada uma destas desigualdades;

- e finalmente, o operador *Min* corresponde ao que é procurado na função objectivo de (2.9).

Considerando de seguida a medida de eficiência em termos de outputs, associe-se agora com (x^k, y^k) o conjunto $D^o(k)$ contendo este os índices da observação (x^k, y^k) e do subconjunto de observações (subconjunto de vectores (x^h, y^h)) que a dominam fracamente nos outputs, ou seja:

$$D^o(k) = \{(x^k, y^k)\} \cup \{(x^h, y^h) \in Y_0 : x_i^h \leq x_i^k, i = 1, \dots, I \wedge y_j^h \geq y_j^k, j = 1, \dots, J \wedge \exists j : y_j^h > y_j^k\}$$

O valor de $\frac{1}{\lambda^{k*}}$, em que λ^{k*} resolve o problema de programação (2.10), será

então dado por:

$$\frac{1}{\lambda^{k*}} = \underset{d \in D^o(k)}{\text{Min}} \underset{j=1, \dots, J}{\text{Max}} \left\{ \frac{y_j^k}{y_j^d} \right\}, \quad (2.12)$$

sendo a prova desta asserção similar à demonstração do caso precedente. Novamente, a observação d retida em (2.12), com respeito à qual a eficiência de k é calculada, é aquela que mais domina nos outputs a observação k . Note-se que não é necessário que seja a mesma observação que mais domina nos inputs.

As figuras 2.5 e 2.6 ilustram os índices de eficiência técnica, respectivamente, dos inputs e outputs, considerando dois inputs e dois outputs. Assim, na figura 2.5, tem-

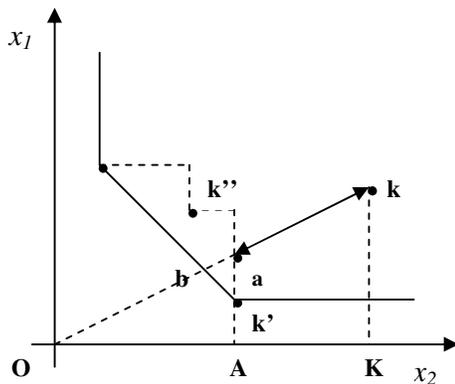
se k como a observação a avaliar e, associado a esta, o conjunto $D^i(k) = \{k', k''\}$. Por uma questão de simplificação, pressupõe-se que k , k' e k'' produzem a mesma quantidade de output. O valor da medida de eficiência dos inputs, considerando o conjunto de referência FDH, é igual a $\theta^{k*} = \frac{Oa}{Ok} = \frac{OA}{OK}$. A igualdade dos rácios resulta naturalmente de OAA e OKk serem triângulos semelhantes. Considerando o conjunto de referência DEA, o valor seria dado por: $\theta^{k*} = \frac{Ob}{Ok}$.

Atentando agora na figura 2.6, onde k , k' e k'' utilizam a mesma quantidade de input, k é a observação a avaliar e o conjunto $D^o(k) = \{k', k''\}$. Pode verificar-se graficamente que o valor da medida de eficiência dos outputs para a observação k é

$\lambda^{k*} = \frac{Oc}{Ok} = \frac{OC}{OK}$ no caso de FDH. Se o conjunto fosse do tipo DEA então o valor seria:

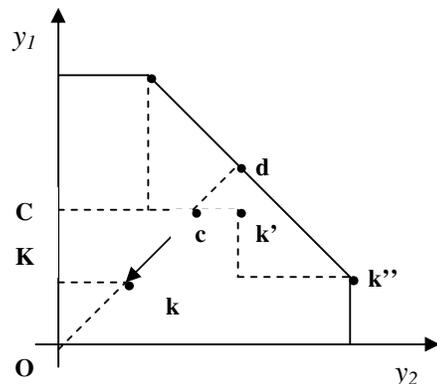
$$\lambda^{k*} = \frac{Od}{Ok}.$$

Figura 2.5. Medidas de Eficiência
Técnica dos Inputs



Fonte: Adaptado de Tulkens (1993)
e Lovell (1993)

Figura 2.6. Medidas de Eficiência
Técnica dos Outputs



Fonte: Adaptado de Tulkens (1993)
e Lovell (1993)

As figuras apresentadas anteriormente ilustram também o facto de as computações radiais darem quase sempre lugar à existência de *slacks* positivos. Efectivamente, na figura 2.5 por exemplo, a eficiência da observação k é medida relativamente ao ponto a do conjunto de referência FDH. No entanto, existem no mesmo segmento vertical da isoquanta pontos que permitem a obtenção do mesmo output com menos quantidade de um dos inputs, ou seja, pontos que são mais eficientes (sendo k' o ponto mais eficiente). Tendo em conta este facto, Tulkens (1993) defende que, em aplicações empíricas, os índices de eficiência radiais devem ser apresentados conjuntamente com os valores dos *slacks*.

Não sendo objecto desta dissertação o estudo comparativo dos índices de eficiência gerados pelos métodos FDH e DEA, será, contudo, interessante referir os resultados obtidos em alguns estudos empíricos que fazem o confronto entre estes dois tipos de índices.

Vanden Eeckaut *et al.* (1993) comparam as distribuições empíricas dos índices de eficiência dos inputs obtidos de acordo com as metodologias DEA e FDH. Para todas as tecnologias de referência DEA consideradas (DEA-C, DEA-V e DEA-NC), a distribuição empírica dos índices de eficiência aparenta ser unimodal, e tem a forma de uma distribuição normal truncada. A moda está bastante distante do extremo superior da distribuição, indiciando que a eficiência é a excepção e não a regra.

A distribuição empírica dos índices de eficiência FDH difere substantivamente da distribuição dos índices de eficiência DEA, já que a classe de índices de eficiência entre 0,95 e 1 constitui a moda.

A diferença na moda das distribuições empíricas dos índices de eficiência não é de todo surpreendente. Vanden Eeckaut *et al.* (1993) observam que enquanto a tecnologia de referência FDH classifica 80% das observações como eficientes, a tecnologia DEA classifica 20% das observações como eficientes.

A classificação de um maior número de DMUs como eficientes no FDH é um facto estilizado dos diversos estudos que procuram o confronto dos dois métodos. Kerstens (1996) tira uma conclusão idêntica num estudo sobre companhias de transporte urbano francesas: numa amostra de 114 observações, uma tecnologia de referência DEA identifica 11 observações como sendo eficientes, enquanto a tecnologia FDH classifica como eficientes 83 observações.

Moesen e Persoon (2002) justificam esta maior propensão da metodologia FDH para classificar observações como sendo eficientes, sobretudo em contextos de múltiplos inputs e múltiplos outputs. Para os autores, um aumento no número de inputs ou outputs diminui a probabilidade de uma observação ser dominada em todas as dimensões.¹⁸ Idêntica intuição é dada em Clements (1999). Esta é, contudo, claramente uma propriedade de amostras finitas: com o aumento da dimensão da amostra cresce a probabilidade de uma observação ser considerada ineficiente (Moesen e Persoon, 2002)¹⁹.

Os estudos de Moesen e Persoon (2002) e de Kerstens (1996) exibem também conclusões semelhantes a Vanden Eeckaut *et al.* (1993) no que se refere à comparação

¹⁸ No DEA, um aumento do número de variáveis também aumenta o número de unidades classificadas como eficientes (Tauer e Hanchar, 1995).

¹⁹ Alguns autores reclamam que a classificação de um número muito elevado de DMUs como eficientes reduz o poder discriminatório do FDH, constituindo como tal um óbice da metodologia (Clements, 1999). Importa contudo salientar que em alguns estudos empíricos foi observado que o próprio DEA classifica como eficientes mais observações que outros métodos, designadamente, as fronteiras estocásticas de produção (ver por exemplo Tauer e Hanchar (1995) e Rassouli (2002)). Uma outra desvantagem por vezes apontada ao FDH resulta da não diferenciabilidade da fronteira de produção, que torna difícil recuperar informação sobre os preços sombra dos inputs (Kuosmanen e Post, 2002).

das distribuições empíricas dos índices de eficiência. Em todos os casos se comprova que existe claramente mais massa numa das abas da distribuição empírica na tecnologia de referência FDH do que nas tecnologias DEA, pelas razões que aduzimos. Adicionalmente, Kerstens (1996) observa que o suporte da distribuição tem menor dimensão no caso da tecnologia de referência FDH.

2.5. Análise Empírica da heterogeneidade tecnológica: metodologias e resultados

2.5.1. Análise Não Paramétrica de Eficiência

Nesta secção, começamos por nos propor seguir o paradigma da Escola de Augsburg, caracterizando a heterogeneidade de diferentes regiões europeias através de medidas da sua eficiência técnica na inovação. Como se disse acima, optamos por medidas radiais. E, mais se acrescenta, vamos optar por medidas *output oriented*, isto é, programas em que se considera qual o máximo nível de output que seria possível obter para um dado nível de inputs. Conforme discussão da secção anterior, esta nunca é uma opção pacífica em estudos de análise de eficiência. Parece-nos contudo que, no caso em apreço, essa opção será mais razoável dado que o output do processo de I&D variará com mais facilidade do que se poderão, num curto espaço de tempo, comprimir ou expandir as dosagens de inputs.

Os dados usados nesta secção são retirados do *European Innovation Scoreboard* (EIS) de 2002²⁰ (no que respeita à percentagem de despesas em I&D no PIB regional

²⁰ Em concreto, dentro do EIS 2002, os dados regionais constam do Technical Report n.º 3. Importa notar que o EIS só revelou dados regionais para as variáveis em apreço em 2002 e em 2003. As edições subsequentes do EIS não comportaram desagregação regional destes indicadores, pelo que não se revestem de particular utilidade para esta dissertação. Os EIS pós 2003 sintetizam a informação regional num único índice compósito, elaborando, a partir daí, rankings unidimensionais. Adicionalmente, existem algumas incompatibilidades entre a definição territorial das regiões no EIS de 2002 e no EIS de 2003. A opção pelo EIS de 2002 teve a ver com a maior disponibilidade de todo o conjunto de variáveis que pretendíamos para um maior conjunto de regiões. A diferença não é contudo muito relevante. O *Regional Innovation Scoreboard* de 2006 não foi usado por diferenças metodológicas na definição dos indicadores,

financiadas pelo sector público, no que respeita à percentagem de despesas em I&D no PIB regional financiadas pelo sector privado, bem como no que respeita ao número de patentes destinadas a indústrias consideradas de alta tecnologia (*high-tech* por milhar de habitantes). Adicionalmente, os dados do emprego de técnicos em indústrias de alta e média tecnologia (*medium e high-tech*) são provenientes do Eurostat. No primeiro caso, os dados respeitam a 2002, enquanto no segundo são referentes a 1998. As DMUs deste estudo são as 76 regiões europeias²¹ para as quais foi possível coligir todos estes dados, abrangendo regiões da Alemanha, da Holanda, da Espanha, da Itália, de Portugal e de França. Em relação a estes países, a falta de dados referentes a alguma variável levou à exclusão de algumas regiões da análise (por exemplo, apesar de se saber que o Norte de Portugal tem um pior desempenho em matéria de inovação do que o Centro, este último teve de ser excluído por falta de alguns dados no EIS, enquanto o primeiro foi incluído). Tiveram também de ser excluídas as regiões para as quais se verificava um registo nulo de patentes de alta tecnologia (por considerações técnicas resultantes da programação inteira mista envolvida no FDH).

Das variáveis mencionadas acima, as que dizem respeito a investimento em despesas em I&D (público e privado) e a emprego em indústrias de alta tecnologia foram consideradas inputs. As patentes foram consideradas output. Estas opções estão em consonância com o discutido na secção 2.3 deste capítulo. O nosso modelo inicial

desaparecimento de alguns indicadores (ex. fracção da população com educação universitária no total da população com idades entre os 25 e os 64 anos; registos de patentes de alta tecnologia), e mudança na definição das regiões (é um documento produzido pelo MERIT, da Universidade de Maastricht e não pela Comissão Europeia, pelo que a coerência de indicadores dificilmente era exigível). Contudo, a Comissão Europeia tem o compromisso de a partir de 2007 produzir bi-anualmente um *Regional Innovation Scoreboard*. Em 2009, surgiu efectivamente um tal documento que, contudo, respeita a dados de 2006 e que foi nossa opção não utilizar nesta tese, por um lado, pela menor abrangência dos indicadores envolvidos (ex. enfoque apenas nas pequenas e médias empresas). Por outro lado, o documento assenta essencialmente em informação qualitativa e, tal como no estudo do MERIT, apresenta incoerência de diversos indicadores face ao EIS.

²¹ Estas regiões são listadas no Apêndice 1.

assenta assim em 3 inputs e um output. Importa notar que todos os inputs estão expressos na mesma unidade.

É de extrema importância salientar aqui alguns aspectos metodológicos. Por um lado, optamos por uma tecnologia de produção de inovação não sujeita à restrição de convexidade: isto é, admitimos, a Romer, que o sector produtor de inovações é caracterizado por não convexidades. Nesse sentido, optamos por uma tecnologia de referência FDH²².

Por outro lado, existem nos *European Innovation Scoreboards* dados respeitantes a uma panóplia de outras variáveis. Sucede que, no âmbito da análise de eficiência, há que distinguir com atenção (como já fizemos aliás em Oliveira (2004)) entre inputs e variáveis ambientais. Enquanto as primeiras entram efectivamente no processo produtivo sendo incorporadas, de alguma forma, no output, as segundas referem-se a envolventes que, embora condicionando decisivamente o modo como a produção se desenrola, não são directamente objecto de transformação produtiva. Falamos, neste último caso, de variáveis como o nível de educação da população de certa região (que importa não confundir com o input efectivo nível de emprego em indústrias de alta e média tecnologia nessa região), rendimento *per capita* de uma região, infra-estruturas de apoio, etc.

É certo que as variáveis ambientais desempenharão um papel na análise de eficiência, mas mormente a nível de estudos bi-etápicas, em que numa primeira fase se estimam os níveis de eficiência, e numa segunda fase se usam esses níveis como variável dependente num modelo de tipo tobit. Um exemplo deste tipo de abordagem é

²² A estimação de índices de eficiência técnica neste capítulo foi levada a cabo usando o *software* Efficiency Measurement System, desenvolvido por Holger Scheel na Universidade de Dortmund. O EMS tem a facilidade de estimar modelos que não assumem convexidade.

fornecido em Oliveira (2004), seguindo a metodologia proposta por Simar e Wilson (2003).

