

**CRESCIMENTO ECONÓMICO
E
SUSTENTABILIDADE**

JOSÉ MANUEL MADEIRA BELBUTE

*DISSERTAÇÃO
APRESENTADA NA UNIVERSIDADE DE ÉVORA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ECONOMIA*

Évora, Julho 1996

CRESCIMENTO ECONÓMICO E SUSTENTABILIDADE

por

José Manuel Madeira Belbute

Dissertação

Orientada pelo Prof. Doutor João M. Ferreira do Amaral

e

*Apresentada na Universidade de Évora
para obtenção do Grau de Doutor em Economia*



80 199

Évora, Julho 1996

À Mané,
ao Pedro e ao Diogo

O meu olhar é nítido como um girassol.

Tenho o costume de andar pelas estradas
Olhando para a direita e para a esquerda,
E de vez em quando olhando para trás...

E o que vejo a cada momento
É aquilo que nunca antes eu tinha visto,

E eu sei dar por isso muito bem...

Sei ter o pasmo essencial
Que tem uma criança se, ao nascer,
Reparasse que nascera deveras...

Sinto-me nascido a cada momento
Para a eterna Novidade do Mundo...

*in POEMAS de Alberto Caeiro,
Obra completas de Fernando Pessoa,
Edições Ática, 1987*

Agradecimentos

A presente dissertação nasceu de uma conversa, já lá vão 3 anos e meio, como o Prof. Doutor João Ferreira do Amaral, meu orientador. Pensávamos então num tema que aproveitando o trabalho desenvolvido na dissertação de mestrado, pudesse ser objecto de tratamento e aprofundamento numa tese de doutoramento.

As questões fascinantes suscitadas pela Taxa de Desconto e a sua relação com o crescimento económico e os dilemas intergeracionais, ganham especial acuidade quando são trazidas para o debate as problemáticas associadas ao ambiente e aos recursos naturais. É certo que já nas reuniões que efectuámos na fase de elaboração da tese de mestrado, esta ligação tinha sido por nós, objecto de algumas reflexões. Mas agora surgia muito mais credível, e sobretudo, apelativa e interessante. Por isso, o meu primeiro agradecimento ao Prof. Doutor João Ferreira do Amaral.

Mas para além do impulso inicial, sou ainda credor de outra dívida de gratidão para com o meu orientador. Durante esta verdadeira peregrinação que constituiu a dissertação, pude contar sempre com a sua disponibilidade e estímulo constante, sobretudo nos momentos de maiores dúvidas, incertezas e algum desânimo. Conteí sempre com a sua visão crítica que me ajudou a melhorar e aperfeiçoar caminhos, incutiu-me a confiança necessária para me aventurar num domínio que, em boa verdade, ainda não é totalmente aceite pela generalidade dos economistas. Comigo aceitou correr o risco inerente a quem, como eu, não possuía nenhuma formação básica relevante na área das ciências naturais.

Do mesmo modo, estou grato ao Prof. Doutor Paulo Brito não apenas pelas preciosas indicações bibliográficas que me forneceu acerca desse fascinante e promissor mundo da Dinâmica de Sistemas, como ainda pelo tempo que acedeu despende comigo e que permitiu a troca de algumas ideias sobre este tema.

Gostaria ainda de agradecer ao Prof. David Pearce, Edward Barbier, Frank Convery, e J. van den Bergh a disponibilidade que revelaram em me receber nas suas universidades e nos seus centros de investigação e o incentivo que me deram numa fase inicial de grandes dúvidas.

Com eles cimentei a certeza de que a economia deve procurar alargar as suas fronteiras de análise de modo poder desempenhar a sua tarefa de contribuir para o Bem-Estar da humanidade. Toda a actividade humana, económico e socio-cultural tem lugar num contexto de certo tipo de relações com o meio biofísico ou, dito de outro modo, num contexto de um certo tipo de relações entre a humanidade e o resto da natureza. A evolução envolve necessariamente transformações nessa relação e a ciência económica não pode ficar indiferente a esta realidade.

O segundo nível de agradecimentos dirige-se aos responsáveis do Departamento de Economia e da Área Departamental de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade de Évora. Ao prof. Doutor António Pinheiro, na qualidade de Presidente do Conselho Científico da Área Departamental de Ciências Económicas e Empresariais e na sua qualidade de Presidente do Conselho de Departamento e ao Prof. Doutor Carlos Zurrinho, agradeço a compreensão que demonstraram proporcionando as condições financeiras e de trabalho que permitiram a realização de deslocações às conferências anuais da Associação Europeia de Economistas do Ambiente e dos Recursos Naturais, aos centros de estudos e investigação e a universidades europeias onde se produz o que de essencial se faz hoje na área das interacções entre a economia e o ambiente.

Para um assistente de uma universidade pública, sem bolsa de estudo e desenvolvendo um trabalho numa área onde não proliferam especialistas em Portugal, revelava-se de enorme e crucial importância poder estabelecer contactos com especialistas europeus, alguns dos quais a que já fizemos referência. Foi apenas devido ao apoio financeiro proporcionada pelo Departamento de Economia, na pessoa do seu presidente, que pude realizar as deslocações a esses centros de investigação e universidades assim como às conferências da European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE).

Gostaria ainda de estender os meus agradecimentos aos meus colegas de departamento, sobretudo àqueles que, devido à minha condição de "dispensado de serviço docente", foram, eventualmente, sobrecarregados na atribuição de serviço docente.

Finalmente , mas de todo, não menos importante, da minha família directa recebi a paciência, o carinho e o amor que me ajudaram a percorrer este trajecto da forma mais natural e humanizada que é possível. Ao Pedro e ao Diogo, na essência do seu ser, de crianças e de filhos, materializada nas suas constantes, inocentes e naturais solicitações, devo muitos "regressos à terra" e o ter sido capaz de ultrapassar alguns momentos de desânimo e angústia.

À Mané, minha mulher e companheira de caminhada, devo a paciência, o estímulo, o carinho e o amor que sempre me concedeu. Uns e outros "sofreram" com a minha concentração e, sobretudo, com as minhas ausências mentais. Neste sentido, eles são co-autores desta dissertação. Ela também lhes pertence.

Índice

Agradecimentos	II
0 - Motivação e Propósitos	1
I - As Interações entre a Economia e o Ambiente	6
I.1 - O Ambiente e a Fundação das Ideias Económicas	7
I.2 - A gestão dos Recursos Naturais	14
I.3 - Economia e Ambiente	20
I.4 - Uma Visão Integrada das relações entre a Economia e o Ambiente: As Três Funções Natureza	26
I.4.1 - A Função Fornecimento de Recursos	39
I.4.1.1 - O fenómeno Inevitável da Emissão de Desperdícios	48
I.4.2 - A Função Assimilação	53
I.4.3 - A Função Fornecimento de Bem-Estar	60
II - Desenvolvimento Sustentável	69
II.1 - Conceitos Básicos	69
II.2 - Equidade Intergeracional	72
II.3 - As Possibilidades de Substituição e as Condições para a sustentabilidade	76
III - Crescimento Sustentável: Uma Visão Introdutória	83
III.1 - Introdução	83
III.2 - Acumulação de Capital natural com Ausência de Efeito Bem-Estar	84

III.2.1 - Crescimento Económico Com Função Perturbação Linear	96
III.2.1.1 - Estabilidade Estrutural	100
III.2.2 - Crescimento Económico Com Função Perturbação Convexo-Concava	106
III.2.2.1 - Estabilidade Estrutural	114
III.3 - Acumulação de Capital Natural num Contexto em que os Activos Ambientais são Fonte Directa de Bem-Estar	120
III.3.1 - A Regra de Ouro do Crescimento Sustentável	122
III.3.2 - Crescimento Económico Sustentável: A visão Utilitarista	128
III.2.2.1 - Estabilidade Estrutural	138
III.4 - Conclusão	143
IV - Crescimento Sustentável com Efeito Bem-estar e Efeito Produtividade	148
IV.1 - Introdução	148
IV.2 - Estrutura Básica do Modelo	151
IV.3 - Existência de Um Estado Estacionário	167
IV.4 - Estabilidade Estrutural	179
IV.4.1 - O Caso Particular de $\delta = 0$	189
IV.5 - Conclusão	191
V - Conclusões Comentários Finais e Perspectivas de Desenvolvimentos Futuros	195
Anexo - Algumas Definições de Desenvolvimento Sustentável	204
Bibliografia	210

Capítulo 0

MOTIVAÇÃO E PROPÓSITOS

Quando iniciei esta viagem ao mundo das interações entre a economia e o ambiente, estava longe de encontrar um corpo científico com a dimensão e importância que vim a encontrar. De resto a minha primeira reacção ao ouvir o termo "Economia do Ambiente" foi, confesso, de alguma estranheza e certa desconfiança.

Depressa compreendi que os meus "preconceitos" eram infundados e, artigo após artigo, livro após livro, fui descobrindo e tomando consciência do tema, da sua importância e actualidade. Cada artigo ou capítulo era lido com um misto de avidez e de espanto. As bibliografias, uma enorme fonte de esperança.

Toda a actividade humana e sociocultural tem lugar num contexto de certo tipo de relações entre o homem, a sociedade e o resto da natureza. Desenvolvimento implica necessariamente transformação dessa relação e à medida que as sociedades evoluem, assim se alteram as relações que mantêm com a natureza. Por vezes as transformações são benéficas para ambos os sistemas e "ecologicamente sustentáveis". Outras, porém o modo como as sociedades procuram tirar partido das dotações ambientais para melhorar as suas hipóteses de sobrevivência ou a sua qualidade de vida, provocam danos irreparáveis nos ecossistemas de que dependem, hipotecando desse modo as suas possibilidades futuras de sobrevivência e Bem-Estar.

Curiosamente Economia e Ecologia têm a mesma raiz grega "oikos" que significa "casa". A primeira (oikosnomia) preocupa-se com o governo (ou gestão) da casa humana (individual ou colectivamente considerada) enquanto que a segunda (oikoslogos) elege a natureza como a casa sobre a qual incidem as suas preocupações centrais de estudo.

Muitos autores (por exemplo, Colby, Norgaard, Daly, para citar apenas alguns) vêm neste facto mais do que uma simples coincidência. Afinal de contas a "casa" de que é suposto ambas se encarregarem é uma só. O que distingue cada um destes ramos do saber é a perspectiva com que olham para os fenómenos que nela ocorrem.

A verdade, porém, é que ambas as disciplinas têm um universo conceptual, metodológico e objectos de estudo diferentes e específicos, com fronteiras perfeitamente definidas e, por isso, têm vivido isoladas uma da outra. Centrando no homem as suas preocupações, a economia tem tendência para ignorar o papel dos sistemas não humanos na realização do potencial produtivo, cultural, científico, etc, das sociedades humanas. Por outro lado, a ecologia ignora frequentemente a presença do homem, o seu desempenho e importância nos sistemas naturais. Esta "sobre-concentração" de ambos os ramos científicos nos seus objectos de estudo próprios e as rigidez das suas fronteiras tem sido responsável por análises parciais e incompletas que negligenciam aspectos vitais dos fenómenos em estudo. Por isso, muitas respostas e soluções que apresentam são apenas parciais e muitas vezes contraditórias e mutuamente prejudiciais.

A sustentabilidade requer uma visão mais ampla, compreensiva e integrada dos fenómenos em presença quer por parte da economia quer por parte da ecologia. Não é nosso propósito questionarmos a importância de ambos os ramos do saber nem tampouco sugerir a preponderância de um sobre o outro. Interessa-nos apenas realçar o facto de que a sustentabilidade apenas poderá ser analisada pela economia, nos termos em que é hoje entendida, se esta incorporar nas análises que faz sobre a problemática do desenvolvimento e do crescimento económico, elementos e ensinamentos com origem na ecologia.

São já muitos os trabalhos de economistas que adoptam esta linha de análise (muito embora a maioria deles ainda em fase de pré-publicação e apresentados em seminários e conferências especializadas) e que podemos agrupar em torno de dois grandes ramos científicos já com alguma autonomia dentro da ciência económica.

De um lado, a Economia dos Recursos Naturais cuja preocupação central consiste na determinação das condições que garantem o uso intertemporalmente óptimo dos tradicionais recursos naturais, renováveis e não-renováveis, e que incorporam cada vez com mais frequência preocupações de sustentabilidade ecológica a par dos cuidados usuais relativamente à eficiência económica.