Em último lugar, importa salientar que a análise de eficiência, no âmbito da inovação regional, não é um instrumento de identificação de sistemas regionais de inovação. O nosso propósito, neste capítulo, é, recorde-se, caracterizar a heterogeneidade tecnológica das regiões europeias, usando um instrumento já testado na análise evolucionista (embora não com FDH). O facto de a região A ser eficiente não é condição necessária nem suficiente para se concluir quanto a sistemas regionais de inovação. Permite apenas dizer que dados os inputs de que dispõe, a região A os usa da forma mais eficiente possível na geração de patentes de alta tecnologia. Isso não significa que não existam outras regiões que, embora não usem os recursos eficientemente, gerem um número muito mais elevado de patentes de alta tecnologia por milhar de habitantes.

2.5.2. Índices de eficiência FDH e sua caracterização estatística

Os índices de eficiência técnica obtidos estão sumariados na tabela constante do Apêndice 2. Apesar de não ser possível detectar ou inferir sobre sistemas regionais de inovação a partir de índices de eficiência, não deixa de ser interessante referir que algumas das observações na fronteira (índice estimado igual a 1) correspondem às regiões com maior capacidade de inovação na Europa: é o caso, entre outras, da Catalunha, Lombardia, Noord-Brabant, etc. Por outro lado, não é de estranhar a ausência de Baden-Württemberg da fronteira. Apesar da sua tradição em matéria de inovação, a região em causa é classificada como ineficiente, dado o elevado volume de investimento privado em I&D registado.

Será importante não deixar de aludir ao facto de nenhuma das regiões portuguesas incluídas (Norte, Lisboa e Vale do Tejo) se encontrar na fronteira de eficiência.

Para caracterizar a heterogeneidade existem, como se discutiu na secção 2.2, um conjunto vasto de soluções. A tabela 2.1 apresenta uma dessas soluções com a caracterização sumária das estatísticas descritivas dos índices de eficiência.

Tabela 2.1. Estatísticas Descritivas dos Índices de Eficiência FDH

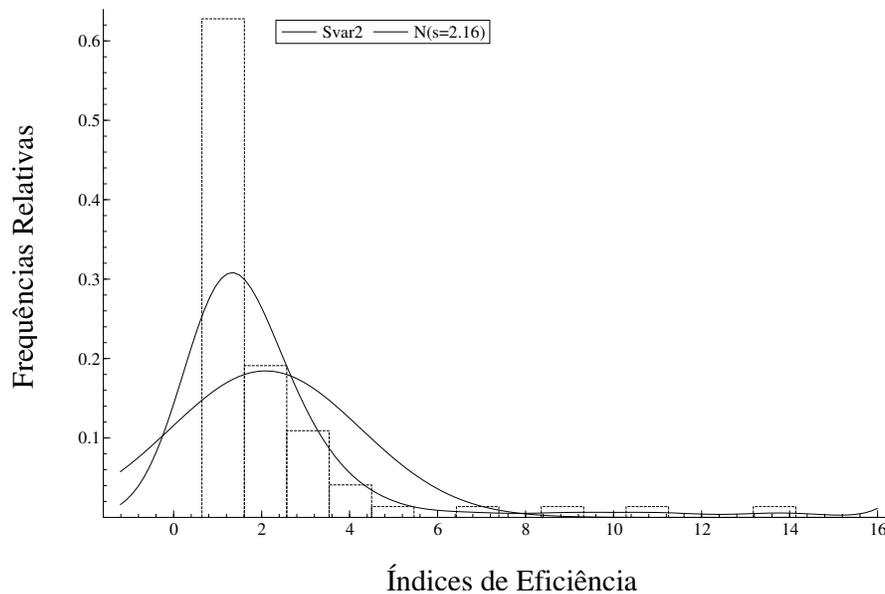
Média	2,0892
Desvio-padrão	2,1627
Assimetria	3,5489
Excesso de Kurtosis	13,81
Teste de Normalidade	329,96

A principal conclusão a retirar da tabela 2.1 prende-se com a forte evidência estatística em favor da heterogeneidade amostral dos índices de eficiência técnica. Na sua medida mais simples, o desvio-padrão, essa heterogeneidade é já perceptível, uma vez que o coeficiente de dispersão é de 1,035 – evidenciando um desvio-padrão superior à média. A mesma conclusão é reiterada pelo coeficiente de excesso de kurtosis. Inequivocamente, este é um valor elevado que sugere abas bastante mais longas na distribuição empírica dos índices de eficiência do que sucederia com uma distribuição normal, apontando assim para a existência de heterogeneidade. Este facto é confirmado

pelo teste de Hansen-Doornik (1994) à normalidade, em que se conclui ser de rejeitar a hipótese nula de gaussianidade dos índices mesmo a um nível de significância de 1%²³.

Em síntese, uma análise sumária das estatísticas descritivas é suficiente para validar a conclusão da existência de heterogeneidade na eficiência das actividades de inovação ao nível das regiões europeias. O quadro dos índices de eficiência (Apêndice 1) permite essa percepção inequívoca. O gráfico 2.1 abaixo reporta a distribuição empírica destes índices, confirmando as conclusões prévias.

Gráfico 2.1. Densidade estimada e ajustamento normal dos índices FDH para a eficiência da inovação nas regiões europeias



²³ Como se discutiu na secção 2.4 deste capítulo, os índices de eficiência FDH têm tipicamente uma distribuição unimodal, assimétrica e com abas longas sendo pobremente descritos por uma distribuição normal. Em todo o caso o coeficiente de excesso de kurtosis é aqui particularmente elevado, mesmo para índices FDH. As subsecções seguintes permitirão confirmar esta avultada heterogeneidade amostral.

2.5.3. A estimação de densidades através de kernels

A estimação de funções densidade usando métodos não paramétricos é outra das propostas de Cantner e Krüger (2004) para a avaliação empírica da heterogeneidade. De facto, o mero uso de estatísticas descritivas para caracterizar a heterogeneidade de uma amostra pode esconder aspectos críticos da distribuição como assimetrias ou multimodalidades.

Se o objectivo é a utilização de um método para obter a forma gráfica da função densidade de uma variável impondo o mínimo de pressupostos, a técnica mais adequada revela-se a estimação não paramétrica dessa densidade, mediante o uso de kernels. Apesar de irmos apresentar brevemente a técnica, a discussão em torno dos métodos não paramétricos de estimação de funções densidade é substantivamente mais vasta. Recomenda-se, por isso, a consulta de Pagan e Ullah (1999), para uma compreensão mais completa do tema.

A intuição central do método passa por estimar a ordenada de uma função densidade $f(y)$ num certo ponto, através da média ponderada de todos os pontos $y_i, i = 1, 2, \dots, N$, onde N é a dimensão da amostra. Os ponderadores deverão diminuir, em valor absoluto, com a distância das observações a y . Assim, a densidade no ponto y é dada por:

$$f(y) = \frac{1}{nb} \sum_{i=1}^N K \left[\frac{y - y_i}{b} \right]$$

$K[w]$ é a chamada função kernel. Para se qualificar validamente como um kernel, uma função deve satisfazer os requisitos de uma função densidade de probabilidade de média nula e variância finita:

- i) $K[w] \geq 0, \forall w$
- ii) $\int K[w] dw = 1$
- iii) $\int wK[w] dw = 0$
- iv) $0 < \int w^2 K[w] dw < +\infty$

Cameron e Trivedi (2005: 300) listam as escolhas mais comuns para a função kernel. A escolha desta função não é um aspecto (em geral) especialmente problemático, uma vez que a estimativa da ordenada raramente é afectada pela escolha de uma função kernel em particular (Scott, 1992).

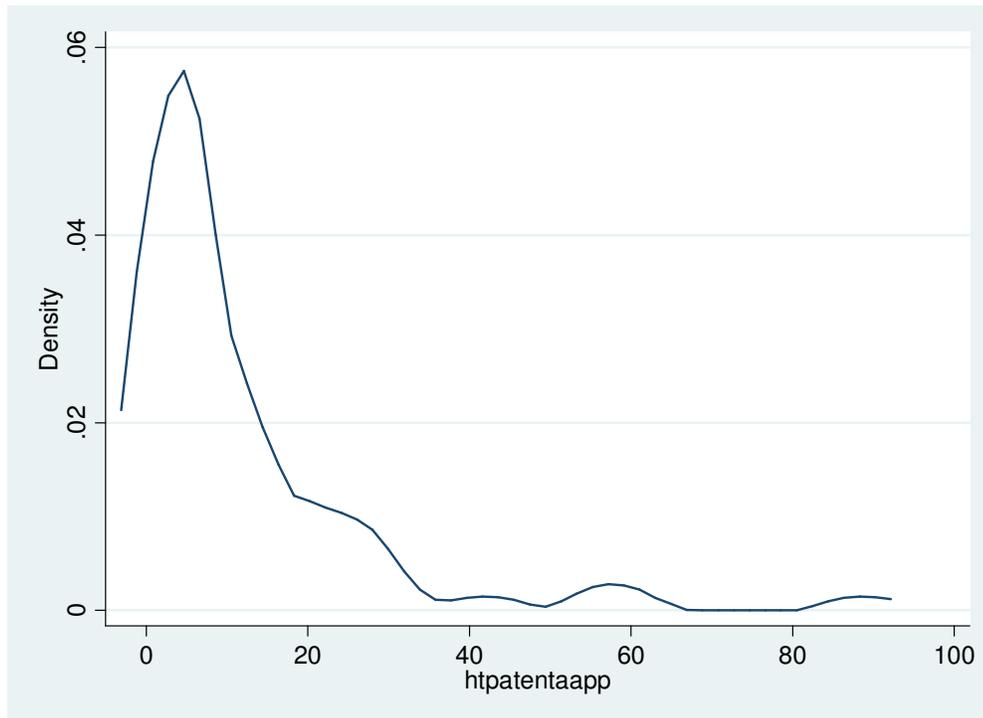
O elemento crucial na definição de kernel apresentada acima acaba por isso por ser a escolha de b (designado por *bandwith parameter*). A escolha de um valor de b demasiado elevado leva a um excessivo alisamento da densidade, enquanto que um valor de b demasiado baixo leva a densidade estimada a assumir formas estranhas de modo espúrio, em função de algumas observações aberrantes. O cômputo de b acaba por isso por depender de diferentes formas de validação cruzada usadas (a discussão deste ponto é novamente aprofundada em Cameron e Trivedi (2005: 304-305)).

Para a estimação completa da função densidade, o exercício deve ser repetido para diferentes valores de y . Deve, contudo, notar-se que o resultado da estimação de funções densidade através de funções kernel não é uma expressão analítica explícita, mas antes um vector de ordenadas, cada uma correspondendo aos diferentes valores de y usados. Usual é representar o resultado de forma gráfica.

No que se refere ao problema em estudo: caracterização da heterogeneidade amostral via densidades estimadas por kernels, a variável y de interesse é o número de patentes de alta tecnologia, por milhar de habitantes em cada região europeia (designada

htpatentaapp). O gráfico abaixo²⁴ representa o resultado da utilização do kernel de Epanechnikov:

Gráfico 2.2. Densidade estimada do número de patentes de alta tecnologia por milhar de habitantes



O gráfico 2.2 permite a elaboração de algumas considerações sobre o problema da heterogeneidade. As primeiras constatações prendem-se com a clara assimetria da densidade, e com o facto de a aba direita ser claramente mais longa. Existem, desta forma, manifestamente, sinais de heterogeneidade amostral: a área compreendida sob a curva até um nível relativamente baixo de patentes por milhar de habitantes, em conjugação com a unimodalidade da distribuição sugerem a existência de um grande número de regiões com menos de vinte registos de patentes em 2002; no mesmo

²⁴ Obtido através do STATA 9.2, fazendo uso da função `kdensity` e aceitando o *bandwidth parameter* definido por defeito.

sentido, o carácter tendencialmente horizontal mas claramente prolongado da densidade estimada da variável, na aba direita, sugere a existência de algumas regiões (ainda em número apreciável) com um número de registo de patentes entre 20 e 40, bem como a existência de regiões com cerca de 60 patentes registadas, e outras com mais de 80. A exemplificação das regiões relevantes por quantil será feita na secção 2.5.4.3.2.

Esta disparidade de desempenhos é, na óptica da *evolometrics* sugerida por Cantner e Krüger (2004), sinónimo da inexistência de uma “região representativa” (metáfora que adoptamos aqui na esteira da terminologia neoclássica, por analogia com o agente representativo). Na boa tradição do pensamento evolucionista, o gráfico anterior dá conta de dissemelhanças entre as regiões europeias, que esconderão diferenças entre estas a níveis educacionais, tecnológicos, perfis de especialização, trajectórias de evolução passada, etc.

Pese o que vimos de dizer, sugerimos que se a estatística descritiva não é, como referem os autores, capaz de fornecer uma resposta suficientemente informativa no problema da caracterização da heterogeneidade, a estimação de ordenadas da função densidade via kernels não paramétricos não constitui uma solução muito mais satisfatória: de facto, sendo possível agora ter uma visão global da densidade, continuamos sem conhecer os elementos que se escondem por trás do gráfico anterior, no que respeita às características acima mencionadas. Dito de outra forma, a percepção das disparidades é enriquecida com a análise da totalidade da distribuição, mas o nosso conhecimento sobre os factores indutores dessa disparidade permanece imutável.

A metodologia seguida no remanescente deste capítulo, assente na regressão de quantis para modelos de contagem, é claramente mais enriquecedora sob essa perspectiva, na medida em que, para cada quantil da distribuição condicional da

variável em estudo, que possamos pretender conhecer, obtemos uma análise rigorosa de quais as variáveis que relevam para explicar os resultados obtidos.

2.5.4. Análise da heterogeneidade via regressão de quantis

Cantner e Krüger (2004) apontam para a regressão de quantis como ferramenta econométrica de elevado potencial para o domínio científico que cunharam de *evolometrics*, expressão que traduzimos por econometria do evolucionismo. Com isto queremos significar, o conjunto de instrumentos provenientes da econometria e da investigação operacional que melhor se ajusta à caracterização de realidades marcadas pela heterogeneidade e pela evolução estrutural. E estamos naturalmente de acordo, pelos motivos que aduziremos na discussão seguinte, quanto à inclusão, pela sua enorme valia, da regressão de quantis neste corpo instrumental.

2.5.4.1. A Regressão de Quantis

Numa muito sumária resenha histórica da metodologia, não se pode deixar de frisar que o que hoje se entende por regressão de quantis já nada tem a ver com as ideias da chamada estatística robusta (Huber, 1981) relativamente à permeabilidade dos estimadores de mínimos quadrados ordinários à contaminação da amostra por *outliers*. Se de facto a mediana é uma estatística mais robusta do que a média amostral (de acordo com toda uma variedade de critérios, desde *influence curves*, *sensitivity*, *breakdown point*, etc.), e se é também verdade que foi nesse contexto que se iniciou a discussão em torno do uso da mediana (e das estatísticas de ordem em geral) em lugar da média, não se pode de modo algum olvidar a evolução que a regressão de quantis

teve nos últimos anos e a sua generalização a uma variedade enorme de aplicações económicas.

O termo regressão de quantis é cunhado na econometria por Koenker e Bassett (1978) que sugeriram a estimação de funções quantil condicionais, como alternativa aos valores esperados condicionais com que a econometria tradicional lidava.

O interesse do problema pode ser facilmente caracterizado através de um exemplo canónico. Afirmar que um aluno se colocou no quantil de ordem τ em determinado exame padrão significa, como se sabe, afirmar que esse aluno teve um desempenho superior a uma proporção τ do grupo de referência, e inferior a um proporção $(1 - \tau)$ desse grupo. Assim, pensando em termos da mediana, o aluno mediano tem um resultado tal que 50% dos resultados dos seus colegas lhe são inferiores e 50% lhe são superiores.

Dada uma amostra aleatória $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, se o problema da estimação da média populacional μ pode ser visto como o problema de minimização da soma de quadrados de desvios:

$$\min_{\mu \in \mathfrak{R}} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2,$$

sabemos bem que o problema de estimação da média populacional, condicional a certas características dos indivíduos, se obtém pela resolução do problema análogo:

$$\min_{\beta \in \mathfrak{R}} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu(\mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta}))^2$$

em que o vector \mathbf{x}_i inclui k variáveis explicativas tidas por relevantes para a compreensão do comportamento do fenómeno em causa, e em que \mathbf{x}_i é um vector linha. $\boldsymbol{\beta}$ corresponde ao vector coluna de k coeficientes de regressão. Dadas as origens

históricas do problema de estimação deste valor esperado condicional, $\mu(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})$ é assumido como uma função linear de $\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}$: em mente está uma distribuição conjunta normal multivariada para o vector aleatório $\begin{pmatrix} y_i \\ \mathbf{x}_i \end{pmatrix}$, em que y_i é, naturalmente, um escalar. Como é sabido, essa expectativa condicional é uma função linear de \mathbf{x}_i (uma derivação deste resultado pode ser encontrada, por exemplo, em Gallant (1997)). Em síntese, satisfeitos os requisitos de exogeneidade fraca (Engle *et al.*, 1983), a expectativa condicional $E[y_i / \mathbf{x}_i]$ pode naturalmente ser estimada por mínimos quadrados ordinários e sobre o resultado encontrado pode ser conduzida inferência estatística convencional.

O problema abordado por Koenker e Bassett (1978) é, como já se disse, em tudo semelhante ao anterior, diferindo somente na questão do objecto a estimar: uma função quantil condicional em lugar de um valor esperado condicional. Assim, seguindo uma abordagem paralela à da exposição que vimos de fazer para o modelo clássico de regressão linear, tome-se o problema de, dada a amostra aleatória $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ se pretender estimar a mediana populacional (fazendo $\tau = 1/2$), aqui denotada simplesmente por ξ . Resultados bem conhecidos da estatística fazem a analogia ao problema anterior – ξ , a mediana populacional não condicional, é a solução do problema de minimização da soma dos desvios em valor absoluto, isto é:

$$\min_{\xi \in \mathfrak{R}} \sum_{i=1}^N |y_i - \xi|$$

Esta formulação elementar ilustra já as dificuldades que a estimação da mediana vai enfrentar por comparação com o problema anterior: a função objectivo não é sempre diferenciável, pelo que a tarefa de encontrar o seu mínimo só poderá ser resolvida

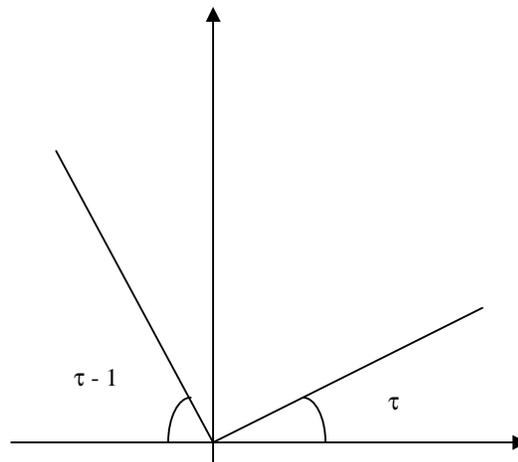
mediante o recurso a instrumentos adequados, nomeadamente a algoritmos de programação linear²⁵.

Sendo o propósito do investigador encontrar uma função quantil condicional, a semelhança com o problema prévio leva   percep o de que se trata agora de fazer ξ ser uma fun o explícita de $\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}$. Koenker e Bassett (1978) argumentam assim que a fun o quantil condicional de ordem τ pode ser encontrada resolvendo o problema de optimiza o:

$$\min_{\boldsymbol{\beta} \in \mathfrak{R}} \sum_{i=1}^N \rho_{\tau}(y_i - \xi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})),$$

onde ρ_{τ}   a fun o módulo perturbada, no sentido que se pretende traduzir com a figura 2.7.

Figura 2.7. A fun o ρ_{τ}



Fonte: Koenker e Hallock (2001)

²⁵   inevitável a analogia entre o que temos vindo a expor e o que ficou dito na sec o 2.4 deste capítulo sobre as metodologias de análise de eficiência ditas não paramétricas, como o DEA, em que a determina o das estimativas dos índices de eficiência técnica exigia também o recurso a programa o linear. O problema da estima o com uma tecnologia de referência FDH diferia ligeiramente na medida em que envolvia recurso a programa o inteira mista.

Koenker e Bassett (1978) demonstram que o problema de otimização enunciado acima, quando $\xi(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$ é formulada como função linear dos parâmetros $\boldsymbol{\beta}_j$, pode ser resolvido de forma simples e bastante eficiente usando algoritmos de programação linear rotineiros.

Não cabe, naturalmente, nos objectivos desta dissertação explorar as metodologias de resolução do problema de otimização enunciado. Uma referência fundamental para o investigador interessado seria Koenker e d'Orey (1987).

Mais relevante será notar que está devidamente desenvolvido o conjunto de instrumentos necessários para se conduzir inferência estatística no âmbito da regressão de quantis. Koenker e Bassett (1978) desenvolveram a necessária teoria assintótica para o caso particular em que $\tau = 0,5$. Buchinsky (1998) demonstrou que as condições de primeira ordem para o problema de estimação de funções quantis condicionais podem, com generalidade, ser interpretadas como uma função momento condicional, podendo por isso a regressão de quantis ser enquadrada no método generalizado dos momentos, desenvolvido na econometria por Hansen (1982). Dessa consideração resulta, sob certas condições de regularidade, a consistência e a normalidade assintótica dos estimadores obtidos através da regressão de quantis. Buchinsky (1998) discute também extensivamente uma diversidade de metodologias para a estimação da matriz de variâncias e covariâncias assintótica. Explora particularmente aquele que se veio a tornar o método mais comum em estudos empíricos: o uso de *bootstrapping* para construção das estimativas do desvio-padrão dos estimadores. Buchinsky (1998) demonstra que os desvios-padrão obtidos por *bootstrapping* permitem construir intervalos de confiança com coberturas nominais e reais próximas, mesmo com perturbações aleatórias não esféricas (designadamente heteroscedásticas).

Como nota adicional refira-se que a questão da construção de um indicador sumário da qualidade do ajustamento foi resolvido por Koenker e Machado (1999). Esse indicador, designado por R_τ é dado por:

$$R_\tau = 1 - \frac{\hat{V}}{\tilde{V}},$$

em que \hat{V} é o valor da função objectivo não restringida, avaliada no seu mínimo, para o quantil de ordem τ relevante, e \tilde{V} é o valor da função objectivo, sob a restrição de o modelo conter apenas um termo independente, para o mesmo quantil. Neste sentido, garante-se que: $R_\tau \in [0;1]$. Para melhor compreensão, importa frisar que existe uma clara analogia entre a construção de R_τ e o pseudo- R^2 usado nos modelos de escolha discreta binária, sugerido por MacFadden (1974) – ressaltando o facto de este último ter por base um método paramétrico (a máxima verosimilhança), e R_τ ter por base um método semi-paramétrico como é o caso da regressão de quantis. As semelhanças de leitura são também claras, correspondendo $R_\tau = 0$ à mais fraca qualidade de ajustamento e $R_\tau = 1$ ao ajustamento perfeito.

Independentemente das considerações analíticas que vimos de produzir, a intuição sobre o interesse na estimação de uma função quantil condicional merece ser explorada. Tomemos aqui o exemplo apresentado por Cameron e Trivedi (2005: 88-89), relativo a um inquérito do Banco Mundial às despesas com cuidados médicos no Vietname em 1997. A maior fracção destas despesas é composta por medicamentos e, nesse sentido, concentraremos o exemplo nesse tipo de bens. O rendimento é considerado como única variável explicativa. Quando o modelo de regressão linear é usado, a estimativa da elasticidade rendimento da procura é 0,57. Este é o valor obtido

quando a modelização é feita com base no valor esperado condicional. Se, diferentemente, procurarmos estimar funções quantil condicionais, chegamos a conclusões bastante diversas: para o extracto da população correspondente ao quantil 5% da distribuição do rendimento, a elasticidade estimada é de somente 0,15. Diferentemente, para o quantil 85%, a elasticidade estimada é de 0,8. Em síntese, existe uma elevada heterogeneidade no comportamento dos agentes consoante o seu nível de rendimento. Essa heterogeneidade pode ser capturada mediante a regressão de quantis, mas não o será com métodos tradicionais. Mosteller e Tukey (1977) consideram que ao centrar-se exclusivamente no valor esperado condicional, a regressão usual fornece um sumário bastante incompleto da distribuição conjunta da variável dependente e das variáveis explicativas, sendo esse o problema que a regressão de quantis se propõe resolver.

Os elos de ligação entre o exemplo que vimos de apresentar e o desafio colocado à econometria evolucionista são claros. Uma análise empírica evolucionista não pode repousar apenas nas correlações em que assenta o modelo de regressão linear: como observam Cantner e Krüger (2004), é necessária uma ferramenta estatística que permita caracterizar a totalidade da distribuição da variável dependente, dadas as variáveis independentes. Só desta forma se poderá caracterizar empiricamente a heterogeneidade de estruturas tecnológicas, níveis de desenvolvimento e capacidades de inovação.

O que Cantner e Krüger (2004) negligenciam, em nosso entender, na sua caracterização da regressão de quantis como ferramenta empírica do evolucionismo, tem a ver com a natureza muito específica da variável dependente com que estamos potencialmente a lidar. E que, para efeitos desta dissertação, não é sequer um problema potencial mas real: a variável dependente deverá sempre ser uma medida da capacidade

de inovação de determinada região. Debateremos já, de um ponto de vista conceptual e de revisão de literatura, quais são as vantagens e os inconvenientes dos principais indicadores de inovação, na secção 2.3 deste capítulo. Por isso, cabe aqui somente recentrar o problema na opção tomada nesta dissertação. Em particular, para efeitos de funções quantil condicionais, usaremos como variável dependente o número de patentes *high-tech*, para as diferentes regiões em estudo. Isto é, a nossa variável dependente é uma variável de contagem, o que nos coloca perante desafios econométricos adicionais no âmbito da regressão de quantis.

2.5.4.2. Regressão de Quantis e Modelos de Contagem: *Quantiles for Counts*

O número de patentes de uma região é antes de mais uma variável aleatória discreta. Quando o objectivo do investigador é explicar o número de patentes em si, num quadro de estimação do valor esperado condicional que temos vindo a associar à econometria clássica, o método dos mínimos quadrados revela-se desadequado por uma variedade de razões. Abordaremos este problema em sede própria quando estimarmos modelos de contagem, em que a variável dependente é precisamente o número de patentes. Convém, contudo, salientar desde já, para melhor enquadramento desta secção, que os modelos de variável dependente discreta, assim como os de variáveis de contagem em particular, envolvem metodologias próprias de estimação e análise estatística.

Em todo o caso, essa especificidade da variável dependente vem apenas acrescentar ao que já era à partida um problema inovador: a caracterização da heterogeneidade tecnológica mediante regressão de quantis, proposta por Cantner e

Krüger (2004), mas nunca efectivada em estudos empíricos. O nosso problema não é portanto meramente a estimação de uma função quantil condicional, mas antes a estimação de uma função quantil condicional quando a variável dependente é uma variável de contagem.

A crescente popularidade da regressão de quantis nos anos 90 (visível, por exemplo, na edição especial da *Empirical Economics* que lhe é dedicada em 2001) levou ao surgimento de múltiplas linhas de investigação que a estendem a diversos tipos de variável dependente: Manski (1985) e Horowitz (1992) consideraram o problema da análise de quantis em modelos com variável dependente binária e em modelos multinomiais; Powell (1984, 1986) estudou regressão de quantis para modelos com variável dependente censurada; Lee (1992) prolongou a análise a modelos de escolha discreta ordenada (ex. probits ordenados); mais recentemente, a regressão de quantis foi aplicada também a problemas de duração por Koenker e Geling (2001) e Koenker e Biliias (2001).