Por outro lado, sob a designação de Economia do Ambiente, surgem trabalhos fundamentalmente orientados quer para a análise e proposta de implementação de instrumentos (de mercado ou não) de

regulação dos fenómenos de poluição no sentido mais amplo do termo- sendo, por isso, muitas vezes identificada como Economia da Poluição- quer para o estabelecimento de metodologias que permitam determinar o valor económico de activos ambientais que, sendo avaliados subjectivamente pelas sua qualidade e atributos próprios, não têm um mercado no qual seja possível atribuir-lhes (ou deduzir-lhes) um "preço". Menos frequentes mas nem por isso menos importantes, surgem trabalhos com objectivos centrados na análise da influência que a problemática ambiental, nomeadamente a questão da sustentabilidade, exerce sobre a viabilidade e o padrão de crescimento económico.

A presente dissertação enquadra-se nesta última linha de análise mas de um modo que não é frequentemente usada. A maioria dos trabalhos que reflectem sobre a influência das questões ambientais no crescimento económico, fá-lo num contexto em que a poluição surge como o elemento restritivo. Face às leis da termodinâmica, a poluição é um fenómeno omnipresente e o problema fundamental em estudo consiste na análise dos efeitos provocadas pela inevitabilidade da presença e consequente acumulação da poluição sobre o crescimento económico.

A perspectiva adoptada nesta dissertação é diferente. A poluição (ou a perturbação, como lhe chamaremos ao longo de todo o trabalho) surge no nosso esquema como um fenómeno também sempre presente, mas directamente ligada à produção ou ao consumo. Em certo sentido e contrariamente ao que sucede nos trabalhos que referimos, ela será parcialmente determinada endogenamente.

O nosso objectivo não consiste em estudar o crescimento de uma economia que é permanentemente afectada pelos efeitos negativos da poluição sobre o bem estar e sobre a produtividade, ou de uma economia dependente de um recurso não-renovável, mesmo que a esse recurso ou ao local onde ele se encontra, seja possível atribuir um valor intrínseco que afecte o Bem-Estar⁽¹⁾. O nosso objectivo consiste em estudar as consequências sobre o crescimento económico quando ao *stock de activos ambientais* (não ao stock de poluição) são reconhecidos atributos próprios capazes de os transformar em elementos determinantes quer na avaliação social que, em cada momento, a sociedade faz sobre o desempenho económico quer na produtividade de uma economia.

As três funções do stock de activos ambientais com valia económica (Efeito Bem-Estar, Efeito Produtividade e Capacidade para Assimilar os desperdícios e resíduos gerados pelo sistema económico) serão explicitamente endogenizadas na estrutura analítica típica aos modelos de crescimento económico tradicionais no objectivo de modelizar uma permanente interacção entre os dois sistemas e, simultaneamente, assegurar a verificação de critérios de sustentabilidade (económica e ecológica). É

(1) Neste caso, o objectivo consistiria na determinação da taxa óptima segundo a qual o recurso em depósito deveria ser extraído. A variável relevante seria o FLUXO de recursos extraído, não o STOCK, como no nosso caso.

essa interdependência entre os dois sistemas e as consequências sobre o desempenho a longo prazo da economia que será o objecto central do nosso estudo.

O capítulo I faz não só uma resenha da evolução do pensamento económico sobre as relações entre a economia e o ambiente mas tem ainda a função de apontar e formalizar as três funções com relevância económica dos activos ambientais. Procuramos, deste modo, propor uma visão integrada das relações entre a economia e o ambiente, mas tendo a consciência da enorme simplificação que representa esse exercício. A integração do ambiente nas relações funcionais usadas pela economia, é uma tarefa difícil não apenas devido à complexidade dos sistemas naturais como ainda devido à multifuncionalidade característica dos activos ambientais (quer no tempo quer no espaço). Todavia, é justamente essa complexidade que justifica o elevado grau de agregação com que se irá trabalhar, única forma de tomar a modelização mais singela.

Sobretudo depois da publicação de "O Nosso Futuro Comum" (relatório Brundtland - WCED 1987) a noção de Desenvolvimento Sustentável entrou decisivamente no vocabulário e na agenda quer daqueles que têm a responsabilidade de tomar decisões quer de todos quantos, pela reflexão e/ou investigação, dedicam parte substancial do seu tempo e esforço à análise das problemáticas do desenvolvimento, do crescimento e da conservação ambiental.

O "Relatório Brundtland" culmina um trabalho de cerca de dois anos e meio levado a cabo pela World Commission on Environment and Development (WCED) sob a presidência da Primeira-Ministra Norueguesa Gro H. Brundtland e faz, pela primeira vez, a ligação entre a economia e o ambiente⁽¹⁾ que será determinante nas abordagens que, a partir de então, se farão à problemática da sustentabilidade.

O princípio adoptado consiste no reconhecimento explícito que economia e ambiente interagem reciprocamente entre si de forma tão intensa e determinante que ignorar uma significa, muito provavelmente, pôr em perigo a outra. Esta relação simétrica entre ambos é fundamental para o conceito de sustentabilidade e a chave para a sua compreensão.

(1) Todavia, a ideia de sustentação ecológica do desenvolvimento já havia sido exposta na conferência "World Conservation Strategy" (WCS) promovida pela International Union for the Conservation of Nature (IUCN), World Wildlife Fund (actual Worldwide Fund for Nature (WFN)) e o United Nations Environmental Programme (UNEP) em 1980. Esta primeira abordagem do tema revelou-se essencialmente "ecocêntrica" na medida em que negligenciava totalmente a contribuição das ciências sociais, particularmente daquelas que têm algo a ver com a conservação ambiental e, em especial, da economia. Reflectindo o pensamento dominante da época, a WCS não fazia a integração entre a economia e o ambiente de modo que não era possível saber o que a noção de "conservação" significava para a política económica. Questões como "que PE poderia ou deveria ser aplicada em ordem a provocar melhorias ambientais" ou, simplesmente, "como deveria a PE ser conduzida de modo a dela não resultarem danos para o ambiente", ficavam sem resposta.

O capítulo II é assim dedicado a esta problemática da sustentabilidade, sobretudo no que diz respeito ao seu significado para a economia. Pretendemos evitar, deliberadamente, as enormes e nunca resolvidas questões (e discussões) em torno deste conceito. O nosso propósito consiste simplesmente em salientar as dimensões da sustentabilidade com relevância para a economia e para as quais esta dispõe de metodologias e conceitos perfeitamente adequados.

Finalmente, os capítulos III e IV desenvolvem dois modelos de crescimento económico que procuram incorporar as preocupações com a sustentabilidade por via da endogenização das três funções dos activos ambientais com relevância económica e com eles pretendemos analisar a viabilidade e o padrão de crescimento económico no contexto das interações entre economia e ambiente.

Uma palavra final para a metodologia usada nestes dois capítulos. A natureza dinâmica e interactiva dos fenómenos em presença, torna inevitável o uso de um campo teórico e operacional que tem tanto de excitante e utilidade prática quanto de complexidade. A maior parte da bibliografia existente sobre sistemas dinâmicos exige uma preparação em matemática "pura" muito sólida e, muitas vezes, não se encontram concebidos como textos de apoio e muito menos com as adaptações e aplicações práticas necessárias e adequadas para a área da economia. O uso que faremos dessa metodologia é, todavia, meramente instrumental o que significa que não exploraremos em nenhum modelo uma das suas áreas deveras estimulante: a pesquisa de atractores caóticos e de pontos de bifurcação, pontos para os quais qualquer perturbação num dos parâmetros que afectam o sistema dinâmico, tem como consequência a modificação radical da estrutura topológica associada (estabilidade característica) ao(s) estado(s) estacionário(s).

Capítulo I

AS INTERACÇÕES ENTRE A ECONOMIA E O AMBIENTE

O homem sempre interagiu com a natureza. Essa relação constitui, de resto, um dos tópicos que mais têm marcado o modo como a humanidade se pensa a si própria. Inevitavelmente, as interações entre o sistema económico e o sistema natural são tão antigas como a própria humanidade. As sociedades primitivas de caçadores-colectores alteraram, com as suas actividades "económicas", o ambiente em que viviam e provavelmente terá sido o tipo de agricultura junto do Nilo que terá estado na origem do processo de desertificação daquela região.

Remonta à época da fundação das ideias económicas o reconhecimento de que a actividade económica está intimamente relacionada com as condições naturais prevalecentes -nomeadamente no que diz respeito à dotação e disponibilidade de recursos naturais (renováveis e não-renováveis)- e que estas afectam decisivamente a capacidade de uma nação assegurar o seu progresso e riqueza.

Não é, por isso, de estranhar que tradicionalmente, a aproximação da economia à temática ambiental se tenha efectuado por via do fenómeno da escassez (absoluta ou relativa). Grande parte do debate sobre o crescimento económico e sobre a sua sustentação, encontra as suas origens nos tratados de economia política que marcaram uma página da história económica que ficaria conhecida como a época dos grandes clássicos. Adam Smith, Malthus, Ricardo, Stuart Mill, etc, são talvez as referências mais conhecidas e marcantes dessa época e para quem o processo de crescimento económico se encontrava limitado pela envolvente ambiental.

Esta ideia de "limite" ao crescimento económico imposto pela natureza acabará por ser mesmo central para o reconhecimento de que o sistema económico, contrariamente ao que é comum encontrar-se nos manuais, não é um sistema fechado que pode existir e funcionar sem o suporte do sistema natural. É mesmo uma impossibilidade física a economia funcionar sem que tenha de recorrer à natureza: nenhuma actividade de produção, consumo ou acumulação teria lugar sem que a natureza fosse chamada a fornecer o volume de matéria e energia necessários para o efeito.

Evidentemente que a percepção desta interdependência tem evoluído ao longo dos tempos e, em rigor, no início nem sequer de uma economia do ambiente se tratava. O nosso objectivo neste capítulo consiste em inventariar brevemente as principais contribuições para o que é hoje conhecido como uma área de especialização dentro da ciência económica: a Economia Ambiental repartida nos seus dois ramos mais significativos de Economia do Ambiente e a Economia dos Recursos Naturais.

É conveniente, contudo, esclarecer que não pretendemos efectuar um estudo analítico profundo dessas raízes nem tão pouco distinguir entre as diversas correntes que é hoje possível encontrar dentro desta área de estudo. De resto, o "campo" é ainda caracterizado por uma grande "anarquia" e os esforços de síntese e sistematização ainda não abundam. O capítulo tem ainda o objectivo de apresentar e formalizar a um nível de agregação bastante elevado o que consideramos serem as relações mais relevantes entre a economia e o ambiente. Isso será feito a partir das três funções com relevância económica atribuíveis ao stock de activos ambientais: função fornecimento de recursos, função assimilação dos desperdícios e fornecimento de Bem-Estar directo.

I.1 - O AMBIENTE E A FUNDAÇÃO DAS IDEIAS ECONÓMICAS

Remonta aos fisiocratas o primeiro reconhecimento do papel da natureza no processo produtivo. A agricultura e a extracção de recursos naturais são as únicas actividades e a única fonte de riqueza. Contudo, é com pensadores como Malthus, Ricardo e Mill que se consolida a ideia de que crescimento económico não ocorre em contexto livre. A natureza impõe limites à expansão económica que resultam, nuns casos, da circunstância do recurso relevante ser fisicamente finito e, noutros, de

evidenciar diferentes propriedades físicas. Adam Smith não considerou que este carácter finito da natureza (terra ou outro recurso natural) impusesse qualquer restrição ao enriquecimento da sociedade. Tal como para os fisiocratas, a generosidade da terra em fornecer facilmente bens agrícolas, era suficiente para suprir as necessidades alimentares. A estagnação económica, a ocorrer, ficaria mais a dever-se aos impactos sobre os padrões de distribuição de rendimento, dos termos de trocas, etc. causados pela excessiva dependência do sistema económico face à agricultura, do que ao reconhecimento da existência de qualquer limite físico, relativo ou absoluto da terra.

Malthus (1798) é o primeiro pensador clássico que aponta claramente a característica finita das dotações ambientais (terra), como razão para a estagnação e, eventualmente, a pobreza extrema. A agricultura, essencial para a sobrevivência humana, utiliza um recurso que existe em quantidades finitas na natureza e, o que será determinante em Ricardo, evidencia diferentes padrões de fertilidade.