A questão da extensão da regressão de quantis a modelos de contagem não foi, contudo, ignorada pela literatura. O trabalho seminal na área dos modelos de contagem é devido a Hausman *et al.* (1984) e a Gouieroux *et al.* (1984). A literatura divide-se aqui em duas grandes correntes. Uma vasta gama de economistas seguiu o trabalho de Gouieroux *et al.* (1984), no sentido em que se concentrou na estimação semi-paramétrica da média condicional da variável de contagem, num quadro de pseudo máxima verosimilhança. Uma segunda vertente de pensamento sobre estes modelos seguiu a metodologia totalmente paramétrica de Mullahy (1986) assente na descrição

completa da distribuição condicional de interesse²⁶. Em síntese, nenhuma das linhas de abordagem tradicionalmente propostas para tratar modelos de contagem é particularmente apelativa numa óptica em que se pretenda flexibilidade paramétrica (que a segunda sugestão claramente não oferece) e caracterizações da distribuição de probabilidade para além da média (o que não era viável na primeira abordagem).

Adicionalmente, o problema da extensão da regressão de quantis a modelos de contagem enfrenta dificuldades técnicas não negligenciáveis. A mais saliente prende-se com a conjugação de uma função objectivo não diferenciável (como discutido na secção anterior) com uma variável dependente discreta. A existência de pontos de massa inviabiliza o uso de técnicas convencionais baseadas em expansões em série de Taylor para obter a distribuição assintótica dos estimadores dos parâmetros das funções quantis condicionais. Machado e Silva (2005: 4) sugeriram uma solução consensual para este problema: um alisamento artificial dos dados baseado numa forma específica de *jittering* introduzida por Stevens (1950) noutra contexto. O objectivo passa por construir uma variável contínua, cujos quantis condicionais têm uma relação unívoca com os quantis condicionais da variável discreta de contagem. A variável artificialmente construída funcionará como base para a inferência estatística.

O que tornou o contributo de Machado e Silva (2005) decisivo foi o tipo de alisamento proposto. Antes da sugestão dos autores, já outros haviam sugerido factores de alisamento. O problema fundamental passava pela dificuldade de interpretação de resultados, precisamente em função da inexistência do tipo de correspondência unívoca que mencionamos anteriormente. Ademais, existia uma multiplicidade de factores de alisamento possíveis, sem que a literatura tenha desenvolvido uma metodologia óptima

²⁶ É certo que se poderia ainda tratar de uma terceira vertente de abordagem protagonizada por Efron (1992), que propôs para estes modelos o chamado estimador de máxima verosimilhança assimétrico. Contudo, os resultados empíricos desta metodologia são de interpretação complexa.

de regras de selecção. Finalmente, de um ponto de vista da teoria assintótica, algumas metodologias de alisamento (como por exemplo aquela proposta por Lee (1992)) implicavam que a convergência para os verdadeiros valores dos parâmetros ocorresse à taxa $n^{-1/3}$, isto é, mais lentamente que a desejável convergência à taxa $n^{-1/2}$. No procedimento desenvolvido por Machado e Silva (2005), a convergência ocorre precisamente à taxa $n^{-1/2}$.

A forma de *jittering* considerada pelos autores assenta na ideia de que sendo Y uma variável aleatória de contagem, se vai criar uma variável artificial, alisada, $Z = Y + U$, em que U é uma variável aleatória com distribuição uniforme contínua com domínio no intervalo $[0;1]$. A continuidade de Z relativamente a τ é conseguida por interpolação em cada descontinuidade de Y . A interpolação é feita usando o integral de um kernel. Fundamental para os resultados dos autores, é que a escolha da distribuição de U e do seu domínio levam a que o próprio kernel tenha domínio num conjunto limitado.

Em conclusão, é na metodologia de Machado e Silva (2005) para estimação de funções quantil condicionais quando a variável dependente é uma variável de contagem, que nos basearemos na subsecção seguinte. Em particular, o *software* usado para estimação (STATA 9.2) foi acrescentado com o *package* QCOUNT desenvolvido por Miranda (2007) com base na metodologia de Machado e Silva (2005).

2.5.4.3. Análise empírica: regressão de quantis para modelos de contagem

2.5.4.3.1. Considerações sobre algumas estatísticas descritivas

Conforme extensa discussão prévia, a variável dependente do modelo é o número de patentes *high-tech*, referindo-se os dados a regiões Europeias (variável

designada por *htpatentaapp*). Como variáveis independentes consideramos as seguintes candidatas:

- a percentagem da população, com idade entre os 25 e 64 anos, que tem formação universitária (variável designada por *terceduc*);
- a percentagem da população, com idade entre os 25 e 64 anos, que participa em acções de aprendizagem ao longo da vida (variável designada por *llong*);
- a percentagem da força de trabalho com emprego em indústrias de nível *medium-high* e *high-tech* (variável designada por *htemanuf*);
- a percentagem da força de trabalho com emprego em serviços *high-tech* (variável designada por *ehtservices*);
- a despesa pública em I&D como percentagem do PIB regional (variável designada por *pube*);
- a despesa privada em I&D como percentagem do PIB regional (variável designada por *prive*).
- o PIB *per capita* da região.

A fonte dos dados é idêntica à da secção anterior. Para efeitos de coerência era nosso objectivo a consideração das mesmas regiões que na secção anterior. Contudo, a ausência de alguns dados levou à redução da amostra para 67 regiões²⁷.

Começaremos a análise pela caracterização sumária de algumas estatísticas descritivas referentes às variáveis explicativas acima listadas.

²⁷ A necessidade de variáveis explicativas adicionais não disponíveis leva a que na regressão de quantis o número de observações caia para 67. As regiões excluídas são: Langue d'Oc; Bretanha; Normandia; Sicília, Sardenha; Veneza; Comunidade Valenciana; Navarra e Loire.

Tabela 2.2. Estatísticas Descritivas

	terceduc	llong	ehtservices	htemanuf	pube	prive	PIBpc
Média	20,03	6,02	3,05	7,2	0,66	0,86	19323
Desvio-padrão	7,12	4,63	1,24	3,3	0,44	0,59	5244
Assimetria	0,1	1,66	1,01	0,89	1,36	1,04	1,12
Excesso de kurtosis	-0,78	1,45	0,65	0,7	1,68	1,03	2,98
Mínimo	7,34	1,84	0,74	2,14	0,08	0,1	8738
Máximo	33,6	18,9	6,49	18,3	2,08	2,9	40267

As estatísticas registadas para a variável referente à percentagem da população em idade para integrar o mercado de trabalho com formação universitária evidenciam uma discrepância estrutural entre as regiões europeias consideradas. De facto, os valores dos coeficientes de assimetria e excesso de kurtosis são tais que não chegariam para a rejeição (usando um teste de Hansen-Doornik (1994)) da hipótese nula de a variável ter uma distribuição normal²⁸. A mesma realidade está patente no coeficiente de variação ou dispersão (que neste caso toma o valor de 0,36, indiciando um desvio-padrão claramente inferior à média). Em suma, embora existam diferenças nos níveis educacionais das regiões consideradas, as disparidades são a este nível claramente menores do que a enorme heterogeneidade observada ao nível da capacidade para inovar²⁹.

Importa notar que, no que toca a aprendizagem e formação ao longo da vida, a realidade é já bastante diferente daquela que se acabou de constatar ao nível da educação formal. De facto, a variável llong exhibe níveis de diferenciação regional muito

²⁸ O *p-value* associado a estes valores é de 0,4189, claramente superior ao nível de significância e como tal não permitindo a rejeição da hipótese nula de normalidade.

²⁹ De acordo com as conclusões obtidas na secção 2.5.3.

mais acentuados a nível europeu: o coeficiente de excesso de kurtosis é mais do dobro do observado na variável *terceduc*, e o coeficiente de variação é já cerca de 78% da média (contrariamente aos 36% observados no parágrafo anterior). O teste de normalidade já conduziria aqui à rejeição da hipótese nula (o *p-value* é 0, quando arredondado à quarta casa decimal). Um histograma de frequências exibiria o mesmo tipo de assimetria que discutimos a propósito da variável dependente (secção 2.5.3), uma vez que a aba direita da distribuição é claramente mais prolongada.

Isto é, o comportamento dos europeus difere substantivamente quando consideramos educação formal e educação ao longo da vida (compreendendo esta diversas vertentes como formação profissional ou a frequência de pós-graduações após experiência activa no mercado de trabalho). No primeiro caso, e quando o que está em causa é a fracção da população com idade compreendida entre 25 e 64 anos que tem formação universitária, as diferenças inter-regionais na Europa não são tão vincadas como quando o que está em causa é a aprendizagem ao longo da vida. De um ponto de vista da capacidade para inovar, esta diferença poderá não ser despiciente, dado que a inovação exige a existência de uma mão-de-obra permanentemente actualizada tecnicamente, capaz de induzir e absorver as novas tecnologias. A análise do modelo econométrico encarregar-se-á de nos elucidar sobre a importância relativa destes factores.

Ao nível das demais variáveis caracterizadas na tabela 2.2, com a óbvia excepção do PIB *per capita* que exhibe um coeficiente de excesso de kurtosis e um desvio-padrão claramente elevados, como seria expectável *a priori*, há alguma semelhança comportamental. Contudo, todas as variáveis observadas exibem heterogeneidade amostral suficiente para a rejeição de um teste de normalidade (mesmo

a um nível de significância de 1%), indiciando a existência de diferenças não despidentes entre as regiões europeias, em cada uma das dimensões de análise.

A análise das estatísticas descritivas ficará mais completa com uma apresentação da matriz de correlações entre as diversas variáveis em estudo. Importa, contudo, recordar aqui o que ficou dito anteriormente a esta análise empírica: a correlação linear é um instrumento pobre para capturar todas as dinâmicas associadas ao processo de inovação. Daí se ter partido para uma caracterização da heterogeneidade assente em análise de diferentes quantis, olhando para a totalidade da distribuição, em lugar da mera estimação de uma função valor esperado condicional. Assim, a matriz de correlações que se apresenta na tabela 2.3 é importante no desvendar de algumas relações interessantes entre as variáveis, mas sobretudo em alguns puzzles que coloca, que apenas outras técnicas de análise permitirão resolver.

Tabela 2.3. Matriz de correlações

	Htpatentap	Terceduc	llong	ehtservices	Htemanuf	pube	prive	PIBpc
Htpatentap	1	0,43	0,17	0,4	0,34	0,26	0,72	0,57
Terceduc		1	0,32	0,39	-0,1	0,46	0,44	0,31
Llong			1	0,39	-0,33	0,43	0,04	0,18
Ehtservices				1	-0,15	0,65	0,38	0,48
Htemanuf					1	-0,3	0,55	0,34
Pube						1	0,22	0,21
Prive							1	0,59
PIBpc								1

Uma primeira asserção sobre a tabela anterior tem que ver com a natureza simétrica das matrizes de correlações. Assim, a caracterização do bloco acima da

diagonal principal é suficiente para termos um conhecimento completo sobre a matriz em apreço.

Em particular, destacam-se na tabela 2.3 os seguintes factos:

- no que se refere ao número de patentes *high-tech*, salienta-se desde logo o contraste, perfeitamente antecipado e compatível com a racionalidade esperada de cada um dos agentes, entre a baixa correlação que exhibe com o investimento público em I&D e a elevada correlação que exhibe com o investimento privado em I&D. Manifestamente, o segundo, estando vocacionado para a procura de poder de mercado e tendo como objectivo o lucro, numa lógica schumpeteriana, vai demonstrar maior apetência pelo registo da propriedade intelectual e pela garantia do uso exclusivo. A baixa correlação entre a I&D públicas e o registo de patentes pode encontrar diversas explicações no *core* da teoria evolucionista dos sistemas de inovação desde logo, sob o nome de I&D patrocinada pelo Estado podem estar englobados serviços (agências) de apoio à inovação, hipótese que outras conclusões abaixo, referentes à tabela 2.3, parecem suportar.
- No que se refere à educação (seja a educação universitária formal correspondente ao completar do ensino terciário, seja a educação ao longo da vida), se a generalidade das conclusões são as expectáveis, há alguns paradoxos aparentes que merecem particular destaque: o mais saliente de entre estes é a correlação negativa existente entre ambos os tipos de educação e o emprego em indústrias de alta e média tecnologia. Poderá suceder que este resultado seja tão somente uma consequência da pobreza do coeficiente de correlação linear enquanto medida indicada para este tipo de análise: em particular, será,

eventualmente, o caso de que o esclarecimento deste sinal surja por via da regressão de quantis.

- Outro resultado que merece clara relevância tem a ver com a elevada correlação entre o investimento público em I&D e o emprego em serviços *high-tech* (contrastando com uma baixa correlação deste tipo de emprego com o investimento privado). Parece-nos que este ponto corrobora a tese avançada na primeira observação produzida sobre a tabela 2.3: o investimento público em I&D poderá estar mais vocacionado para a prestação de serviços do que para a inovação industrial propriamente dita. Assim, a existência de, por exemplo, agências de apoio à inovação, poderá explicar a correlação encontrada.
- A correlação negativa entre o investimento público em I&D e o emprego em indústrias *medium-high tech* poderá ser mais uma faceta da realidade explorada no ponto anterior. Se o investimento público se dirigir a agências de apoio à inovação, poderá daí resultar a possibilidade de subcontratação externa de serviços *high-tech* por parte das empresas, que assim necessitariam de criar menos postos de trabalho próprios em áreas em que agora se recorrem das valências públicas. A correlação negativa entre as variáveis *htemanuf* e *ehtservices* constitui mais um indício que corrobora esta possibilidade.
- Importa, contudo, salientar que apesar da ideia que se vem discutindo sobre a substituíbilidade do emprego na indústria / sector privado e nos serviços / sector público na área de I&D, a matriz de correlações representada na tabela anterior não fornece qualquer base para advogar a existência de algum *crowding-out* entre investimento privado e investimento público em I&D. Isto porque a correlação entre os dois tipos de investimento é positiva nas regiões europeias. O

crowding-out aparenta existir somente ao nível da criação de emprego em I&D, com, para um determinado número de funções de I&D a desempenhar, o sector privado a manifestar disponibilidade para substituir recursos humanos próprios por recursos externos, valendo-se dos recursos humanos afectos a agências de inovação pelo sector público.

2.5.4.3.2. Resultados da estimação econométrica e caracterização de algumas regiões

Na estimação decidiu-se ter em conta o sucedido ao nível dos quantis de ordem 10%, 25%, 50%, 90%³⁰ da distribuição condicional do número de patentes *high-tech*, nas regiões europeias constantes da amostra. A escolha dos quantis reflectiu a intenção de se capturar suficientes cortes na distribuição para aferir a existência de heterogeneidade: isto é, para avaliar quais os factores explicativos, com significância estatística, que diferem consoante os quantis considerados. Procurar-se-á, encontrados esses factores, gizar um quadro conceptual que permita compreender os resultados encontrados. Deve recordar-se que o quantil de ordem 10% corresponde a regiões com muito baixa capacidade inovadora revelada, enquanto o quantil de ordem 90% corresponderá a regiões com muito elevada capacidade inovadora, tendo por referência a amostra disponível.

Conforme foi dito na introdução a este capítulo, levamos aqui a análise empírica um pouco mais longe. Além da estimação de regressões para diferentes quantis da distribuição condicional, decidimos averiguar quais as regiões que estão incluídas em cada quantil considerado da distribuição não condicional da variável aleatória número

³⁰ Esta escolha envolve sempre alguma arbitrariedade do investigador. Ademais, estes não foram, em bom rigor, os únicos quantis considerados: a análise também foi conduzida para $\tau = 0,75$, embora esses resultados não sejam totalmente reportados por considerações de espaço *versus* relevância.

de patentes *high-tech*. Identificadas as regiões, optamos por avançar com a caracterização de algumas delas em termos das dimensões que nos pareceram pertinentes para compreender o quantil não condicional em que se localizavam. Essa caracterização envolveu necessariamente aspectos históricos, institucionais e de caracterização do tecido e das relações produtivas. Importa frisar que esta é uma análise complementar à regressão de quantis, mas não um produto dessa técnica: num caso está em causa a distribuição condicional e no outro a distribuição não condicional.

Tabela 2.4. Resultados de estimação para $\tau = 0,1$

Count Data Quantile Regression (Quantile 0,10)						
Number of obs = 67; No. jittered samples = 1000						
htpatentaapp	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
prive	0,5047431	0,2908115	1,74	0,083	-0,065237	1,074723
pube	0,3014826	0,3351198	0,90	0,368	-0,3553401	0,9583054
pibpc	0,0000413	0,0000208	1,99	0,047	5,29e-07	0,0000821
terceduc	0,0413247	0,0391003	1,06	0,291	-0,0353103	0,1179598
llong	0,0406873	0,0346807	1,17	0,241	-0,0272857	0,1086603
Htemanuf	0,072751	0,037066	1,96	0,050	0,000103	0,145399
ehtservices	0,1828581	0,1127165	1,62	0,105	-0,0380621	0,4037783
_cons	-2,329217	0,7033813	-3,31	0,001	-3,707819	-0,9506151

A análise dos *p-values* de cada variável, assumindo um nível de significância de 5%, levar-nos-ia a interpretar o output do STATA como indicando que, para o quantil de ordem 10% da distribuição condicional da variável htpatentaapp, apenas o PIB *per*

capita da região (e, marginalmente, a fracção da força de trabalho afecta a indústrias transformadoras de cariz *medium-high tech*) seriam estatisticamente significativas. Se permitíssemos que o nível de significância fosse 10%, o investimento privado em I&D tornar-se-ia igualmente significativo.

De um ponto de vista interpretativo, estamos aqui a lidar com regiões com capacidade de inovação bastante reduzida e, nesse sentido, a inovação tenderá a assumir a forma de tecnologias que não exigem especiais qualificações da mão-de-obra (daí a irrelevância estatística das variáveis educacionais). A inovação não vai requerer, também por isso, o apoio de serviços especializados. É nesse sentido que interpretamos a não rejeição da hipótese nula de ausência de significância individual da variável referente à fracção da força de trabalho empregue em serviços *high-tech*. Dir-se-á que, nestas regiões, a inovação assume um carácter casuístico, não constituindo uma prioridade da política de crescimento regional (como parece resultar da ausência de significância do investimento público em I&D).

Analisando a distribuição não condicional, as regiões que estão em causa neste quantil são claramente da chamada Europa Mediterrânica³¹, designadamente, as duas regiões portuguesas da amostra (Norte; Lisboa e Vale do Tejo), três regiões espanholas (Andaluzia, Astúrias e País Basco) e duas regiões italianas (Campânia e Puglia). Vamos, em particular, tentar compreender a realidade das regiões espanholas e italianas aqui envolvidas.

Tanto Campânia, com capital em Nápoles, como Puglia, com capital em Bari, são regiões do Sul de Itália (ambas pertencem ao Mezzogiorno). A actividade agrícola é

³¹ Não incluindo a Grécia por ausência de dados para algumas variáveis.

ainda bastante relevante em Puglia, sendo a percentagem do VAB gerado pelo sector agrícola da região superior à média nacional, enquanto a percentagem do VAB industrial é muito inferior (Eurostat, 2009). No entanto, as condições da prática agrícola são pouco favoráveis, dado o carácter rochoso e pouco fértil do solo. Contribuem também para essas dificuldades as condições climáticas adversas, com frequentes tempestades tropicais. A pesca, curiosamente, tem uma reduzida expressividade económica. De acordo com o Relatório Regional do Banco de Itália (2006), alguns dos principais entraves ao crescimento industrial no passado continuam presentes: mormente, o predomínio esmagador de empresas de muito reduzida dimensão e uma especialização produtiva tida por desfavorável, já que particularmente vulnerável à concorrência dos países do Leste Europeu. Na taxinomia de Pavitt (1984) a região especializa-se em actividades dominadas pelos fornecedores, com reduzida capacidade de acumulação tecnológica interna às empresas.

Adicionalmente, o Banco de Itália aponta para a baixa qualificação da força de trabalho como uma dificuldade estrutural da região: em particular, a recente tendência de aumento da frequência universitária por parte dos jovens de Puglia é contrariada pela procura, por parte desses jovens, de universidades exteriores à região. Assiste-se assim a um processo de êxodo migratório que em nada vem contribuir para potenciar uma alteração na performance económica regional.

Embora a conjuntura económica da Campânia pareça, à luz dos relatórios regionais do Banco de Itália, ligeiramente melhor, a verdade é que é dito explicitamente que a região padece, tal como Puglia, de problemas de especialização produtiva. No caso da Campânia, o problema parece ser o de uma especialização focada nos sectores tradicionais da economia italiana, mas sem a dinâmica de inovação de outras regiões:

por exemplo, no vestuário, questões como o *design*, a qualidade e a marca são pouco relevantes na indústria regional³². A consequência disso tem sido, desde há já bastantes anos, a deterioração da posição exportadora do Sul de Itália (e das Ilhas): as regiões de Campânia e Puglia estão hoje claramente abaixo da capacidade exportadora média das regiões italianas. O Banco de Itália avança com explicações que passam por não se ter sabido encontrar novos mercados de exportação para produtos de baixo valor acrescentado (contrariamente, alega o mesmo relatório, ao que terá sucedido com as regiões mais pobres da Alemanha ou da Espanha, que se souberam posicionar, respectivamente, nos mercados do Leste Europeu e da América Latina). Implícita está claramente a consideração de a produção de baixo valor acrescentado típica da Campânia e de Puglia não ter possibilidades de circulação no exigente comércio intra-comunitário (entendida aqui a UE-15).

Na região das Astúrias, 20% da população activa está ainda afectada ao sector primário, que ademais se encontra numa prolongada fase depressiva (I.N.E., 2005). A extracção mineira de Carvão é ainda uma actividade importante, embora já não tenha o peso de que em tempos usufruiu (Bowen-Jones e Fisher, 1966; I.N.E., 2005). O sector secundário ocupa 33% da população activa, com destaque para a siderurgia e para os sectores alimentares, químicos e de transportes. Perfila-se assim, com a excepção da indústria química³³, uma especialização produtiva focada em sectores dominados pelos fornecedores e em sectores baseados na produção, em que a escala assume grande relevância. A estrutura industrial é extraordinariamente fragmentada: 51,95% das empresas não têm assalariados; em termos de dimensão, as microempresas representam 43,17% do tecido industrial (dados do I.N.E., 2005).

³² Os sectores mais representativos são também aqui dominados pelos fornecedores.

³³ Seria necessária uma análise mais desagregada para compreender de que indústria química estamos aqui a falar.

Em traços gerais, a economia da Andaluzia é marcada por um forte desemprego (a dados do I.N.E. de 2004, a taxa de desemprego regional era de 13,83%, contra uma média nacional de 9,16%).

O principal obstáculo à inovação na Andaluzia passa, porventura, pela sua especialização produtiva: mais de 13% do VAB regional é proveniente do sector da construção (fortemente trabalho-intensivo), claramente um sector dominado pelos fornecedores na classificação de Pavitt (1984). A indústria agro-alimentar continua a ter uma grande relevância na região, mas o VAB sectorial tem estagnado nos últimos anos. Há o reconhecimento, por parte das autoridades regionais, de uma progressiva alteração da estrutura produtiva.

Não é simples, no caso do País Basco, encontrar razões claras para a sua fraca performance em matéria de registo de patentes de alta tecnologia. O processo de industrialização não tem, desde os anos 90, ignorado a criação de polígonos industriais e parques tecnológicos. Em relação a estes últimos, tem havido algum cuidado na escolha estratégica da sua localização. O exemplo canónico é o Parque Tecnológico de Zamudio, também designado por Parque Tecnológico da Comunidade Autónoma Basca, que se localiza numa zona de boas acessibilidades internacionais (perto do aeroporto de Sondika e do Porto de Bilbao), nacionais (com acessos fáceis à rede de auto-estradas) e com a preocupação de proximidade à Universidade do País Basco e à Universidade de Deusto. O parque pretende promover a implementação de empresas inovadoras e fomentar a transferência de tecnologias e conhecimentos entre estas.

Diremos, contudo, que o parque tecnológico³⁴ não é representativo da realidade fragmentada e heterogénea do País Basco, em que zonas existem ainda marcadas pela

³⁴ Existem dois outros parques tecnológicos no País Basco: Miñano, perto de Vitoria, e Miramón, em São Sebastião.

ruralidade e estagnação industrial: nas sub-regiões da Baixa Navarra e em Zuberoa o emprego agrícola é ainda dominante (35,2% e 25% do emprego total, respectivamente). A heterogeneidade das províncias do País Basco é assim bem vincada: o sector agropecuário representa uma fracção quase seis vezes superior do PIB de Navarra do que do PIB de Guipúzcoa (província onde 38,6% do emprego está afecto à indústria transformadora)³⁵.

Uma outra parte da explicação para o aparente paradoxo do País Basco em matéria de inovação parece resultar claramente de uma leitura atenta, e com a grelha correcta, da sua estrutura produtiva³⁶. Em particular, assume grande relevância, no País Basco, a Indústria Automóvel (responsável por 16,4% do PIB da região). O País Basco foi, aliás, capaz de atrair 2,5% da totalidade da indústria automóvel europeia, fruto da proliferação de empresas locais de prestação de serviços altamente qualificados, e fruto do desenvolvimento de empresas produtoras de componentes automóvel. Sucede contudo, como discutimos já, que o recurso ao registo de patentes não é particularmente simples no ramo automóvel pela dificuldade em definir em que consiste uma inovação no sector (por contraposição, como dissemos, ao sector químico).

Ademais, na estrutura produtiva basca merece ainda particular destaque a produção de aço. Cerca de 50% do aço fabricado em Espanha é oriundo do País Basco. As empresas do sector revelam grande capacidade de adoptar inovações, incorporando as mais recentes tecnologias, mas não se têm destacado pela produção própria de inovações.

Em síntese, o padrão de especialização industrial assenta em sectores especializados na produção. A existência de um conjunto de empresas locais de

³⁵ Dados fornecidos pelo Governo do País Basco (2006).

³⁶ Os dados referenciados neste parágrafo e no seguinte são facultados pelo Governo do País Basco e referem-se a 2004.

fornecimento de serviços especializados é contudo uma possível fonte de acumulação tecnológica. Nas províncias rurais e com baixa industrialização predominam actividades que na taxinomia de Pavitt (1984) são dominadas pelos fornecedores. Assim, apesar da existência de sectores baseados na ciência, e uma aparente arquitectura institucional favorável com o desenho de parques tecnológicos e a aposta na cooperação entre universidades e empresas, a heterogeneidade sectorial do País Basco é ainda grande, com um peso não despreciable de sectores com reduzidas oportunidades tecnológicas.

Tabela 2.5. Resultados de estimação para $\tau = 0,25$

Count Data Quantile Regression (Quantile 0.25)						
Number of obs = 67; No. jittered samples = 1000						
htpatentaapp	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
prive	0,2700574	0,4825653	0,56	0,576	-0,6757532	1,215868
pube	0,4444755	0,3203632	1,39	0,165	-0,1834249	1,072376
pibpc	0,0000714	0,0000413	1,73	0,084	-9,61e-06	0,0001523
terceduc	0,044526	0,0195876	2,27	0,023	0,0061349	0,082917
llong	0,0317638	0,0253658	1,25	0,210	-0,0179524	0,0814799
Htemanuf	0,1008021	0,0699224	1,44	0,149	-0,0362432	0,2378475
ehtservices	0,1133976	0,1388473	0,82	0,414	-0,158738	0,3855332
_cons	-2,583199	0,6195864	-4,17	0,000	-3,797566	-1,368832

A tabela 2.5 reporta o output de estimação do STATA referente à função quantil condicional quando $\tau = 0,25$, isto é, quando estamos interessados no quantil de ordem 25%. Usando um nível de significância de 5% concluiríamos que a variável respeitante

à fracção da população com idades compreendidas entre os 25 e os 64 anos que tem formação universitária seria a única para a qual se rejeitaria a hipótese nula num teste de significância individual. Permitindo um nível de significância de 10%, a variável PIB pc é também significativa. Ademais, os sinais estimados para os efeitos de ambas as variáveis estão de acordo com os pressupostos teóricos que conduziram à sua inclusão no modelo: em ambos os casos, o efeito esperado sobre o número de patentes é positivo. As duas primeiras funções quantil condicionais estudadas permitem desde já gizar uma conclusão fundamental para o propósito deste capítulo: há variáveis estatisticamente relevantes quando se considera o primeiro decil, que deixam de o ser quando a análise incide sobre o primeiro quartil da amostra. Em concreto, para o primeiro decil as variáveis PIB pc, investimento privado em I&D e fracção da força de trabalho afecta a funções em indústrias *medium* e *high-tech* eram relevantes. Quando consideramos o primeiro quartil, as variáveis referentes ao investimento privado em I&D e à fracção da força de trabalho empregue nessas indústrias deixam de ser relevantes, enquanto a fracção da população com idade para participar no mercado de trabalho e com formação universitária passa a ser. Dito de outra forma, o objectivo proposto de usar a regressão de quantis para demonstrar a heterogeneidade tecnológica foi plenamente alcançado. A capacidade de inovação das regiões depende de factores diferentes consoante o quantil da distribuição condicional em que se encontram. O programa de investigação de Cantner e Krüger (2004) está, assim, a ser implementado da forma auspiciada pelos autores, com a regressão de quantis, adaptada, neste contexto, a modelos de contagem, a ser capaz de desempenhar um papel relevante na econometria evolucionista.