Contudo, é a primeira característica daquele recurso o centro das suas análises que combina com a sua concepção naturalista da sociedade para ser levado a concluir que o nível de subsistência da própria humanidade se encontra limitada. Esta ideia de "território limitado" que condiciona e limita o crescimento de uma nação é fulcral em Malthus mas num sentido que raramente é invocado. Em si mesmo, um mundo fisicamente limitado não significa escassez económica. As propriedades físicas de um recurso são, de resto, um dado com o qual o homem, em geral e a economia em particular terão de aprender a lidar. O que torna um recurso economicamente limitado e escasso é a sua reduzida dimensão face ao volume de trabalho, de capital ou tecnologia necessários para que seja produtivo. A utilidade económica de um recurso natural depende de como, de quem e do que (n)dele se produz.

É precisamente este o contexto em que deve ser entendido o conceito de escassez absoluta atribuída a Malthus. Não é o carácter de "território limitado" que, por si só, é suficiente para explicar a estagnação e a miséria no pensamento de Malthus; mas o facto de no seu interior a população crescer a um ritmo elevado e superior ao que seria necessário para satisfazer as necessidades básicas de alimentação.

Existe contudo um outro elemento determinante e que ajuda a explicar o conteúdo do conceito de escassez absoluta. A terra possui propriedades não homogéneas que se traduzem por diferenças na sua fertilidade. A pressão populacional não desencadeia o alargamento da área de cultivo para terras marginais, como defenderá Ricardo⁽¹⁾. É antes a intensidade de utilização das terras mais férteis, estas

(1) A utilização da terra de fraca fertilidade é inaceitável para os seus proprietários a não ser que consigam obter o mesmo rendimento que teriam explorando as terras mais ricas. O aumento de custos que resultaria da sua utilização provocaria uma alteração na repartição do rendimento que favoreceria o trabalho. Por outro lado, o aumento do preço dos bens salariais face ao preço dos bens não-agrícolas, causaria neste último sector uma redução dos lucros e a consequente queda do processo de acumulação.

sim em quantidade limitada, que aumenta causando, por essa via, o aparecimento de rendimentos decrescentes na agricultura.

De novo, é o rápido crescimento populacional num contexto de dotação finita de um recurso essencial (terras férteis) que, conjuntamente com a importância do trabalho no processo produtivo, impede a sociedade de se tornar mais abastada a condena à estagnação e, em última instância, à miséria. A natureza tem assim uma capacidade finita para sustentar a humanidade e as suas actividades de produção, consumo e acumulação.

Ricardo (1817) é bem mais optimista muito embora partilhe das mesmas preocupações quanto ao crescimento da população e da dotação finita da terra. Contudo, a sua atenção é centrada não tanto no carácter finito e fixo da terra mas antes na *natureza limitada das suas capacidades produtivas*. É o diferencial de potencial económico da qualidade da terra que constitui o tema principal da análise que faz sobre a escassez dos recursos naturais e os seus efeitos sobre a distribuição do rendimento, o nível de preços, a afectação do recurso, enfim sobre o funcionamento e organização económicas.

A teoria da Renda é sobejamente conhecida para que lhe dediquemos uma atenção prolongada. O nosso propósito consiste apenas em realçar aqueles aspectos relevantes no âmbito da interface entre a economia e o ambiente. Nesse sentido, convirá recordar que, contrariamente a Malthus, defende que a pressão populacional obrigará ao alargamento da área de cultivo para terras de menor produtividade. O aparecimento de rendimentos decrescentes no sector agrícola é uma consequência da sucessiva utilização de terras de menor qualidade e não, como em Malthus, o resultado da intensificação da utilização das terras mais férteis.

Nos estágios em que a população fosse reduzida face ao volume de terra fértil disponível, a procura de bens alimentares tenderia a aumentar e a produção destes a realizar-se nos terrenos mais produtivos, ainda não escassos. A capacidade da mão-de-obra em gerar um excedente, incentivaria os donos de terras e os "capitalistas" a reinvestirem parte do excedente gerado na expansão da sua actividade e, com isso, a utilizar mais mão-de-obra.

Consequentemente, o sector produtor de bens salariais (sector agrícola) seria estimulado a aumentar a sua produção, criando assim condições para que um maior volume de população pudesse subsistir. Mas, uma vez que a terra mais produtiva se encontra em oferta limitada, o aumento da produção só poderá ocorrer se terras de mais fraca produtividade começarem a ser afectadas ao processo produtivo. O alargamento da área de cultivo às terras marginais é, porém, acompanhado por aumentos nos custos unitários de produção uma vez que estas novas terras exigirão mais mão-de-obra e artefactos para

conseguirem produzir ao nível das terras mais fecundas -onde os custos serão, obviamente, mais reduzidos.

Uma vez que o bem salarial (milho) é homogéneo, o seu preço de mercado segue a evolução dos custos unitários de produção registados nas terras marginais, dando assim origem ao aparecimento da Renda (Ricardiana), um prémio pela posse e uso de terras de elevada qualidade. Enquanto for possível registar lucros nas terras de fraca qualidade, haverá tendência para a expansão da área de cultivo e, com ela, da Renda. Logo que estas terras deixem de gerar lucros e estes sejam totalmente substituídos pela Renda, a expansão económica termina.

Em linguagem actual, o crescimento económico termina no momento em que o custo salarial iguala a produtividade marginal da terra. Nesse momento, apenas subsistirão os salários, para os trabalhadores e a Renda. Os lucros serão reduzidos a zero⁽¹⁾.

É neste sentido que o processo de crescimento económico é terminal e inevitável. A principal restrição à expansão advém do facto do principal input económico (a terra) ser heterogéneo em qualidade e, por esse motivo, evidenciar rendimentos decrescentes. A sua escassez está ligada não à circunstância de ser um recurso absolutamente finito mas às diferenças nas suas potencialidades produtivas, estas sim limitadas e finitas. É por causa destas características que os custos unitários de produção e, conseqüentemente, os preços tenderão a subir (efeito escassez).

Do ponto de vista da distribuição dos benefícios do crescimento, os "capitalistas" são os grandes perdedores já que os lucros são nulos. Os trabalhadores apenas beneficiam porque um maior número de entre eles pode aspirar agora a viver ao nível de subsistência. O seu nível de vida apenas melhorará se os salários reais subirem *exogenamente*. O processo de expansão económica caminha para um "estado estacionário" configurando, por seu turno, uma distribuição de rendimentos única, não harmoniosa, cujos principais beneficiários seriam os donos de terras, que se apropriam da renda.

(1) As modificações nos preços relativos tendem a reforçar esta tendência no sector industrial. Na verdade, e de forma breve, a queda da produtividade no sector agrícola fará subir os preços dos produtos agrícolas face aos não-agrícolas. O que acontece ao salário real depende então de *como são pagos os salários e de como é gasto esse salário*. Enquanto for pago e gasto em bens agrícolas, o salário real não se modifica. Mas se, como será de esperar, for pago em bens agrícolas e, pelo menos parcialmente, gasto em bens manufacturados, é natural que o salário real tenda a aumentar. No entanto, como as indústrias necessitam de constituir um fundo salarial para poderem continuar a sua produção no período seguinte e enquanto o bem salarial for um produto agrícola, a deteriorização dos preços exige que disponham de um maior volume de manufacturas para conseguirem o mesmo volume de bens salariais. Diminuindo os seus lucros, os capitalistas vêm diminuídas as suas capacidades de reinvestimento das suas poupanças uma vez que os seus lucros tenderão a diminuir até atingirem o valor nulo.

Contrariamente a Malthus,, os efeitos provocados pela escassez fazem-se sentir ainda antes de se atingirem os limites físicos da terra, justamente porque a produtividade começa a diminuir à medida que mais terra (de menor qualidade) é canalizada para a actividade produtiva. É neste sentido que o fenómeno da escassez Ricardiana é mais severo que o implícito em Malthus ^{10º sup} onde esse efeito surge antes de *TODA* a terra estar utilizada.

Logo que o pequeno volume de terra fértil for plenamente usada, a escassez física (com origem em produtividades menores) transforma-se em escassez económica (o volume de recurso é reduzido face ao trabalho e capital necessários para a sua utilização) e produz efeitos económicos (subida dos custos unitários de produção e subsequente subida nos preços de mercado) alterando a estrutura de repartição dos benefícios do crescimento e, em última instância, provocando estagnação.

É neste sentido que a escassez em Ricardo é encarada como um fenómeno sempre presente no sistema económico, uma espécie de força continua que não lhe permite nenhum período de graça. Em Malthus, havia a possibilidade de se evitar a pobreza com acções de controle da população. Era como se o "tempo" necessário para atingir o limite físico imposto pela natureza, pudesse ser "esticado" por via do controle populacional. Em Ricardo, não existe essa possibilidade. As características imutáveis e diferenciadas da terra colocam continuamente uma restrição ao crescimento da qual não é possível escapar. Mais importante e condicionador do que a natureza limitada e finita do planeta, é o volume limitado de terra altamente produtiva que se encontra na natureza.

Este determinismo do esquema Ricardiano é facilmente ultrapassado logo que nele se introduza o progresso técnico. John Stuart Mill (1806-1873) é talvez o primeiro autor clássico a compreender o alcance, influência e a capacidade que a melhoria das técnicas de produção, da organização do governo e das instituições, o conhecimento e a educação, etc, poderiam ter no afastar do *estado estacionário* para um período temporal mais longínquo. Para ele, o progresso técnico, muito embora mais susceptível de ocorrer nas actividade industriais e/ou mineiras, tem, porém, a faculdade de contrariar os efeitos resultantes da lei dos rendimentos decrescentes:

"There is, thus, no possible improvement in the arts of production which does not in one or another mode exercise an antagonistic influence to the law of diminishing return to agricultural labour. Nor is it only industrial improvements which have this effect. Improvements in governmental, and almost every kind of moral and social advancements, operate in the same manner [...] We may say the same of improvements in education. [...] all natural agents which are limited in quantity, are not only limited in their ultimate productive power, but long before that power is stretched to the utmost, they yield to any additional demands on progressively harder terms. This law may, however, be suspended, or temporarily controlled, by whatever adds to the

general power of mankind over nature; and especially by any extension of their knowledge, and their consequent command, of the properties and powers of natural agents"⁽¹⁾

Partilha, no entanto, com os autores clássicos a ideia da inevitabilidade do aparecimento do estado estacionário dada a tendência da população em crescer num mundo em que o principal input é limitado em quantidade e na sua produtividade. O crescimento exponencial da população preconizado por Malthus é, todavia, uma hipótese que coloca de lado. O estado estacionário é antes caracterizado por um nível constante de população à qual corresponde um nível também constante de actividade, instituições e artefactos económicos: fábricas, explorações agrícolas, máquina, habitações, etc. Dito de outro modo, o estado estacionário significa um nível constante de "capital humano" e "capital económico".

O segundo aspecto pelo qual Mill constitui uma referência no domínio da interface entre Economia e Ambiente, diz respeito à sua visão sobre a problemática da utilização dos recursos não-renováveis. Inevitavelmente, a exploração continua de minas é susceptível de originar o fenómeno da escassez, independentemente da pressão populacional. A lei dos rendimento decrescentes e os seus efeitos sobre a subida do preço de mercado também é aplicável ao sector mineiro não só por ser necessário *maior esforço de produção* (trabalho e capital) para extrair o mesmo volume de recurso à medida que os stocks mais ricos se aproximam do esgotamento, como ainda porque o seu total esgotamento obriga a que depósitos de minério de mais baixa qualidade sejam utilizados na produção.

Marshall avançará com uma explicação diferente para a subida os preços dos minérios em resultado do progressivo esgotamento das reservas. Para ele, o aumento dos custos não decorre exclusivamente da aproximação do esgotamento da mina mas pode ter como origem a intensificação na sua exploração. As minas podem ser *rapidamente* delapidadas do seu "fundo mineiro" se, logo no início da sua exploração, forem aplicadas quantidades de trabalho e capital por unidade de minério extraído superiores às necessárias numa exploração "normal". Isto significa, por isso, que os custos unitários de exploração podem ser elevados logo no início da exploração e não apenas à medida que se aproxima o esgotamento do recurso.