As variáveis explicativas consideradas estatisticamente relevantes permitem o desenho de um quadro diferente do anterior: são de regiões cuja capacidade inovadora,

medida pelo número de patentes de alta tecnologia, é já um pouco mais que incipiente, muito embora se situem ainda num escalão inferior em termos do quadro global das regiões consideradas. Ainda assim, a formação de uma base de conhecimentos começa a desempenhar um papel relevante, que é capturado pelo facto de a educação terciária ser significativa a 5%. Sem pretender desenhar qualquer sequência determinística para o processo de inovação (que a heterogeneidade de trajectórias tecnológicas bem demonstra que não existe), advogaríamos, a título de metáfora, que se trataria de um reunir de pré-requisitos para que a inovação possa vir a ser uma prática generalizada: e um dos mais importantes pré-requisitos passa pela qualificação da mão-de-obra a um nível superior.

Feitas estas considerações, importa, à semelhança do procedimento adoptado após a estimação para $\tau = 0,1$, averiguar que regiões adicionais seriam consideradas olhando o quantil 25% da distribuição não condicional. Permanecemos num quadro dominado pelas regiões espanholas (em número de quatro: Castilla Y León, Islas Baleares, Galicia e Comunidad Valenciana), novamente com presença de regiões italianas (Liguria e Umbria), mas agora com inclusão de regiões francesas (Bourgogne, Champagne-Ardenne e Limousin).

Não podemos, à luz designadamente do EIS (2002)³⁷, falar em alguma surpresa:

- das regiões consideradas nenhuma integra os chamados 10 líderes locais, na secção 2.3 do documento referido;
- adicionalmente, nenhuma delas é também líder mesmo no seu próprio país, conforme a tabela 1 do documento referido;

³⁷ Technical Report n.º 3.

- por fim, e de acordo com a tabela 3 do mesmo relatório, nenhuma destas regiões está entre as 5 primeiras da Europa de acordo com as 6 variáveis a que temos vindo a dar relevo no quadro do modelo econométrico.

Deve contudo salientar-se uma surpresa parcial, dado que a aprendizagem ao longo da vida é, em Espanha, liderada pela Comunidade Valenciana. No entanto, tal surpresa deve desvanecer-se rapidamente, uma vez que se tenha presente que mesmo assim o nível dessa variável na Comunidade Valenciana está claramente abaixo da média comunitária (conforme figura 2 da secção 2.2 do relatório).

Quando consideradas isoladamente, algumas destas regiões merecem ser analisadas. Em particular, a Umbria é uma região situada no coração do centro de Itália, no Mezzogiorno, sendo mesmo a única região transalpina sem fronteira marítima. A sua economia assenta em quatro vectores fundamentais: o artesanato, a agricultura, o turismo e a indústria (INS, 2009). As duas primeiras têm um cariz marcadamente tradicional, o que se explica por terem sido introduzidas cedo na região (no século XIII a actividade cerâmica surgiu em Deruta, enquanto a agricultura remonta à antiguidade clássica) e por, em conjugação, a região ter sido incluída no Estado Pontífice, e nele ter permanecido, nos séculos XVII e XVIII. A Umbria passa assim dois séculos de estagnação económica, na medida em que as actividades económicas prevaletes eram as que já existiam: a agricultura e o artesanato. O isolacionismo marcou a região, num período de grande dinamismo económico na Europa. Ademais, a estrutura fundiária, caracterizada pelas pequenas propriedades e pela ausência de grandes firmas agrícolas, dificulta sobremaneira qualquer tentativa de aumento da produtividade sectorial através da mecanização e inovação nas técnicas de cultivo.

As consequências desse isolacionismo estão presentes ainda hoje, na medida em que os principais obstáculos ao processo de industrialização passam precisamente pela falta de uma completa rede de ligações rodoviárias, numa região em que a paisagem é marcada por montanhas e vales. As redes de ligação entre o Norte e o Sul da Itália não passam pela região de Umbria, o que constituiu um constrangimento apreciável ao desenvolvimento industrial. Assim, as actividades artesanais em pequena escala (como em Deruta, Gubbio, Gualdo Tadino e Orvieto) tornaram-se um dos cartões de visita de Umbria, que por essa via conseguiu potenciar o sector do turismo (representa cerca de metade do emprego da região). Não é por isso de estranhar o despovoamento de partes da Umbria, em consequência de vagas de emigração para o Norte de Itália, em busca de emprego e melhores salários (o último grande movimento registou-se nos anos 70, tendo entretanto sido travado, não pela melhoria das condições na Umbria mas pela redução da procura de trabalho pelas indústrias do norte). Contudo, e dentro da própria região, a maioria dos habitantes da Umbria deslocou-se para a província de Perugia, onde se situa o principal centro urbano e onde surge um dos dois únicos centros industriais da região, localizando-se o outro em Tiverni.

Na província de Perugia, destacam-se as indústrias alimentares, têxtil e de vestuário. A indústria alimentar continua a ser marcante na Umbria, sendo de destacar a doçaria, e em particular a fábrica Perugina-Nestlé. Contudo, merecem também relevo a indústria ligada à exploração da água mineral, e a produção de azeite (dados da Comune di Perugia, 2008).

Em Tiverni, concentraram-se actividades industriais mais relacionadas com a metalurgia, a mecânica e fabricação de utensílios eléctricos. Residualmente, pode-se

ainda falar na produção de máquinas agrícolas na zona de Città di Castello – San Giustino (dados da Comune di Tiverni, 2008).

De um ponto de vista da taxinomia de Pavitt (1984), é assim claro que a Umbria é marcada por sectores dominados pelos fornecedores (como a agricultura, o turismo e a indústria têxtil), e por sectores baseados na produção. Não há, contudo, referências à criação de uma rede local de fornecedores especializados para as empresas escala-intensivas. O perfil de especialização não é, assim, atravessado por grandes oportunidades tecnológicas. Não se verificou também, como resulta da análise histórica da região, uma favorável complementaridade institucional (na terminologia de Amable (2000)) que permitisse o desenvolvimento oportuno de vias de comunicação. O resultado foi algum *lock-in* em trajectórias tecnológicas menos favoráveis.

Em síntese, os êxodos migratórios, as fracas acessibilidades, as condições naturais adversas e o prolongar no tempo do isolacionismo económico debilitaram a evolução da estrutura industrial da Umbria. As parcas vias de comunicação são, ainda hoje, um problema. Este conjunto de factores permitem compreender que o tecido produtivo da Umbria não tenha evoluído de modo a potenciar o surgimento de indústrias inovadoras.

Compreender o posicionamento da Liguria é, na aparência, substantivamente mais complexo, dado que se trata de uma região do Norte de Itália, tradicionalmente associado, no imaginário da Economia do Desenvolvimento, ao progresso industrial e à inovação. Sucede que a Liguria serve perfeitamente para compreendermos que nem sequer o Norte de Itália deixa de ser uma realidade heterogénea. E, em particular, para reconhecermos, na boa tradição evolucionista a importância das *path dependencies* sublinhadas por Paul David (1985), ou, se se preferir, da espessura do tempo histórico.

A Liguria é uma região do noroeste italiano, com capital em Génova, e com fronteiras com a França, com a região da Toscana, com a região do Piemonte e com a região da Emilia-Romagna. A sua economia tem alguns aspectos claramente potenciadores do crescimento, nos três sectores de actividade³⁸. Ao nível do sector primário, a Liguria baseia-se fortemente numa agricultura vocacionada para a qualidade, com especializações produtivas muito vincadas e a aposta num rigoroso controlo de qualidade. A produção é baseada no cultivo da azeitona, da fruta e, acima de tudo, na floricultura. Ao nível do sector terciário destaca-se claramente o turismo, com estâncias balneares de renome mundial como Portofino ou Portovenere, e com uma oferta de serviços de hotelaria e restauração que faz da qualidade uma imagem de marca.

Contudo, interessa-nos sobretudo caracterizar o que sucede ao nível do sector secundário. Historicamente, a Liguria sempre foi um centro de forte desenvolvimento industrial, com particular destaque para os sectores baseados na produção: as indústrias mecânicas, estaleiros navais e indústrias termomecânicas. Estas assumiram tal dimensão que funcionaram como chamariz para múltiplas actividades empreendedoras relacionadas, em sectores de suporte. Todavia, esse modelo de crescimento industrial entrou em crise nos anos 70, crê-se que em alguma medida devido à grande participação de capitais públicos nas grandes indústrias escala-intensivas. A crise dos anos 70 deixou uma substantiva herança negativa na indústria da região, e mesmo em termos ambientais.

Hoje em dia, a indústria da Liguria é dominada fortemente pela extracção e trabalho de ardósia, material de que a região é a principal exportadora mundial. Relevam também, embora mais modestamente, a indústria do plástico e a cerâmica. São

³⁸ Dados da Direcção Regional da Liguria (2007).

em todo o caso, sectores de reduzida oportunidade tecnológica. As indústrias de alta tecnologia são ainda uma realidade emergente, e vocacionada sobretudo para actividades náuticas, e por isso, muito concentradas na zona de Spezza.

Em suma, é à experiência histórica da evolução industrial da Liguria que parece ser imputável a sua reduzida expressividade actual em matéria de inovação. O parcial abandono do antigo padrão de especialização traduz-se, na prática, no aumento da importância de outras actividades como as relacionadas com a extracção e trabalho de ardósia, o turismo e a floricultura, onde o espaço para a inovação (via registo de patentes) é porventura menor. A Liguria prefigura-se assim como um exemplo claro de dependência de trajectória, dado que as suas opções actuais estão condicionadas por uma série de acções passadas que a impedem ainda de ser um tão vibrante pólo de inovação como outras regiões do Norte de Itália.

A região de Champagne-Ardenne situa-se no nordeste de França. A sua economia foi sujeita historicamente a processos de devastação com as guerras mundiais. A pujança económica veio no período do pós-guerra, nos anos dourados do crescimento, assente sobretudo na indústria têxtil e metalúrgica. Contudo, subsequentes crises destruíram a indústria têxtil no seu pólo principal, em Reims, mas também em Troyes e em Sedan. A indústria metalúrgica da região sofreu também os efeitos adversos da recessão, com grande perda de expressividade. Assim, hoje em dia a região de Champagne-Ardenne já não é caracterizada pelas indústrias de grande envergadura, nem especializada nestes sectores. Há, de facto, uma diversificação da actividade económica regional. A actividade económica beneficia sobremaneira das grandes vias rodó e ferroviárias que a atravessam, designadamente, da nova ligação (2007) entre Paris e Reims por TGV. Estas acessibilidades vieram também potenciar o turismo na

região. No entanto, e apesar disto, mais de 60% da área da região ainda está, hoje em dia, vocacionada para a agricultura.

Sob o ponto de vista da inovação, um inquérito recente (Chambre de Commerce et d' Industrie, 2006) veio desnudar algumas realidades preocupantes da região:

- Desde logo, apenas 27% das empresas declararam estar actualmente envolvidas em inovações de processo ou de produto;
- 21% declara envolvimento em inovações noutras áreas como o marketing comercial, o aprovisionamento de matérias primas, e a estrutura organizacional³⁹;
- As empresas inovadoras são sobretudo industriais (29% afirmam-se envolvidas em inovações de produto ou processo). Destas, a maioria são empresas com alguma dimensão (50 ou mais assalariados). As actividades agrícolas (referidas acima como ocupando 60% do território) não têm qualquer expressividade em matéria de inovação, de acordo com os resultados do inquérito.
- Dos 52% de empresas que declararam não estar envolvidas em nenhum movimento de inovação de produto ou processo, só 2% afirmaram ter intenções de desencadear acções desse tipo nos seis meses subsequentes.
- Ademais, das empresas que correntemente não inovam mas que o consideram fazer, a prioridade passaria por inovação na área do marketing comercial (52% destas empresas).
- Em 59% das empresas inquiridas, foi revelado que um processo de inovação (passado, presente ou futuro) teria de partir da iniciativa pessoal do gestor ou

³⁹ É interessante salientar, numa óptica de valorização da heterogeneidade, que os resultados diferem consoante a sub-região considerada, dentro das que constituem a Champagne-Ardenne. Contudo, em todos os casos, a vasta maioria (sempre rondando os 50%) afirma não estar nem pretender estar envolvida em processos de inovação de qualquer natureza.

CEO da empresa. Isto é, há muito pouca flexibilidade para as ideias de inovação fluírem no sentido *bottom-up*. Adicionalmente, apenas 19% dos inquiridos admitiu o desencadear de processos de inovação em rede com outras empresas, com partilha de recursos, competências e conhecimentos. O *outsourcing* de partes do processo, subcontratualizando mesmo com agências públicas de inovação muito raramente foi visto de modo favorável.

O quadro que acabamos de traçar permite apontar duas causas estruturais para a fraca performance revelada pela região de Champagne-Ardenne no domínio da inovação. Em concreto, e antes de mais, se apenas 27% das empresas estão envolvidas em inovações de produto ou de processo, parecerá legítimo dizer que a região não está a apostar em estratégias de inovação que se traduzam necessariamente no registo de patentes. Se já é sabido que nem todas as inovações de produto e processo são patenteáveis com idêntica facilidade, importa ainda acrescentar que mais difícil é o registo de patentes decorrer de inovações organizacionais, de marketing comercial ou de gestão do aprovisionamento. O facto de a maioria dos potenciais inovadores verem como área primordial de inovação o marketing comercial não permite antecipar uma alteração dinâmica do posicionamento da região no futuro próximo. Diremos, contudo, que a limitação aqui parece resultar do indicador de inovação que optamos por usar neste estudo. Debates já anteriormente a problemática das medidas de inovação. Cabe aqui apenas reforçar a percepção de que, se mesmo ao nível das inovações de produto e processo há heterogeneidade na facilidade de patenteamento, maior dificuldade percebida existe com outros tipos de inovações.

Contudo, o quadro que o inquérito traça permite, com alguma segurança, antecipar, sem pretensões de futurologia, que a região de Champagne-Ardenne não se venha, no futuro próximo, a constituir como uma referência em termos de dinâmica inovadora. E isto sobretudo pelo estrangulamento provocado pela mentalidade relativamente às redes e parcerias em matéria de inovação, à partilha de conhecimentos e à colaboração com agências governamentais. A reduzida vocação para este tipo de desenvolvimento em equipa (conjugada, para mais, com estruturas hierárquicas empresariais muito verticalizadas, em que a inovação é vista como partindo quase exclusivamente da pessoa do CEO) leva a que o modelo empresarial da região esteja distante dos traços que marcam as regiões com forte dinâmica de inovação (aspecto discutido em detalhe no capítulo anterior)⁴⁰.

No que se refere à Galiza, González López (2002) reconhece a existência de um desempenho fraco em matéria de inovação e relaciona esse desempenho com diversas debilidades do Sistema Galego de Inovação:

- O perfil de especialização sectorial e a estrutura produtiva não favorecem as actividades de I&D. Em particular, González López (2002) considera que, na taxinomia de Bell e Pavitt (1993), os principais sectores industriais galegos (agro-alimentar, energético e maquinaria) são sectores de tecnologia chave-na-mão, em que os factores de acumulação tecnológica são meramente a compra de bens de equipamento aos fornecedores, sendo estes equipamentos depois simplesmente utilizados pela mão-de-obra fabril. O padrão de especialização industrial perfila-se assim como uma barreira à inovação;

⁴⁰ Questões relacionadas com o *trade off* entre o espaço e a mais-valia que representaria levam-nos a não debater aqui as demais regiões francesas consideradas neste quantil não condicional.

- Existe na Galiza uma atomização do tecido empresarial que dificulta a realização de actividades de I&D, dada a identificação feita por Vence (1998) de um padrão regional segundo o qual seriam as empresas galegas de maior dimensão as responsáveis pela I&D privada da região.
- Há uma baixa tradição na Galiza (mimética aliás do que sucede em Portugal) de recurso ao registo de patentes. Das patentes registadas entre 1987 e 1995, só 1,9% correspondem a empresas com residência na Galiza (dados da Xunta de Galicia, 1999). Uma grande parte das patentes foi solicitada pelas três universidades da região, e diversas por pessoas particulares.
- Cerca de 50% das despesas em I&D realizadas na Galiza em 1998 são provenientes das três universidades da região. O que as coloca como os maiores investidores em I&D, claramente acima da indústria. Ademais, não existem sinais na Galiza, advoga González López (2002), de uma colaboração universidade-indústria. Os contactos entre as duas partes estão enfermos de debilidades estruturais que comportam a reduzida duração temporal dos protocolos de colaboração entre universidade e indústria, a reduzida percepção dos empresários relativamente à diferença entre inovação e aspectos técnicos da produção e, segundo González López (2000), a própria ausência de espaços físicos de diálogo entre as partes, fomentando a procura de pontos de convergência e interesses comuns.
- Apesar de já em 1999 existirem na Galiza doze centros de investigação e centros tecnológicos (associados às Universidades ou a organismos públicos), a maioria deles estão vocacionados para sectores tradicionais da economia, como a agricultura e a pesca. Adicionalmente, Vence (1998) constata que a participação

e o envolvimento das empresas nos centros públicos de investigação é muito modesta, pelo que a eficácia destes é muito reduzida.

- Usando como indicador da interacção entre empresas a existência de *clusters* empresariais, González López (2002) constata que estes não funcionam como plataformas de diálogos tecnológicos, potenciando a criação de redes e parcerias, mas antes cumprem funções meramente mediáticas e de representação corporativa junto da Administração Regional.

Em síntese, os aspectos que vimos de sumariar justificam a má prestação da Galiza em matéria de inovação, e a sua presença num baixo quantil da distribuição não condicional do número de patentes.

O posicionamento do arquipélago das Baleares neste baixo quantil não constitui factor de particular surpresa. De acordo com a Innovative Regions in Europe (IRE) Network, a maior dificuldade da região em termos de desenvolvimento tecnológico e inovação prende-se com a sua particular estrutura económica. De facto, em matéria de inovação a região das Baleares apresenta um desempenho pior que a generalidade das regiões espanholas, por motivos que se relacionam com um muito forte crescimento económico nos últimos 25 anos, assente fundamentalmente no turismo. Mais de 80% do VAB da região é gerado pelo sector dos serviços (60% é gerado directamente pelo turismo e 90% indirectamente). As ilhas de Maiorca, Minorca, Ibiza e Formentera tornaram-se um dos principais pólos turísticos da Europa, permitindo que a região exiba um dos valores mais elevados de Espanha em matéria do PIB *per capita*, mas não apresentam um padrão de especialização particularmente indutor da inovação. Os serviços são, em Pavitt (1984), considerados um sector dominado pelos fornecedores.

Ademais, a instalação de uma universidade na região (a Universidade das Ilhas Baleares, UBI) é bastante recente, se comparada com a tradição da Espanha continental. Importa, contudo, notar que a região apresenta perspectivas de um melhor desempenho futuro em matéria de inovação. Por um lado, porque a sua localização levou à instalação de diversos centros de investigação temáticos: Instituto Mediterrânico de Estudos Avançados, Instituto Oceanográfico, etc. Por outro, porque o governo regional tem envidado esforços no sentido de fomentar um plano de inovação para a região. O primeiro plano correspondeu ao período 2001-2004, estando presentemente em vigor o segundo plano de inovação. De um modo genérico, é feita uma apreciação positiva pela IRE ao primeiro plano, embora o carácter recente da iniciativa não possa, obviamente, ainda ter um impacto sensível nos indicadores de inovação regional.

Em síntese, apesar da instalação da UBI e de centros de investigação, e apesar das medidas recentes do governo regional, o desempenho das Ilhas Baleares em matéria de inovação é claramente precário quando comparado com outras regiões espanholas. Este facto parece advir de um perfil de especialização sectorial afunilado no turismo e nos serviços conexos⁴¹.

É também na tradicional especialização produtiva e na espessura do tempo histórico que se podem encontrar os fundamentos do pobre desempenho ainda evidenciado pela região de Castela e Leão. É certo que a região foi uma das primeiras oito a serem seleccionadas para o Plano Tecnológico Regional do Comissariado Europeu para as Políticas Regionais⁴². Contudo, a tal densidade do tempo secular em

⁴¹ Não iremos aqui debater a questão da presença da Comunidade Valenciana neste quantil. Contudo, a explicação deveria passar igualmente pelo grande peso que os serviços, particularmente os ligados ao turismo, têm no VAB regional.

⁴² Tendo a primeira fase do plano decorrido entre 1997 e 2000, não seria de todo expectável a quantificação de impactos positivos nos registos de patentes do *European Innovation ScoreBoard* de 2002, com que estamos a trabalhar.

que uma especialização produtiva desfavorável tolheu o desenvolvimento tecnológico da região, não pode ser apagada com facilidade pelo simples desenrolar de um plano comunitário recente. Em particular, essa estrutura pode caracterizar-se pelos seguintes traços gerais:

- O sector primário tem ainda um papel considerado não negligenciável pela IRE Network: 6,9% do PIB regional provém do sector.
- Algumas das indústrias mais relevantes da região, como a agro-alimentar e a automóvel são, na taxinomia de Pavitt (1984), dominadas pelos fornecedores de tecnologia ou baseadas na produção. A acumulação tecnológica nas indústrias dominantes é assim caracterizada por tecnologias chave-na-mão, com reduzido espaço para dinâmicas locais de aprendizagem e inovação incremental.

Guillermo (2002) identifica ainda como fraqueza estrutural da região a dificuldade das empresas em implementar estratégias de inovação na gestão, em conjunto com os programas comunitários de I&D. O autor considera que na primeira fase do Plano Tecnológico Regional existiram múltiplas deficiências na implementação da inovação ao nível de sistemas de gestão, quer no plano comercial, quer no plano organizacional. Segundo o autor, os empresários da região estão conscientes dessas deficiências (o que parece ser um passo inicial relevante), mas por razões não diagnosticadas, aparentemente são incapazes de as corrigir. Adicionalmente, advoga Guillermo (2002), a estrutura atomística do tecido empresarial exige um esforço particular no difundir das novas ferramentas de gestão, dada a necessidade de múltiplos contactos individuais por existir um muito grande número de pequenas empresas.

Tabela 2.6. Resultados de estimação para $\tau = 0,5$

Count Data Quantile Regression (Quantile 0.50)						
Number of obs = 67; No. jittered samples = 1000						
htpatentaapp	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
pube	0,4774073	0,4801216	0,99	0,320	-0,4636138	1,418428
prive	0,2977382	0,3026345	0,98	0,325	-0,2954146	0,890891
pibpc	0,0000787	0,0000446	1,76	0,078	-8,73e-06	0,0001661
terceduc	0,0441831	0,0218219	2,02	0,043	0,0014131	0,0869531
llong	0,039008	0,0251633	1,55	0,121	-0,0103112	0,0883272
ehtservices	0,0644671	0,1472504	0,44	0,662	-0,2241385	0,3530726
htemanuf	0,1130385	0,0494783	2,28	0,022	0,0160629	0,2100141
_cons	-2,545198	0,6835084	-3,72	0,000	-3,884849	-1,205546

No que se refere à estimação da função quantil condicional com $\tau = 0,5$, as variáveis significativas a 10% não são substantivamente diferentes do que se passava no quantil precedente analisado: o PIBpc e a fracção da população com ensino universitário são estatisticamente relevantes em ambos os casos. Existe, contudo, uma diferença importante que permite mais uma vez denotar a heterogeneidade de estruturas tecnológicas nas regiões europeias: a percentagem da força de trabalho afecta ao sector industrial de alta e média tecnologia é estatisticamente significativa, mesmo a 2,5%.

Não pretendendo fazer excessivas considerações sobre este quantil da distribuição não condicional do número de patentes de alta tecnologia, porque nos

parece mais relevante a análise do quantil seguinte (que se situa num quadro oposto às regiões que temos vindo a analisar), será sempre relevante dar nota de que regiões estamos a falar. Estão aqui compreendidas uma diversidade de regiões francesas (Auvergne, Languedoc-Roussillon, Nord-Pas-de-Calais, Midi-Pyrenees, entre outras) e italianas (Abruzzo, Friuzo-Venezia Giulia, etc.) e mesmo algumas regiões alemãs e holandesas (Schachsen-Anhalt, Tueringen e Schachsen, no primeiro caso; Flevoland e Zeeland, no segundo).

O predomínio das regiões francesas neste quantil intermédio não é uma surpresa completa. Diremos apenas que as despesas francesas em I&D estavam em 2003 (segundo dados da OCDE) em cerca de 2,2% do PIB, um valor inferior ao que a própria França apresentava em meados dos anos noventa (2,4%), e inferior aos valores de 2003 de alguns dos seus principais concorrentes (a Alemanha, por exemplo, exibiu um valor de 2,6% do PIB).

As regiões italianas identificadas não constituem também surpresas de vulto: a região de Abruzzo situa-se no Mezzogiorno, e exhibe enormes heterogeneidades de desenvolvimento interno. Quanto às alemãs, importa notar que Sachsen, Sachsen-Anhalt e Thueringen são regiões da anterior República Democrática Alemã. Usualmente, as regiões da ex-RDA são as que exibem menor dinâmica de inovação na actual Alemanha. No que se refere à Holanda, a presença da região de Flevoland neste quantil não era também imprevisível: como observam Leydesdorff *et al.* (2006), a estrutura técnico-económica de Flevoland é claramente menos madura que a de outras províncias holandesas, sugerindo implicitamente uma menor capacidade inovadora. De acordo com a metodologia empregue pelos autores, a província de Zeeland surge quase sempre em penúltimo lugar (à frente apenas de Flevoland), nos indicadores de inovação

que constróem com base em métodos baseados na máxima entropia. Em particular, no que respeita ao indicador que usam referente a indústrias de alta e média tecnologia, Zeeland surge mesmo em último lugar entre as regiões holandesas.

Em síntese, as regiões identificadas, na distribuição não condicional, para o quantil $\tau = 0,5$ estão de acordo com expectativas apriorísticas que pudéssemos ter sobre a matéria.

Tabela 2.7. Resultados de estimação para $\tau = 0,9$

Count Data Quantile Regression (Quantile 0.90)						
Number of obs = 67; No. jittered samples = 1000						
htpatentaapp	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
pube	-0,180678	0,5293183	-0,34	0,733	-1,218123	0,8567667
prive	0,6426493	0,3225496	1,99	0,046	0,0104637	1,274835
pibpc	0,000062	0,0000348	1,78	0,075	-6,20e-06	0,0001301
terceduc	0,0628783	0,0159098	3,95	0,000	0,0316956	0,094061
llong	0,0217423	0,0511281	0,43	0,671	-0,078467	0,121951
Ehtservices	0,202909	0,1154608	1,84	0,057	-0,4741817	0,8799997
htemanuf	0,1216851	0,0323385	3,76	0,000	0,0583029	0,1850673
_cons	-2,170818	1,009818	-2,15	0,032	-4,150025	-0,191611

Os resultados para o quantil 90%⁴³ são deveras interessantes, merecendo uma série de observações da nossa parte:

⁴³ Poder-se-á questionar porque não estimamos a função quantil condicional para a fronteira, isto é, para o quantil 100%. O facto é que o número de observações disponíveis nos impõe um constrangimento técnico

- Em primeiro lugar, importa notar que a um nível de significância de 5%, são relevantes as variáveis referentes ao investimento privado em I&D, ao peso da população com idade entre 25 e 64 anos com formação superior universitária no total de população nesse escalão etário, e ao peso do emprego em indústrias de alta e média tecnologia no total da força de trabalho. Permitindo, como temos feito, um nível de significância mais alto (no intuito de minorar a perda de potência dos testes), em concreto usando $\alpha = 10\%$, são adicionalmente relevantes as variáveis PIBpc e fracção da força de trabalho empregue em serviços de alta tecnologia. Releva aqui notar as diferenças face a quantis anteriormente analisados: em concreto face ao quantil $\tau = 0,5$, são incluídas as variáveis investimento privado em I&D e emprego em serviços de alta tecnologia, que não relevavam nesse quantil. **Este facto constitui mais uma evidência indisputável, de um ponto de vista estatístico, da heterogeneidade tecnológica das regiões europeias: os factores que influenciam o desempenho em termos de inovação são de facto diferentes consoante o quantil da distribuição condicional em que a região se encontre. A análise quantitativa assente na regressão de quantis confirma assim a perspectiva evolucionista da importância da heterogeneidade.**
- Em segundo lugar, importa repor alguma justiça face ao modo como o investimento público em I&D tem sido tratado nesta análise. Recordemos que a variável *pube*, representando o peso das despesas públicas em I&D no total do PIB regional, não foi considerada significativa (mesmo a 10% de significância) para nenhum dos quantis condicionais com resultados de estimação aqui

insuperável: a função quantil condicional com τ mais elevado que podemos estimar corresponde à reportada na tabela 2.7.

reportados. Contudo, resultados não reportados por considerações de espaço e interesse, referentes ao quantil 75%, permitem-nos constatar que a variável seria estatisticamente significativa a um nível de significância de 10% (o *p-value* associado era de 6,9% conduzindo à rejeição da hipótese nula de ausência de significância individual). Existe assim um quantil da distribuição para o qual o investimento público seria relevante na capacidade regional de inovação, sendo de frisar que o sinal estimado associado é positivo. Pretende-se com esta observação atingir dois objectivos: em primeiro lugar, sendo efectivamente verdade que o investimento privado em I&D realizado por particulares é uma variável relevante em diversos quantis, o mesmo não sucedendo com o investimento público, parece existir um nível intermédio-avançado de desenvolvimento tecnológico em que o investimento público tem um papel a desempenhar⁴⁴.