Por outro lado, o stock de recursos existente numa mina é uma fonte de riqueza não apenas actual mas também futura. A cada unidade de minério extraída e consumida no presente, corresponde uma perda do benefício que se obteria no futuro caso o seu proprietário optasse por não explorar a mina. Isto é: a

(1) MILL, J. S. (1929), pág. 186-88.

cada unidade de recurso retirado daquele "depósito mineiro" está associado um custo de oportunidade, uma renda própria do recurso ou uma Royalty, como ficaria conhecido, e que deverá influenciar o preço pelo qual ela será transaccionada no mercado.

Dito de outro modo, a Royalty representa uma diminuição do valor da mina enquanto fonte de riqueza futura e, por isso, deve ser adicionada ao custo unitário de exploração para gerar o seu preço de mercado. A decisão sobre que volume de recurso deve ser retirado hoje e que volume deve ser extraído no futuro depende assim da taxa à qual se processa a valorização do minério em stock. A taxa de extracção óptima é aquela que, em cada momento, permite obter um volume de minério de tal ordem que a diferença entre o custo unitário de exploração e o preço de mercado iguale o custo de oportunidade que lhe está associado. Acontece, porém, que à medida que a mina se aproxima da exaustão, maior tenderá a ser este custo de oportunidade o que, mesmo com custos unitários de exploração constantes, obrigará à subida do preço de mercado.

É sobre esta ligação entre a escassez (absoluta ou relativa) de um recurso (renovável ou esgotável, devida ou não à presença de rendimentos decrescentes), a subida dos custos unitários de produção e a sua repercussão ao preço de mercado que se edificará todo um corpo científico cujo objecto central consiste no estudo "*da forma como as sociedades utilizam os recursos escassos para produzir bens com valor e como os distribuem entre os seus membros*"⁽¹⁾. Dito de outro modo, o tema central da economia consiste na escolha da melhor afectação possível dos recursos (escassos e com usos alternativos) às necessidades humanas, estas sim, ilimitadas.

São os preços que, numa economia funcionando de acordo com as leis de mercado e sem distorções, tenderão a desencadear o processo de afectação dos recursos pelos diversos agentes económicos, aos seus diferentes usos alternativos e a informarem os mercados sobre a sua escassez relativa. À medida que o hiato entre a disponibilidade do recurso e a sua procura tender a aumentar, o recurso torna-se relativamente mais escasso e o mercado reage com a subida do seu preço. Um recurso não escasso pode ter preço nulo que a oferta será capaz de satisfazer integralmente a procura. Porém, para um recurso relativamente escasso, um preço nulo seria insuficiente para promover o equilíbrio entre a procura e a oferta.

Não há necessidade de o recurso revelar limites físicos determinados para que o efeito escassez se faça sentir. À medida que um recurso se torna relativamente escasso, o efeito que daí decorre sobre o nível dos preços relativos promoverá a sua reafectação a usos alternativos.

(1) Samuelson, P. A. & D. Nordhaus, (1993), pág. 5

É justamente com base nestes princípios que a teoria neoclássica pôde ignorar durante muito tempo a possibilidade da escassez de recursos poder colocar restrições ao crescimento económico. A sua atenção centrou-se, fundamentalmente, na capacidade que o mercado evidenciava em provocar a afectação eficiente dos recursos aos múltiplos usos a que poderiam ser afectados.

A longo prazo e sob condições de eficiência no funcionamento dos mercados, a escassez dos recursos nunca colocaria restrições ao crescimento económico. A subida de preço de um recurso significaria que ele se tornou relativamente mais escasso, constituindo um incentivo para se desencadear um processo de inovação tecnológica capaz de explorar os stocks "marginais" de modo mais eficiente ou a desenvolver substitutos. Evidentemente que alguns recursos são fisicamente limitados. Mas enquanto a sua escassez for reflectida nos mercados através dos mecanismos de ajustamento de preços, a dinâmica própria do sistema económico seria suficiente para aliviar automaticamente qualquer restrição de escassez. Serão as próprias forças de mercado ditarão a taxa óptima à qual o(s) recurso(s) será(ão) explorado(s).

I.2 - A GESTÃO DOS RECURSOS NATURAIS

A característica finita de certo tipo de recursos (não-renováveis) e a possibilidade de esgotamento de alguns recursos renováveis, conduziu todavia a economia a concentrar esforços em torno da problemática da escolha da taxa à qual eles devem ser explorados. Afinal de contas o processo económico de produção, consumo e acumulação está dependente da extracção de recursos da natureza e, no que diz respeito aos recursos não-renováveis, essa consciência terá estimulado economistas como Hotelling (1931) para o estudo do fenómeno da sua escassez e taxa de extracção óptima. Trata-se de uma análise fundamentalmente orientada para a gestão intertemporalmente óptima dos recursos com o objectivo de garantir o máximo rendimento possível ao longo do tempo.

Hotelling formaliza todo o raciocínio já avançado por Marshal e demonstra que sob condições de óptimo, a royalty própria do recurso (ou seja, o preço de mercado do recurso, líquido dos custos

unitários de extração) deveria evoluir no tempo a uma taxa igual à taxa de remuneração dos restantes activos económicos. Mesmo na eventualidade de custos unitários de extração permanecerem constantes e em resultado da evolução da renda, o preço de mercado tenderia a subir com a esperada consequência de redução progressiva nas quantidades procuradas. No final do processo, a procura cairia a zero, o preço seria máximo e o recurso estaria totalmente esgotado.

Evidentemente que num contexto em que os custos unitários de extração variam inversamente com "stock de recurso em depósito", este quadro altera-se substancialmente. A subida de custos pode-se revelar proibitiva à continuidade de exploração. Manter o recurso em stock representa uma poupança de custos, uma espécie de dividendo que impede a royalty de evoluir à taxa de remuneração dos restantes activos e o total esgotamento do "depósito" de recurso. A inexistência de substitutos e a elevação dos custos unitários de exploração à medida que as reservas diminuem, trará, em economias dependentes desse recurso, a estagnação mas não o total esgotamento do recurso.

O trabalho de Hotelling foi posteriormente aproveitado em numerosas análises, sobretudo no que diz respeito à caracterização da trajetória ótima de crescimento económico e sua compatibilização e dependência (de novo) da disponibilidade e utilização de recursos não renováveis (entenda-se, recursos energéticos).

Dasgupta & Heal (1974) são talvez as referências mais conhecidas e os primeiros autores a combinarem a abordagem utilitarista de Ramsey (1928) sobre o crescimento económico e a extração ótima de recursos não renováveis. O modelo que usam considera uma economia cujo bem estar depende da utilidade proveniente do consumo do único bem produzido por esta economia, $U[C(t)]$ e para cuja produção em cada momento $Y(t)$, é necessário não apenas o tradicional stock de capital, $K(t)$, mas também o fluxo $R(t)$ do recurso natural esgotável S . A sua análise demonstra que a taxa ótima de extração deste recurso e a taxa ótima de investimento da economia dependem a) do facto do recurso ser essencial para a produção do bem de consumo, b) da possibilidade do progresso técnico permitir o desenvolvimento de substitutos ao recurso de forma a torná-lo não-essencial, c) da incerteza associada à probabilidade de vir a ser encontrado novo recurso que substitua o recurso essencial e d) mais importante que tudo, da facilidade com que se procede à substituição entre o recurso esgotável e o stock de capital.

Enquanto o recurso for essencial à produção do bem final⁽¹⁾ a política ótima consiste em extrair o recurso a uma taxa dada pelo quociente entre a taxa de desconto e a elasticidade da produção

(1) No contexto deste trabalho, o recurso é essencial se a elasticidade de substituição entre K e R for ≤ 1 .

relativamente ao stock de capital K . O resultado final consiste no inevitável esgotamento do recurso a prazo e uma trajetória temporal para o consumo do bem final em forma de sino mas, apesar de tudo, ótima (trajetória AB da fig. 1).

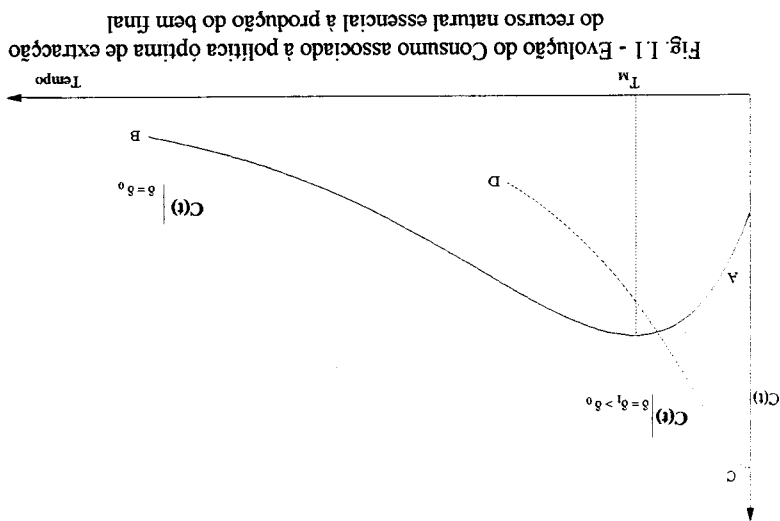


Fig. 1.1 - Evolução do Consumo associado à política ótima de extração do recurso natural essencial à produção do bem final

Para $t > T$, as gerações sucessivas vão crescer continuamente o seu bem estar mas as gerações posteriores a T ver-se-ão confrontadas com níveis de bem estar cada vez menores.

A taxa de desconto desempenha aqui um papel importante já que por via da influência que exerce sobre a taxa de extração, pode alterar o padrão de evolução do bem estar. Se a sociedade for relativamente impaciente face ao futuro, o recurso esgotar-se-á mais rapidamente e o padrão evolutivo do consumo pode ser mesmo exclusivamente decrescente, prefigurando deste modo uma contínua redução do bem estar (trajetória CD da fig. 1).

Quando o recurso não é essencial à produção (ou seja, quando a elasticidade de substituição entre R e K for superior à unidade) é possível um solução ótima mas sob condições restritivas (no caso, é necessário impor um limite superior para a utilidade proveniente do consumo e um limite inferior para a produtividade marginal do stock de capital que por seu turno deve ser inferior à taxa de desconto).

Em todo o caso, o modelo revela a inevitabilidade desta economia tender para a miséria, independentemente da facilidade (ou dificuldade) com que se processa a substituição entre R e K , mas

logo que em $t = t^*$ o progresso técnico consiga desenvolver um substituto ao recurso S que origine um fluxo constante, contínuo e ilimitado de recursos à economia⁽¹⁾, esta "salta" para uma nova trajectória óptima, consistente com o (e que a conduzirá ao) estado estacionário (C^*) de uma economia não dependente de um recurso esgotável (vide trajectória EF da fig. 2).

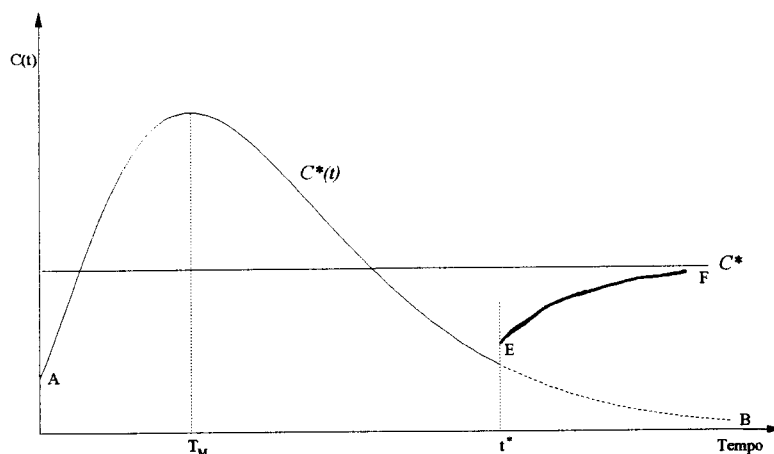


Fig. I.2 - Efeito resultante do aparecimento em $t = t^*$ de um substituto para S, "não essencial" à economia.

A importância deste trabalho é, em nosso entender, tripla. Em primeiro lugar ele coloca a questão do critério que, do ponto de vista social, deve ser usado de modo a tornar "justo" e "sensato" o uso de um stock de recurso não renovável e essencial à economia. À perspectiva *utilitarista* usada por estes autores pode ser contraposto o princípio de Rawls (1971) de Maximização do bem estar do grupo populacional mais desfavorecido.

É este o critério escolhido por Solow (1974b) para, usando uma modelização semelhante à dos autores anteriores, concluir sobre a possibilidade de uma sociedade com aqueles princípios, conseguir um nível constante de consumo (e, conseqüentemente, de bem estar), independentemente da inevitabilidade do esgotamento dos recursos.

A condição necessária para este resultado consiste em se exigir que a sociedade consiga acumular capital económico (K) à medida que o stock de recursos S se vai esgotando e o processo tecnológico

(1) O aparecimento de novas reservas do recurso essencial S, apenas teria o efeito protelar no tempo o aparecimento da miséria. O problema causado pela dependência do recurso esgotável permaneceria tal como no início.

seja de tal ordem que a elasticidade de substituição entre R e K seja "no less than unity"⁽¹⁾. Todavia, se o critério utilitarista não é "justo" para com as gerações futuras, este princípio do MaxMin não parece ser mais sensato. A dependência da solução obtida para o estado estacionário C^* , relativamente ao nível inicial de consumo $C(0)$ (e conseqüentemente, do nível inicial de stock de capital $K(0)$), afasta qualquer desenvolvimento que possa vir a reflectir-se no aumento do bem estar, mesmo que as gerações iniciais decidam consumir menos (e investir mais) de modo a proporcionarem maior Bem-Estar à gerações subsequentes.

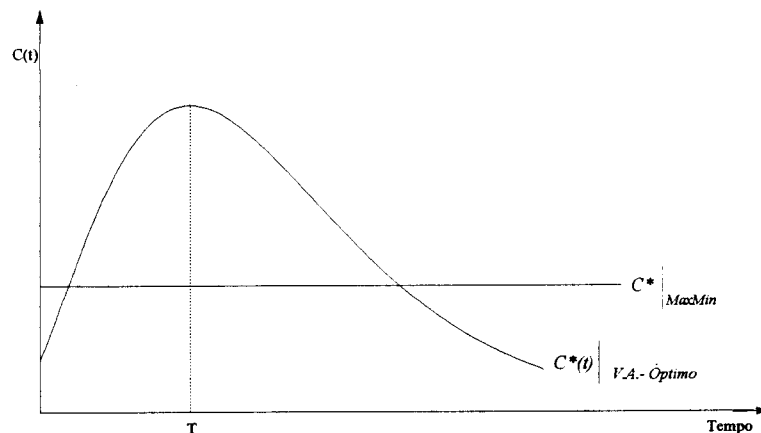


Fig. I.3 - Comparação entre soluções ótimas geradas pelo critério Utilitarista, $[C(t)* V.A - \text{Ótimo}]$ e pelo critério do MaxMin $[C^* - \text{MaxMin}]$.

O segundo aspecto levantado pela abordagem de D&H (1974), prende-se com a influência que o progresso técnico pode exercer no aliviar da restrição imposta pela escassez dos recursos. Stiglitz (1974). Kamien & Swartz (1978), Dasgupta & Heal (1979), Dasgupta & Stiglitz (1981) são alguns exemplos de trabalhos posteriores onde a temática do progresso técnico e a existência de um sector especialmente vocacionado para actividades de I&D são abordadas de modo a analisar as possibilidades de se relaxar qualquer restrição imposta pelos recursos naturais esgotáveis.

Finalmente o terceiro aspecto interessante nesta abordagem, refere-se à relação entre a determinação de um "caminho óptimo" para a economia e a conseqüente obtenção da taxa óptima de extracção do recurso e o conceito mais geral e determinante de *sustentabilidade*. Este será, aliás, um tema a desenvolver no capítulo II deste trabalho pelo que de momento apenas referiremos que, do ponto de

(1) Solow (1974), ob. cit., pág. 41.

vista económico, uma trajectória temporal para a utilidade intertemporal em forma de sino como aquela que resulta dos trabalhos que temos vindo a referir, é *não-sustentável* a longo prazo.

Antecipando um pouco, para a economia a sustentabilidade significa uma trajectória, pelo menos, não decrescente para o bem estar, seja ele traduzido pela tradicional utilidade dependente do consumo, de um vector de variáveis ou qualquer outro índice que se use para "medir" o bem estar da sociedade. Como vimos, não é isso que ocorre com os modelos que temos vindo a usar, ainda que em Solow o resultado indicia uma consistência com a definição anterior de sustentabilidade.

Mas o problema da escassez não se coloca apenas ao nível dos recursos não renováveis. A utilização que o processo produtivo faz dos recursos renováveis pode ser de tal ordem que o seu esgotamento pode ser uma possibilidade tão real quanto a que caracteriza os recursos não-renováveis. Porém, ao contrário destes, os recursos renováveis têm a capacidade de se autoregenerarem num período temporal relevante para a actividade económica do homem. A redução do stock de madeira numa floresta ou de peixes num cardume em virtude da actividade económica, pode ser reposta se se der o tempo necessário à natureza para que ela reponha ou mesmo aumente, os níveis de stocks anteriores.

Por isso, apesar de haver a possibilidade prática de esgotamento de um recurso renovável em particular, a verdade é que, dadas as suas possibilidades de autoregeneração, essa não é uma inevitabilidade. A questão central reside então na determinação das condições necessárias que tornam possível a sua utilização económica ao longo do tempo. *Em particular, a preocupação central consiste na obtenção de um "Estado Estacionário" caracterizado por, dada a taxa de desconto, uma taxa de extracção de recurso igual à taxa segundo a qual o recurso se regenera.*

Os primeiros trabalhos nesta área (Gordon - 1955, 1967 e Scott - 1955) e Scott (1955) têm como preocupação a análise dos efeitos que do ponto de vista social a gestão destes recursos (sobretudo recursos piscícolas) coloca em face da sua característica de serem "*common property*" cujo acesso é livre. Todavia, a clara influência que as taxas naturais de regeneração têm na determinação das condições óptimas de exploração, conduziu muitos economistas a incluírem nos modelos que construíam, "*funções de crescimento natural*" como forma de reflectir na solução óptima a dinâmica própria a este tipo de recursos. Schaefer (1954, 1957), na área dos recursos pesqueiros, Samuelson (1954, 1957) para as florestas aplicam esta metodologia de integração da economia e da biologia que será depois usada em numerosas aplicações⁽¹⁾ e que ficará conhecida como abordagem

(1) Vide, por exemplo, Cummings (1971), Burt (1964, 1967, 1970), nos estudos que realizaram sobre o volume de água no subsolo, Spencer (1973) nos estudos sobre a sub-exploração da Balcia Azul, e muitos outros.

Bioeconómica⁽¹⁾. O recurso será sujeito a um esforço de extracção proporcional e compatível com a sua capacidade natural de regeneração e dessa compatibilização resulta a determinação de um "estado de repouso" para o stock do recurso, um volume de stock que garanta um nível ótimo de "rendimento" sustentável.

I. 3 - ECONOMIA E AMBIENTE

Um dos contributos de Mill que passa muitas vezes despercebido, até porque, em rigor, não constitui, de facto, um importante tema na sua obra, refere-se à concepção de que a natureza para além de fornecer os bens necessários à subsistência, é ainda uma fonte directa de bem estar e prazer. É evidente que Mill não tem em mente a importância do papel que hoje se atribui à natureza neste aspecto em particular. A referência a esta função surge apenas de passagem na sua obra, sem nunca ser objecto de um tratamento analítico profundo. Todavia é inegável que é o primeiro autor a conceber a utilização da terra para outros fins que não os puramente produtivos. De resto, chega mesmo a sugerir a possibilidade da actividade económica poder ameaçar a capacidade da natureza em fornecer serviços essenciais ao bem estar. Ou seja, o uso económico da natureza pode originar efeito escassez, que nada tem a ver com o mesmo fenómeno causado pelas diferentes propriedades da terra ou das minas, mas que pode ter as mesmas consequências sobre o bem estar. É precisamente por esta razão que a constância dos stocks implícita na sua ideia de estado estacionário, é benéfica para o bem estar, uma vez que permite à sociedade dispor não apenas do tempo mas também do espaço para poder desfrutar das maravilhas da natureza.

Tal como Mill, Marshall atribui também à natureza a capacidade de desempenhar outras funções importantes para o homem que não somente as de lhe proporcionar os inputs necessários à produção, consumo e acumulação. Em particular, interessa-nos realçar aqui dois aspectos: em primeiro lugar a possibilidade da natureza ser fonte de serviços com efeitos directos sobre o bem estar (ar e água puros, beleza, serenidade, etc). Em segundo lugar, utiliza a sua argumentação acerca do papel das "economias de externas" na diminuição dos custos de produção para apontar a possibilidade dos

(1) Cujo principal representante é, sem dúvida, Clark (1976).

serviços fornecidos pela natureza poderem vir a afectar de forma positiva ou negativa as possibilidades produtivas da economia.

Já no Sec. XX, é Pigou (1932) quem primeiro lida com os efeitos derivados da poluição física sobre o bem estar. Na realização das suas actividades económicas, alguns agentes geram efeitos negativos com impactos sobre o bem estar de outros agentes. Essas externalidades, não são compensadas dado que ocorrem fora do mercado e, por isso, não são absorvidas pelo mecanismo regulador dos preços.

A presença de externalidades negativas causadas pela emissão de desperdícios, na medida em que afecta a saúde e o bem estar das populações, origina o aparecimento do que denomina Custos Sociais: ou seja, aos custos privados de produção e consumo incorridos pelas empresas e consumidores devem ser adicionados os custos externos enfrentados por aqueles que sofrem as consequências físicas da poluição mas que para ela não contribuíram. É esta diferença entre custos privados e custos sociais que deve ser anulada com a imposição de uma taxa ao agente causador da externalidade.

Em teoria, a taxa pigouviana óptima, deve ser estabelecida ao nível dos custos marginais associados à externalidade para que possa produzir uma situação em que o nível de poluição se reduza para o nível socialmente óptimo (suportável)⁽¹⁾ Deste modo, o agente causador do efeito externo é induzido a internalizar um custo para o qual contribuiu mas que, na ausência da taxa não suportaria.

Esta abordagem teórica ao problema das externalidades teve um imensa influencia nas aproximações que posteriormente alguns economistas efectuaram às questões ambientais (veja-se, por exemplo, Baumol & Oates, 1977/1988). Ela está mesmo na origem da autonomização da Economia do Ambiente enquanto corpo científico de análise especialmente dedicado ao desenho de políticas e instrumentos económicos de regulação ambiental, especialmente no que concerne aos fenómenos da poluição (Imposição de taxas, tarifas e preços, concessão de subsídios, imposição de padrões - quantitativos- de qualidade ambiental).

O apelo à intervenção governamental implícita nesta abordagem é fonte de enorme controvérsia e rejeitada mesmo pela corrente mais liberal que encontra em Coase (1960) o seu principal inspirador. Segundo o autor, a tradição Pigouviana de, perante um efeito nefasto causado pela actividade económica de um (vários) agente(s) a outro(s), se impor uma penalização pecuniária equivalente ao dano causado (a taxa), é incorrecta e muitas vezes não conduz aos resultados desejados. A reparação

(1) Devido às leis da termodinâmica, poluição zero é impossível de atingir.

de um dano (à vítima) não pode, segundo Coase, ser efectuada com a imposição de outro dano (ao causador).

A solução consiste em permitir que as partes envolvidas desencadeiem um processo de negociação que, se sustentado numa base de direitos de propriedade bem definidos, haverá de conduzir a um óptimo social para o nível de externalidades. Se, por via da lei, estiver estabelecido um sistema de direitos de propriedade claro, causador e vítima da poluição deverão estar livres de qualquer enquadramento regulador para, por via de negociações (*bargain* na terminologia anglosaxónica), encontrarem uma solução óptima, em que ambos beneficiem, independentemente de qual dos dois detém os direitos de propriedade; o importante é que estes estejam bem definidos.

A lógica de Coase revela, porém, alguns aspectos que apesar da elegância da argumentação, dificilmente encontram campo de aplicação no mundo real. De uma forma breve, em primeiro lugar, é difícil identificar com clareza todas as vítimas resultantes de um acto de poluição e, muitas vezes, é difícil determinar a própria fonte emissora. Quando uma fabrica emite poluentes pelas suas chaminés, ou pelo sistema de rejeição de águas residuais, as vítimas da poluição emitida podem ser os seus vizinhos mais próximos ou podem ficar a muitos Km de distância.