- O que se disse no ponto anterior não invalida que os nossos resultados confirmem conclusões há muito cimentadas na Economia da Inovação e da Tecnologia, e aliás suportada pelos resultados de estimação: o investimento privado em I&D assume uma preponderância decisiva nos países na fronteira de inovação (Fagerberg, 1988), aqui representados pelo quantil 90%, não podendo

⁴⁴ Mais uma vez, queremos evitar aqui interpretações dos resultados em termos de etapas deterministas do desenvolvimento, e não podemos esquecer que estaríamos a generalizar para séries temporais conclusões baseadas numa amostra seccional. Contudo, novamente a título de metáfora, permitindo essa leitura temporal dos resultados, parece-nos coerente que o investimento público em I&D seja particularmente relevante na comparticipação de centros de investigação, centros tecnológicos e criação de agências de inovação. Isto é, em estádios intermédios – avançados do processo de desenvolvimento tecnológico de uma região, o investimento público poderá desempenhar uma função complementar ao investimento privado, criando as infra-estruturas necessárias: para que seja possível prestar apoio à inovação por parte das pequenas e médias empresas (PME), para que seja possível às PME subcontratarem partes do processo de inovação, para que sejam criadas plataformas de diálogo entre as empresas estimulando a partilha de conhecimentos e o trabalho em rede com outras empresas em matéria de inovação. O facto de o investimento público em I&D deixar de ser relevante no quantil de ordem 90% pode precisamente ter a ver com esse quantil supor que esses serviços públicos estão já disponíveis.

de forma alguma ser substituído pelo investimento público. O coeficiente estimado negativo para o investimento público neste quantil não deve contudo ser sobrevalorizado: há que ter presente a falta de relevância estatística da variável.

- Será sempre de salientar que a educação universitária permanece uma variável fundamental mesmo neste quantil. A presença de uma região num quantil muito elevado da distribuição condicional da capacidade para inovar depende da contínua presença na sua força de trabalho de uma fracção relevante de trabalhadores com os conhecimentos técnicos e científicos necessários ao desenvolvimento tanto de inovações radicais como de inovações incrementais. No mesmo sentido, a variável *htemanuf* é estatisticamente significativa nos quantis superiores porque não basta que essa força de trabalho exista mas é também necessário que esteja eficientemente alocada às tarefas mais exigentes: em indústrias de perfil tecnológico médio alto.

Como conclusão do estudo empírico deste capítulo importa ter uma percepção de que regiões estão nos decis superiores da distribuição não condicional do número de patentes, na esteira do que temos vindo a fazer. Encontramos aqui diversas regiões que esperaríamos encontrar: Île de France, Baden-Württemberg, Bayern, Rhône-Alpes, Hessen, Etelae-Suomi, etc. Deixam-se abaixo os traços fundamentais que, em nosso entender, permitem compreender que estas sejam regiões com grande capacidade inovadora:

- No que respeita ao sudoeste da Finlândia, o seu perfil de especialização industrial é muito diversificado. Contudo, de acordo com a IRE Network, as

indústrias de alta tecnologia têm registado um crescimento muito significativo, tornando-se responsáveis por a região ser um dos líderes mundiais no campo tecnológico. O núcleo do ambiente de inovação no Sudoeste da Finlândia é o Parque de Ciência de Turku. Destacam-se aqui as indústrias de informação e telecomunicações e as indústrias ligadas à Biotecnologia⁴⁵. Recordemos que Bell e Pavitt (1993) associaram particulares potencialidades de acumulação tecnológica e inovação aos sectores da informação e aos sectores baseados na ciência, onde se enquadram estas indústrias. Os principais centros do pujante *cluster* de biotecnologia finlandês estão localizados em Turku e Tampere. É unanimemente considerado que a base do sucesso do *cluster* biotecnológico está associado à forte ligação que existe entre empresas e universidades sendo o Parque Tecnológico de Turku um exemplo disso mesmo (Kuusi, 2001). A este respeito cabe salientar que a Finlândia ocupa o primeiro lugar do ranking europeu de países no que respeita às ligações entre empresas e universidades. Em concreto, mais de metade das empresas finlandesas de alta tecnologia têm acordos de colaboração com Universidades, o que contrasta claramente com uma média europeia de 12% (Eurostat, 2000). Allansdottir *et al.* (2002) advogam ainda que no coração do sucesso tecnológico da região de Etelae-Suomi está também a boa cooperação que existe entre empresas e agências

⁴⁵ Conforme veremos, a Biotecnologia estará presente em diversas das regiões mais inovadoras da Europa. Com esta afirmação fazemos uma constatação, não procurando qualquer determinismo ou recomendação de sectores a serem favorecidos. Contudo, a constatação deve ser feita, e as suas razões são facilmente determináveis: o sector da Biotecnologia está umbilicalmente ligado à investigação científica, não podendo mesmo sobreviver sem esta. Allansdottir *et al.* (2002) consideram que o segredo da conexão entre a Biotecnologia e algumas das regiões mais inovadoras da Europa passa por dois factores: o facto de ser um sector baseado na Ciência (e dada a rápida difusão do conhecimento científico através de publicações em jornais de referência na especialidade), e por ser um sector onde a inovação é fundamental. Assim, consideram os autores, as vantagens das primeiras entrantes no mercado (tipicamente firmas norte-americanas) puderam ser postas em causa mais facilmente por empresas europeias (diz-se mesmo que não chega a existir uma *first mover advantage* no sector).

públicas (o que parece constituir evidência em favor da interpretação que demos aos nossos resultados econométricos). Por fim, de acordo com a IRE, a especialização das universidades de Turku parece perfeitamente adequada à realidade empresarial: a Abo Akademi especializa-se em ciências ambientais, biociências, processos químicos, investigação de materiais, tecnologias de informação e tecnologias de tratamento de dados; a University of Turku especializa-se em áreas em tudo idênticas, destacando-se ao nível da investigação bioquímica do Mar Báltico; finalmente a Escola de Economia de Turku é o maior centro finlandês de troca de experiências empresariais. Considerando também a área em redor de Helsínquia como parte do sudoeste da Finlândia, surge-nos o segundo maior pólo da indústria biotecnológica no país. O Parque de Ciência de Helsínquia e o Biomedicum emergiram nesta área metropolitana em torno de grandes institutos de investigação, como a Universidade de Helsínquia, o Vikki Biocentre, o Instituto Nacional de Saúde Pública e a Universidade de Tecnologia de Helsínquia.

- O excelso desempenho da região de Hessen, na Alemanha, está também claramente ligado à emergência da biotecnologia como uma das mais representativas indústrias regionais. Têm, contudo, também relevo, designadamente na sub-região de Frankfurt - Rhine-Main, os sectores da construção automóvel, automação e a indústria de materiais. A região de Hessen destaca-se pela sua capacidade de não apenas gerar indústrias locais inovadoras nos domínios da biotecnologia, produtos químicos, farmacêuticos e cosméticos, mas também pela atractividade da região sobre capitais estrangeiros e empresas multinacionais para estas actividades (Janne, 2002). A região beneficia também

de um perfil de investigação universitária vocacionada para diversas vertentes da biotecnologia.

- As regiões de Baden-Württemberg e Bayern são duas peças fundamentais no processo de inovação a nível Europeu. São frequentemente descritas como dois centros de grande dinamismo inovador que beneficiam fortemente de vantagens ao nível da localização (Cooke e Morgan, 1994) e de excelentes infra-estruturas económicas e sociais (transportes, telecomunicações, nível educacional, etc.). A arquitectura institucional (pensando numa lógica de Sistemas de Inovação) parece adequadamente desenhada ao desenvolvimento tecnológico regional. A proximidade de Baden-Württemberg à França e à Suíça é também um factor a ter em conta na atractividade da região para o investimento estrangeiro e empresas multinacionais (Janne, 2002). Mas importa, sobretudo, destacar as dinâmicas de cooperação, em rede, entre pequenas e médias empresas (*Mittelstand*). Estes aspectos levam a que além dos sectores químico e farmacêutico, Baden-Württemberg tenha capacidade de atracção de investimento estrangeiro em áreas como a engenharia em geral, a electrónica e a mecânica.
- A performance da região de Rhône-Alpes não está associada a uma indústria dominante específica: o padrão de especialização da região é difuso, na medida em que não permite identificar qualquer indústria como dominando as demais. De acordo com a IRE, a região repousa a sua grande capacidade inovadora em diversos vectores:
 - a existência de 9 universidades, 21 escolas de Engenharia e mais de 600 centros de investigação, conjuntamente responsáveis pela criação de serviços para a difusão de tecnologias nas diversas indústrias;

- a existência de centros de transferência de tecnologia ligados às universidades, a existência de uma rede regional de difusão da tecnologia (Présence Rhône-Alpes) que conta com a participação de 130 organismos públicos e de todas as Câmaras de Comércio e Indústria da Região (dados da IRE Network), e a prestação de serviços de consultoria tecnológica directamente pelas escolas de engenharia às empresas;
- a disponibilidade de uma mão-de-obra altamente qualificada: a dados de 1993, 24440 trabalhadores estavam afectos à I&D regional.

No que se refere à região da Île de France, os factores que se conjugam para a produção de um dinamismo inovador, que é o mais destacado em França, não são dissimilares dos que caracterizam o sucesso da região de Rhône-Alpes. A especialização sectorial tem contudo maior importância na região da Île de France. Em ambos os casos, contudo, há uma grande articulação entre aspectos económicos, tecnológicos e institucionais. De facto, a caracterização dos factores inovadores da região de Rhône-Alpes que fizemos acima assenta, exclusivamente, em aspectos da matriz institucional (para usar a expressão de North (1994)), demonstrando bem a importância das instituições no desempenho tecnológico.

2.6. Conclusão

Neste capítulo, foi desenvolvida a aplicação de diversas técnicas compreendidas na chamada econometria do evolucionismo, com o intuito de caracterizar a heterogeneidade tecnológica e de dinâmica de inovação na Europa. O problema foi devidamente enquadrado em torno dos conceitos evolucionistas de heterogeneidade,

variedade, diversidade e assimetria. Houve a preocupação conceptual de articular estes conceitos com as técnicas sugeridas.

Os resultados das diversas metodologias convergiram na concordância quanto à existência de uma forte heterogeneidade entre as regiões europeias nas dimensões consideradas. O carácter bastante recente de algumas das metodologias usadas, e a sua ainda pequena expressividade em termos de aplicações económicas levou-nos a considerar necessárias algumas exposições metodológicas que seriam dispensáveis fossem mais rotineiras as técnicas empregues. Temos, contudo, a vantagem de poder advogar que as metodologias usadas representam o estado da arte nas matérias em causa.

As opções em termos de variáveis empregues foram justificadas com o adequado debate conceptual sobre as vantagens e inconvenientes inerentes a diversas medidas da inovação. O capítulo justifica assim a opção que foi tomada neste domínio, ainda que validamente assimile as limitações de qualquer indicador em geral, e do indicador empregue em particular.

O capítulo compreendeu ainda um extenso debate em torno de algumas regiões específicas, de acordo com o vector que nos interessava analisar: o da inovação, mensurada por patentes de alta tecnologia, a nível regional. Fez-se uso de quadros conceptuais apreendidos no capítulo anterior para uma correcta grelha de leitura das características económicas, tecnológicas e institucionais de regiões bastante diversificadas. As conclusões a que chegamos permitiram-nos a caracterização de algumas regularidades para os diferentes quantis da distribuição não condicional da variável de interesse. Dito de outra forma, apesar da heterogeneidade regional medida inter-quantis, as regiões em quantis similares tendem a apresentar algumas semelhanças

estruturais, sobretudo no quantil mais elevado. Não pretende isto dizer que existe um determinismo no processo de inovação que conduza, de uma forma quase neoclássica, à necessidade de convergência para algum arquétipo promotor da inovação. Pelo contrário: há ainda assim diferenças marcantes nas regiões do último decil. Contudo, elementos comuns, a pelo menos algumas dessas regiões, passam por padrões de especialização sectorial marcados por uma aposta nos sectores ligados à biotecnologia e às indústrias da informação e do conhecimento. Em termos institucionais, essas regiões mais inovadoras são atravessadas por uma matriz institucional completa, em que a complementaridade é visível nas funções das diversas instituições, ainda que o seu desenho específico difira de uns casos para outros. Parece-nos assim haver suporte, no nosso estudo, para a tese da relevância da complementaridade institucional. As ligações inter-empresariais, entre universidades e empresas, e entre empresas e agências públicas, parecem fazer do *networking* um traço comum na capacidade de inovar em alta tecnologia.