Por outro lado, os elementos poluidores podem ter uma "vida útil" muito longa de modo que pode acontecer que as vítimas ainda não tenham nascido no momento em que a emissão se efectua. Neste caso, com quem deve a fabrica negociar? Provavelmente com alguém em nome das futuras vítimas. Mas esta é uma das razões geralmente apontadas para justificar a intervenção governamental. Em segundo lugar, é difícil atribuir direitos de propriedade bem definidos a muitos activos ambientais. No exemplo anterior quem detém os direitos de propriedade sobre a atmosfera que respira ou sobre as águas de um rio?

O carácter público dos serviços e de alguns bens fornecidos pela natureza (ar, água, oceanos, rios, sistema de pastagens, florestas, paisagens, etc) a possibilidade de a elas aceder livremente (ou seja, os direitos de propriedade não estão atribuídos especialmente a alguém em particular) e a inexistência de um mercado específico para este tipo de bens e serviços, convida à sua utilização para além, da capacidade natural de suporte da natureza. (ou seja, a capacidade revelada pela natureza em absorver os desperdícios gerados pelo sistema económico sem que evidencie sinais de mudanças estruturais significativas).

É justamente esta característica de bem público da natureza conjugada com a pressão resultante do crescimento populacional que terá inspirado Hardin (1968) a escrever o seu famoso artigo "*the*

"*Tragedy of the Commons*" sobre as consequências sociais (negativas) acerca do uso dos recursos ambientais numa base de "*Common Property*"⁽¹⁾. Trata-se do ressurgimento vigoroso dos dilemas avançados pela tese de Malthus sobre o aparecimento da miséria e destruição em resultado do crescimento populacional num ambiente físico limitado e a que todos têm acesso. A própria poluição é uma das facetas desta tragédia cuja solução é, de novo, o controle dos nascimentos complementado por uma política de implementação de direitos de propriedade bem definidos.

Muito embora não tão dramática mas, apesar de tudo, pessimista, o também famoso "*Limits of Growth*" de Meadows et al. (1972) adopta uma posição crítica e procura demonstrar como o crescimento económico está limitado e mesmo ameaçado (de novo) pela impossibilidade da sociedade poder vir a dispor dos recursos necessários a longo prazo. Partilhando desta visão pessimista sobre as possibilidades de evolução do sistema económico num contexto de limitação de recursos, muitos autores adoptam, porém, uma perspectiva diferente mas que haverá de marcar decisivamente o modo como a economia encara a sua relação com a natureza.

Boulding (1966) representa uma peça fundamental nesse movimento ao defender a validade e influência das leis da termodinâmica sobre o processo económico de produção e consumo. A primeira lei lembra que a criação de desperdícios resultante daquelas actividades é uma inevitabilidade física. É certo que a natureza tem capacidade própria para absorver e assimilar esses desperdícios e que o sistema económico pode desenvolver actividades especialmente vocacionadas para a reciclagem e tratamento desses desperdícios, reduzindo desse modo a pressão sobre a capacidade de suporte do ambiente. Porém a segunda lei lembra que a reciclagem total nunca poderá ser alcançada. Daí que proponha a transição da lógica do que chama "*Cowboy Economy*" (isto é, a noção de um território ilimitado, um sistema aberto ao qual estão associados comportamentos livres no que toca à exploração e uso dos recursos ambientais⁽²⁾) para uma lógica de "*Spaceship Economy*"; isto é, numa lógica de sistema termodinamicamente fechado.

Nesta perspectiva, a economia é um sistema circular em continua interacção com a biosfera (a que chama, Econosfera) de tal modo que a sua sobrevivência conjunta, é apenas possível se, face às leis da termodinâmica, a abordagem aos problemas e os comportamentos relativamente ao uso dos recursos

(1) Neste trabalho, o termo é usado no sentido de que o acesso ao recurso ambiental é livre e a "tragédia" reside nesse facto. Muitos bens ambientais em regime de *Common Property* estão porém sujeitos a regras e normas sociais onde o co-proprietário tem direitos e deveres sobre o uso desse recurso e donde não resultam os problemas tipificados pelo artigo. Para uma análise mais cuidada sobre esta distinção entre *Common Property* e *Open access* assim como de outros regimes de propriedade dos activos ambientais, veja-se, por exemplo, D. Bromley (1989).

(2) O termo é usado propositadamente no seu sentido mais geral e amplo para incluir não apenas os tradicionais recursos naturais com utilidade económica directa sobre a produção, mas também todo o conjunto de "activos" ambientais como as montanhas, os rios, os mares, a atmosfera, etc.

passar de uma lógica de curto prazo para uma lógica de longo prazo consubstanciada em acções prudentes e de conservação sobre a natureza⁽¹⁾. Este trabalho marca uma viragem no modo como é encarada a relação entre a economia e o ambiente. A consideração explícita de uma interdependência entre estes dois sistemas, a importância e relevância das leis da termodinâmica no funcionamento da economia, dará origem à formalização dos princípios de Boulding nos "Modelos de Equilíbrio de Materiais" propostos e desenvolvidos por Ayres & Knesse (1969)⁽²⁾. Usando um modelo de Equilíbrio Geral, estes autores demonstram que a poluição não é apenas importante enquanto fenómeno de externalidades, resultante de falhas de mercado como usualmente é encarada, mas que a sua presença no sistema económico é inevitável, omnipresente mesmo e, por isso, alguma forma de intervenção governamental será necessária para controlar os seus níveis e a sua extensão.

Mas poucos terão sido os autores que terão ido tão longe na aceitação de existência de limites biofísicos ao crescimento económico impostos pela conjugação dos princípios de finidade, entropia e interdependência entre economia e ambiente como Daly (1974, 1989, 1992a, 1992b). O seu argumento consiste em considerar que o sistema económico é um sistema aberto, *fisicamente* dependente do sistema natural do qual é, de resto, um subsistema e cuja leis físicas (sobretudo as leis de termodinâmica) é necessário respeitar já que são elas que governam o funcionamento da natureza e, conseqüentemente, da relação com a economia. É o aumento da dimensão desta última relativamente ao sistema envolvente que explica muitos dos fenómenos de degradação ambiental prevalecte no mundo actual e que demonstra que a sociedade já ultrapassou a "linha de flutuação" para a escala da economia na sua relação com o sistema natural.

O "efeito de escala" sintetiza a ideia geral de que a economia atingir uma dimensão física de tal grandeza que a torna incompatível com os limites e equilíbrios termodinâmicos próprios do sistema natural. A assimetria (injusta para o ambiente) que caracteriza a relação entre economia e natureza - "importação" de materiais e energia de baixa entropia pela primeira e "exportação" de elementos com elevada entropia para a segunda- deve ser, o mais possível, minimizada. As leis físicas que governam o funcionamento da natureza impõem limites físicos ao desenvolvimento do sistema económico.

O "Estado-Estacionário" é, neste contexto, um conceito *físico* implicando que aquele fluxo contínuo de matéria e energia que atravessa o sistema económico (que se inicia na extracção de recursos naturais e termina na deposição dos desperdícios gerados) com origem e destino no sistema natural deve ser

(1) Georgesco-Roegen (1971, 1976) retoma este tema para analisar o significado económico da segunda lei da termodinâmica, sobretudo no efeito potencial que exerce sobre o aumento da entropia sobre o sistema económico.

(2) Veja-se também Knesse, Ayres & D'Arge (1970).

mantido sempre ao mesmo nível e abaixo da linha limite imposta pela natureza. Para usar as suas próprias palavras, a economia do estado estacionário pode ser definida como

"an economy with constant stocks of people and artifacts, maintained at some desired, sufficient levels by low rates of maintenance "throughput", that is, by lowest feasible flows of matter and energy from the first stage of production (depletion of low-entropy materials from the environment) to the last stage of consumption (pollution of the environment with high-entropy wastes and toxic materials" (1)

A restrição ao crescimento da economia diz respeito apenas ao fluxo de matéria e energia que atravessa o sistema económico. É aceitável um aumento dos stock físicos desde que o progresso tecnológico consiga manter aquele fluxo intacto. A regra geral aponta, todavia, para um crescimento zero da economia e da população de modo a garantir um crescimento também nulo da escala da economia.

Muitas destas ideias e conceitos necessitam ainda de ser operacionalizadas. No entanto é clara a alteração no modo como a economia tem, sobretudo nos anos mais recentes, encarado a sua relação com o ambiente. Em nosso entender, essa modificação pode ser detectada em dois grandes vectores. Em primeiro lugar na própria percepção de que o sistema económico e o sistema natural interagem reciprocamente. Os efeitos ambientais resultantes da actividade económica antes encarados como excepções, pequenos erros e ocasionais (externalidades) começam a ser entendidos como fenómenos inevitáveis em face das leis da termodinâmica. É certo que a economia é uma ciência de comportamentos e, nesse sentido, os fenómenos físicos e químicos inerentes ao processo de produção e consumo não são, em si mesmo, centrais no seu objecto de estudo. Mas isso não significa que o sistema económico não seja responsável pela transformação e processamento de enormes volumes de matéria e energia com origem e destino no ambiente. A economia tem uma importante dimensão física que não pode ser ignorada sob pena de vir ela própria a sofrer as consequências dos estragos que ocasiona.

Em segundo lugar, e relacionado com o aspecto anterior, a economia tem vindo a abordar os temas ambientais de um modo mais compreensivo, amplo e integrado, evidenciando uma clara consciência sobre o tipo de relações entre a actividade económica, a natureza, o comportamento humano e o desenvolvimento. Aos poucos os modelos usados começam a incluir elementos próprios de outros ramos do saber, num processo claro de alargamento de fronteiras, útil também para essas disciplinas. Paralelamente a esta percepção sobre a necessidade de análises interdisciplinares é evidente ainda a

(1) Daly, H., (1992-a), pág. 17

preocupação passar de abordagens estáticas dos fenómenos (sobretudo, estática comparada) para desenvolver e aplicar metodologias adequadas à natureza dinâmica de muitos fenómenos em estudo.

I. 4 - UMA VISÃO INTEGRADA SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE A ECONOMIA E O AMBIENTE: AS TRÊS FUNÇÕES ECONÓMICAS DA NATUREZA

A tradição neoclássica representa o sistema económico -aqui entendido como o conjunto de instituições criadas pelo homem com o objectivo de procurar resolver e facilitar a afectação dos recursos às múltiplas necessidades e aspirações humanas- como um diagrama circular, um movimento pendular de fluxos entre a produção e o consumo. A dependência daquelas actividades face aos recursos naturais e as consequências que sobre eles a produção e o consumo poderiam causar não constituem um tema central.

Os princípios de substituição, reversibilidade e mecanismo de ajustamento via preços, encarregar-se-ão de libertar a teoria económica de se envolver num tema que, em certo sentido, lhe é estranho. Logo que numa região os recursos se tornem escassos ou que a capacidade de absorção da natureza esteja saturada, a sociedade pode deslocar-se para outro ponto inexplorado da "fronteira" ou criar uma nova baseada em novos recurso ou novas tecnologias⁽¹⁾. A natureza é uma fonte ilimitada de bens e serviços destinados a servir as necessidades humanas na sua busca de Bem-Estar, sem custos e sem qualquer valor marginal. Os recursos naturais e os serviços ecológicos são entendidos como bens livres e basicamente esquecidos pelo pensamento económico. Tudo se passa num contexto em que a procura de bens e serviços ambientais, inevitavelmente protagonizada pelo sistema económico, se confronta com uma capacidade "infinita" para os oferecer. O problema da "escala" de que fala Daly (1992-a), não tem lugar nesta lógica. O ambiente é "infinito" na sua extensão, generoso nas suas "ofertas" e a economia está livre para se preocupar com a afectação dos recursos considerados (absoluta ou relativamente) escassos e com mercado para que os preços garantam a informação necessária sobre a sua escassez. O

(1) O termo "Fronteira" é aqui usado no sentido que Boulding (1966) o usa no contexto da Cowboy Economy.

"ambiente" é irrelevante para o sistema económico que é percebido como o sistema mais importante no processo de desenvolvimento e crescimento.

O debate sobre o relacionamento entre crescimento/desenvolvimento e a gestão/conservação ambiental ou sobre a relação entre a humanidade e a natureza adquire uma importância explícita sobretudo a partir da segunda metade do século XX. Porém, como tivemos ocasião de verificar nas secções anteriores, o tema é bem mais antigo, assim como não são exclusivos do nosso século os fenómenos de degradação ambiental causados pela actividade económica de produção e consumo e a influência das condições naturais no processo de crescimento e desenvolvimento económico.

De resto, as interações entre a economia e o ambiente numa perspectiva de longo prazo, caracterizam-se por um nexos contínuo de causa e efeito recíproco e são tão velhas como a própria humanidade. Delas podemos mesmo encontrar alguns testemunhos nos filósofos gregos. Platão, por exemplo, lamenta-se em Critias, das modificações na paisagem de Ática, cujo ambiente se havia transformado em

"...bones of wasted body ... richer and softer parts of the soil having fallen away and the mere skiletion being left."⁽¹⁾

A paisagem "natural" com a qual nos habituámos a conviver, não é mais do que o resultado de práticas agrícolas ancestrais que remodelaram de modo mais ou menos dramático e extensivo a paisagem e o ambiente⁽²⁾. Alguns autores (vide, por exemplo Wilkinson - 1973, Norgaard -1984 e 1985, Crosby 1986, entre outros) apontam mesmo o uso que algumas civilizações terão feito do seu ambiente, sobretudo no que respeita à pastorícia e ao uso do solo para a agricultura, como tendo estado na origem de degradações ambientais de tal modo graves e profundas que terão provocado a sua decadência ou mesmo o seu total desaparecimento. A ideia geralmente aceite e difundida de uma relação "harmoniosa" entre o homem e a natureza é um daqueles mitos sobre o qual construímos a nossa visão do mundo que nos rodeia.

Evidentemente que a taxa, extensão e importância dessas modificações não foi sempre a mesma. Nas sociedades de caçadores-colectores ou nas sociedades agrárias a perturbação do ambiente terá sido

(1) Citado em Clark & Munn (1986), pág. 6.

(2) A Planície Alentejana, a enorme extensão de pinhal ao longo da costa central de Portugal, são alguns exemplos dessas paisagens "naturais"

efectuada de forma lenta e quase sempre baseada naqueles recursos naturais com capacidade para se regenerarem. Naquelas sociedades, o principal material estruturante foi a madeira quer enquanto utensílio e meio de produção quer enquanto fonte energética. Porém, com o desenvolvimento das sociedades industriais não apenas se acelera a taxa de utilização desses recursos como se assiste à utilização crescente e de forma intensiva de muitos recursos que, pelo menos do ponto de vista da duração da vida humana, não têm capacidade para se regenerarem.

A partir da segunda Grande Guerra, a capacidade do homem em afectar e "destruir" o seu habitat aumentou significativamente quer como resultado das enormes e profundas mutações tecnológicas quer em resultado do crescimento populacional. Em resumo, a evolução da estrutura económica a das próprias interações entre o sistema económico e o sistema natural é marcada pela exploração (extracção) de recursos naturais, pelo crescimento populacional e, finalmente, pelos os avanços tecnológicos que viabilizaram novas técnicas de produção.

Os "problemas ambientais" podem ser definidos como a degradação registada em certo tipo de "Activos Ambientais" que, possuindo embora a capacidade própria para se auto-regenerarem, vêm essa capacidade seriamente afectada pelo uso que o sistema económico deles faz. Eles representam perturbações no normal funcionamento da natureza -a que frequentemente se dá o nome de alterações na "Qualidade Ambiental"- causadas pelos artefactos e pelas actividades económicas de produção e consumo, nomeadamente pela emissão de poluição física e química. Estão nesse caso a qualidade e a disponibilidade dos solos, os cursos de água, os mares, os oceanos, a atmosfera, etc e usualmente classificados como Semi-Renováveis ou Ambientais⁽¹⁾.

De natureza diferente são os problemas relacionados com o fornecimento de bens (matéria e energia) pelos sistemas ecológicos necessários para o processo produção e de consumo. Estes são essencialmente "problemas de recursos" com uma dimensão ecológica que deriva da actividade de extracção a que inevitavelmente são sujeitos, mas que adquirem também uma dimensão económica, fundamentalmente relacionada com a eficiência económica da sua exploração.

Evidentemente que esta é uma distinção meramente simbólica e serve apenas propósitos operacionais. Muitos "problemas ambientais" afectam a produtividade, qualidade e utilidade para o homem dos recursos naturais assim como a sua utilização excessiva pode vir a comprometer alguns serviços ambientais que desempenham, nomeadamente a capacidade da natureza em absorver e assimilar os desperdícios gerados pelo sistema económico. Na generalidade dos casos, os sistemas ecológicos são

(1) Vide secção 1.4.1.

sistemas complexos caracterizados por uma enorme teia de interrelações ainda não totalmente esclarecidas e compreendidas pela comunidade científica.

Por outro lado, os activos ambientais são multifuncionais e em alguns casos as funções que desempenham são mesmo conflitantes entre si. Isto significa que a sua afectação a determinadas actividades económicas pode pôr em causa o seu desempenho noutras funções igualmente importantes, embora em planos diferentes. O caso das florestas é, a este propósito, paradigmático: sendo uma importante fonte de madeira, elas são igualmente importantes na tarefa de purificação e renovação atmosférica (pela assimilação de CO₂, por exemplo), regulação climática, etc., mas que pode ser ameaçada pela actividade económica de extracção a que está sujeita.

A disponibilidade dos recursos e a qualidade ambiental tornam-se um problema sério quando a sua exploração e a emissão de desperdícios pelo sistema económico são efectuados a uma taxa incompatível com a capacidade da natureza em repor os materiais extraídos e em absorver e assimilar aqueles resíduos.

Evidentemente que a natureza não é um sistema estático nem a sua dinâmica se deve exclusivamente à presença e influência humana. Os ecossistemas estão em permanente mutação, envoltos no ciclo de crescimento, desenvolvimento, declínio e morte. A qualidade ambiental e o nível de stocks de recursos naturais estão, por isso, dependentes da sua dinâmica própria mas que pode ser perturbada por influência do sistema económico.

Os problemas ambientais e os problemas relacionados com os recursos naturais têm, em primeira instância, uma dimensão essencialmente ecológica. Os sistemas ecológicos são governados por leis físicas e químicas e é, por isso, natural que aqueles fenómenos assumam aspectos físicos e químicos muito longe, portanto, do domínio de interesse da economia.

Todavia, o uso que a sociedade faz dos recursos naturais (a sua extracção e exploração) e dos serviços ambientais por via das actividades de produção e consumo, a perturbação desses serviços e dos "mecanismos" naturais de regeneração e, por seu turno, os efeitos de feedback que provocam no sistema económico, faz com que aqueles "problemas" adquiram uma dimensão económica paralela à sua dimensão intrinsecamente ecológica. Em última instância e de um modo mais radical, é o próprio crescimento e desenvolvimento económico que encontram limites ecológicos em face das perturbações causadas ao sistema natural. É por isso que a noção de "capacidade de suporte"⁽¹⁾ do ambiente é muitas

(1) Quando aplicado a "populações", o conceito de Capacidade de Suporte significa o número máximo de "indivíduos" que uma determinada área finita é capaz de sustentar de forma estável.

vezes usada para justificar a necessidade de compatibilizar a escala do sistema económico com a escala, necessariamente finita e limitada do ambiente. Porém a capacidade de suporte do ambiente é um estado dinâmico, com flutuações sazonais em resultado de alterações das condições ecológicas e naturais⁽¹⁾ e pode mesmo ser objecto de ajustamentos por acção deliberada do homem no sentido de aliviar as restrições biofísicas.

No sentido de melhor compreendermos as interacções e interdependências entre os dois sistemas, procedemos à representação do sistema económico pelos tradicionais blocos da Produção, do Consumo e do bem Bem-Estar a partir dos quais faremos uma breve descrição dos principais elos de ligação entre o sistema económico e o sistema naturais. A fig. 1 mostra as ligações que considerámos importantes nesta fase do trabalho e que passaremos a descrever.

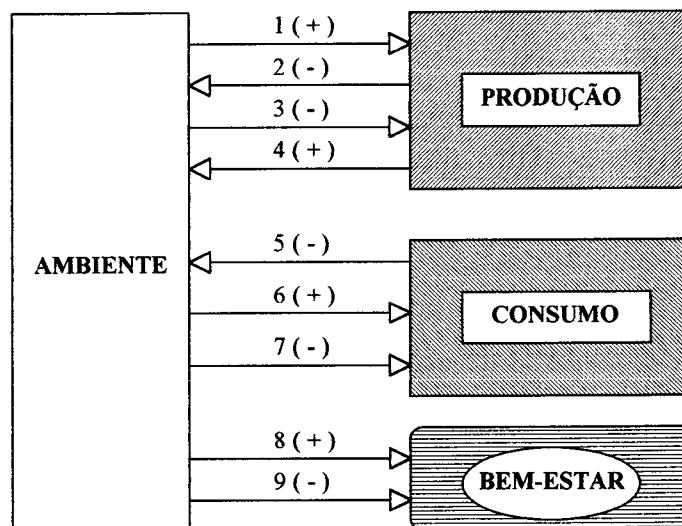


Fig. 1.4 - Interações básicas entre a Economia e o Ambiente

No bloco da produção identificámos 4 níveis de interacções. O primeiro impacto é positivo e representa o fornecimento quer dos tradicionais recursos naturais (renováveis e não-renováveis) sob a

(1) Em resultado do movimento de translação da terra, o volume de CO₂ acumulado na atmosfera e a capacidade para o absorver varia com as estações do ano. Cerca de 3/4 da superfície sólida da terra está localizada no Hemisfério Norte (HN) e, por isso, uma proporção semelhante da vegetação total sobre o planeta está também localizada neste hemisfério. Na época do ano em que o HN está mais próximo do sol - ou seja, quando o eixo da terra está inclinado em direcção ao sol - há menos CO₂ concentrado na atmosfera do que no Outono e no Inverno.

forma de matérias primas, recursos energéticos, etc, quer das condições ambientais propícias para que certas actividades produtivas tenham viabilidade. Por exemplo, os solos para a actividade agrícola e florestal, os cursos de água, os mares e os oceanos para as actividades pesqueiras, etc. Trata-se essencialmente de um fluxo de matéria e energia sem o qual o processo produtivo dificilmente poderia ocorrer.

Porém, a este primeiro efeito está associado um impacto negativo sobre o ambiente resultante da emissão de desperdícios e resíduos (poluição) da extracção de recursos das actividades económicas que perturbam directamente o ambiente, etc.

O terceiro elo de ligação entre este bloco e a natureza resulta do efeito de retroacção sobre a produção em resultado do fluxo (e do stock já acumulado na natureza) de poluição emitido pela actividade produtiva, das perturbações ambientais referidas no parágrafo anterior, de desastres e calamidades naturais, etc. A produtividade (por exemplo, na agricultura) pode ser afectada quer em termos de quantidade quer em termo de qualidade de produto final, em resultado da poluição atmosférica, das águas, dos solos, etc. De forma similar, a qualidade e a produtividade dos recursos com utilidade produtiva pode também vir a ser afectada. Por outro lado, o efeito negativo sobre a saúde dos indivíduos para além de, como veremos, ter influência no seu Bem-Estar, pode estar na origem de reduções da sua própria produtividade.

Finalmente, a 4ª "seta" mostra um efeito positivo que o bloco da produção pode exercer sobre a natureza por via de actividades especialmente orientadas para a sua preservação: implementação de unidade de tratamentos de águas residuais, de resíduos sólidos (urbanos ou industriais), actividades de reciclagem, actividades direccionadas para a preservação ambiental, etc.

No bloco do consumo podemos encontrar 3 tipos de interacções: Em primeiro lugar, a 5ª "seta" lembra que o consumo, à semelhança do que sucede com a produção, exerce um impacto negativo sobre o ambiente por via da criação e emissão de desperdícios (lixos urbanos, águas residuais urbanas, etc) e por dar origem a actividades perturbadoras do ambiente (como é o caso da algumas actividades recreativas e de uso do solo). A 6ª "seta" indica o efeito positivo que áreas naturais de especial beleza podem ter sobre a atracção de actividades de lazer e de recreação e, por essa via, estimular o consumo. Todavia, a situação inversa também pode ocorrer. Zonas naturais degradadas ou poluídas (por exemplo, praias, ou parques naturais) são muitas vezes repulsivas à instalação de actividades recreativas e, consequentemente, sobre o consumo.

Finalmente, a ligação entre o bloco do Bem-Estar e a natureza é feita por via de duas influências de sinais opostos. Contrariamente ao que sucede nos dois blocos anteriores, os impactos e as "transacções" envolvidas nesta dimensão são essencialmente constituídos por serviços e onde predominam noções subjectivas de Bem-Estar, muito embora tenham por base referências físicas e químicas fornecidas pela natureza. Por um lado, o ambiente tem um efeito positivo sobre o Bem-Estar sob a forma de prazer estético, lazer, tranquilidade, etc. Por outro lado, por acção das condições ambientais provocadas pela poluição, o bem estar dos indivíduos é afectado negativamente.

Este conjunto de ligações que acabámos de sumariar podem ser agrupadas em torno do que denominamos as três funções do ambiente com relevância económica e que serão objecto de um tratamento mais detalhado ao longo deste capítulo. Antes, porém, não queríamos deixar de efectuar uma observação final sobre o impacto das condições ambientais sobre o processo de crescimento e desenvolvimento económico, independentemente dos blocos em que essas influências se exercem e uma clarificação do que entenderemos por "Activos Ambientais" ao longo deste trabalho.

Relativamente ao primeiro destes dois temas, vale a pena referir que o que temos em mente refere-se aos impactos das condições ambientais (naturais ou provocadas) não no sentido físico-energético que enquadra as interacções anteriormente descritas, mas antes ao nível da tomada de decisões económicas sobre todo o sistema económico e independentemente do bloco onde elas se fazem sentir com mais intensidade.

Os sistemas biofísicos possuem propriedades próprias que fazem parte do conjunto de características dos activos ambientais que podem estimular ou desincentivar a actividade económica. Estas características e condições naturais estão muitas vezes, sobretudo à escala local e regional, na base da adopção e manutenção por longos períodos de tempo de estratégias de crescimento e desenvolvimento económico.

O turismo é um caso paradigmático. As características naturais particulares de determinadas zonas ou locais, podem ser um forte factor de atracção turística em torno do qual se arquitectam estratégias de desenvolvimento. A região de Castelo de Vide e Marvão é um exemplo de como uma região alicerça a sua estratégia de "desencravamento económico-social"⁽¹⁾, assente numa oferta ambiental de qualidade e preservada (Serra de S. Mamede, Castelos Medievais, preservação da fauna e flora típicas da região, etc) em torno da qual todas as restantes actividades se estruturam e enquadram na lógica global

(1) Vide relatório final sobre Cooperação Transfronteiriça entre Portugal e Espanha", UE-Comissão Europeia (1992).

definida. (como é o caso da agricultura e pastorícia tradicionais, a oferta hoteleira estruturada em torno dos usos e costumes tradicionais, etc.)

Mas esta influência funciona também em sentido contrário. As condições e características naturais ou a modificação estrutural da base natural de uma "economia", pode ser a causa de alterações estruturais no sistema económico-social. A perda irreversível de ecossistemas, o esgotamento de depósitos de recursos não-renováveis, etc, podem arrastar consigo a desagregação da estrutura socioeconómica que eles justificavam.

O segundo tema tem a ver com a clarificação do que se entenderá neste estudo por Activos Ambientais. Estes são constituídos pelo conjunto de bens físicos e energéticos disponíveis na natureza que sustentam toda a actividade fisiológica e económica da humanidade, quer porque são fonte directa de alimentos, matérias primas, combustíveis, etc, quer porque formam sistemas ecológicos mais ou menos complexos com a particularidade de fornecerem "bens e serviços" importantes, alguns dos quais fundamentais à existência de vida sobre o planeta (como é o caso do oxigénio, da capacidade natural de assimilação de desperdícios, a capacidade de, devido à sua beleza, proporcionar Bem-Estar directo, etc). A terra arável, os mares, os oceanos, os cursos de água, os peixes, as florestas, as matas, as árvores, a atmosfera, as montanhas, os minerais, etc são exemplos deste conjunto de activos naturais cujo stock em cada momento t , representaremos por $A(t)$.

Ou seja, o termo **Activos Ambientais** deve ser aqui interpretado num sentido lato de modo a incluir não apenas os tradicionais *recursos renováveis* (água, a biomassa terrestre e a biomassa aquática), e *recursos não-renováveis* (terra arável, os minerais, os combustíveis fósseis, etc), mas ainda os *recursos semi-renováveis* ou *ambientais* (qualidade do solo, a capacidade natural de assimilação, os sistemas naturais de suporte à vida, etc)⁽¹⁾.

Os Recursos Naturais Renováveis, cujo stock em cada momento t representaremos por $R(t)$, possuem, como o próprio nome deixa antever, a capacidade de se auto-regenerarem num horizonte temporal relevante no sentido definido anteriormente. Evidentemente que a capacidade e o ritmo de autoregeneração não são idênticos para todos os tipos de recursos renováveis. Por exemplo, a radiação solar, o vento, o calor geotérmico etc, são recursos que evidenciam uma capacidade natural de

(1) Esta classificação toma como referência o horizonte temporal relevante não apenas para o processo natural de regeneração destes activos como ainda relevante para a actividade humana tendo em vista o processo de tomada de decisão ao nível económico. Sweeney (1993), para além de usar este critério na classificação dos recursos naturais, avança ainda com uma classificação baseada nas propriedades físicas dos recursos. Assim, os recursos naturais são: Biológicos (peixes, árvores, insectos, etc); Minerais não energéticos (solo, ferro, ouro, etc); Energéticos (radiação solar, gás natural, crude, etc); e, finalmente, Ambientais (ar, água, florestas, montanhas, paisagem, etc).

regeneração muito forte (quer porque ocorre em lapsos de tempo muito curtos, quer pela sua intensidade quer ainda pelo seu stock) de modo que qualquer alteração nos seus stocks num dado momento não se repercute nos períodos subsequentes (razão pela qual são frequentemente classificados como *Recursos Consumíveis*). Mas todos eles evidenciam um padrão de evolução dinâmico muito semelhante marcado por ciclos de nascimento, crescimento, maturidade, degradação, morte, nascimento, ...⁽¹⁾, usualmente conhecido como *Lei do Crescimento Natural*.

De uma forma geral, o crescimento de uma determinada "população" ou, mais genericamente, da "Biomassa" (também designado como "produção líquida") ocorre quando o volume de energia fixada é superior à perda causada pela "respiração" (ou seja, a energia necessária à manutenção da espécie), independentemente desse saldo positivo se traduzir num crescimento físico do organismo ou na sua reprodução.

A forma mais simples de modelizar o crescimento de uma população⁽²⁾ é assumir que o seu "stock" aumenta de período para período de acordo com uma determinada taxa de crescimento fixa e segundo um padrão linear que pode ser adequadamente descrito pela seguinte equação diferencial do 1º grau:

$$[I.1] \quad \frac{dR(t)}{dt} = rR(t)$$

onde $R(t)$ representa o tamanho de população no momento t
 r representa a taxa de crescimento líquida da população ⁽³⁾,

De acordo com os postulados Malthusianos, enquanto for possível assegurar que $r > 0$ e $R(0) > 0$, a população cresce continuamente sem qualquer limite superior⁽⁴⁾. Evidentemente que este esquema

(1) O processo de mudança estrutural de uma "comunidade de indivíduos" ("população") num determinado ecossistema, é denominado de "secessão". Depois de alcançar os estágios de maturidade, a biomassa atinge um estado final de equilíbrio e estabilidade denominada "Climax" que é caracterizado pela máxima estabilidade que aquele ecossistema pode suportar, dadas as condições naturais que prevalecem em cada momento.

(2) A perspectiva adoptada nesta dissertação segue de perto a lógica da ECOLOGIA DAS POPULAÇÕES onde a ênfase e colocada na dinâmica das populações quer de espécies específicas e tomadas isoladamente quer quando interagem com outras espécies. Os processos ambientais são assumidos como um dado e não constituem objecto de estudo. Alternativamente poder-se-ia adoptar a perspectiva da ECOLOGIA DOS ECOSISTEMAS onde a preocupação se centra em temas como o volume de energia existente e sua transferência entre os diferentes níveis tróficos, na distribuição e no fluxo de substâncias bioquímicas no solo, nossa gazes e partículas na atmosfera, etc e onde a motivação está centrada nos processos bióticos e abióticos subjacentes aos serviços ambientais fornecidos pelos diferentes activos ambientais. Do ponto de vista formal, a diferença entre uma e outra abordagem diz respeito apenas às variáveis (de estado) usadas na caracterização da dinâmica associada aos sistemas que neles se encontram.

(3) Definida como a diferença entre a taxa de natalidade e a taxa de mortalidade.

(4) Com efeito, tratando-se de uma equação diferencial, linear e do primeiro grau, tem como solução geral

$$R(t) = R(0)e^{rt}$$

clássico de crescimento dificilmente encontra validade prática na medida em que ignora a realidade da competição intra e inter espécies pela obtenção de alimentos e espaço.

Muitas populações bióticas crescem rápida e exponencialmente no início do povoamento e sempre que encontram condições ideais para a sua expansão. Mas à medida que o tamanho da população aumenta, a (in)disponibilidade de espaço e alimentos começam a gerar limitações sérias à expansão populacional e a taxa de crescimento é forçada a um andamento mais lento, a declinar numa fase posterior ou até mesmo a assumir valores nulos ou negativos quando um determinado nível populacional é atingido ou ultrapassado (Capacidade de Suporte da natureza)⁽¹⁾.

Um modo de modelizar este comportamento consiste em assumir que a taxa de crescimento líquida da população na equação [I.1] depende do tamanho da população em cada momento em vez de ser considerada um parâmetro fixo.

$$[I.2] \quad f[R(t)] = \frac{dR(t)}{dt} = r[R(t)]R(t)$$

com

$$\frac{dr[R(t)]}{dR(t)} < 0$$

e onde

$$r[R(t)] = \frac{f[R(t)]}{R(t)}$$

Ou seja, $r[R(t)]$ é uma função decrescente em $R(t)$ o que significa que se está a assumir que o aumento populacional exerce um efeito de "feedback" ou "compensação", inibor e controlador automático do crescimento. O exemplo mais simples e mais frequente para descrever este mecanismo,

(1) A taxa de crescimento de uma determinada população em função do seu stock, é uma hipótese usual nos modelos Bioeconómicos. No entanto, alguns autores (Hannesson-1975, Clark-1976, etc.) argumentam que outras variáveis como a estrutura etária os fenómenos de interação com outras espécies (competição e simbiose) e variações estocásticas do ecossistema, concorrem com aquela variável na explicação dos ritmos de crescimento dos activos ambientais. Evidentemente que esses factores são importantes, mas como notam Gordon (1954 e 1967) e Hall (1977), esses factores podem ser incluídos na noção mais geral de "capacidade de Suporte". A análise que faremos insere-se nesta linha de pensamento.

consiste na utilização da "equação logística", na prática, uma versão mais sofisticada da equação linear [I.1] e introduzida pela primeira vez em 1838 na análise da dinâmica das populações, pelo Biólogo Holandês Verhulst⁽¹⁾

$$[I.3] \quad \frac{dR(t)}{dt} = rR(t) \left[1 - \frac{R(t)}{R_c} \right]$$

onde R_c corresponde à "Capacidade de Suporte" do ambiente em que a população se encontra "instalada" e é determinada pela disponibilidade de alimentos (recursos), existência de predadores, pelo espaço disponível, pela competição e simbiose com outras espécies, pelas variações estocásticas do ambiente circundante, etc. O termo $rR(t)$ representa o Potencial Biótico da espécie: é a taxa potencial de crescimento populacional que prevaleceria se não houvessem restrições de alimento e espaço e se os indivíduos da espécie não degradassem o seu ambiente com a excreção de "resíduos tóxicos". Todavia, á medida que a população cresce, este potencial biótico é reduzido pelo factor $\left(1 - \frac{R(t)}{R_c} \right)$, que os ecologistas denominam *Factor de Resistência Ambiental ao Crescimento* e que representa o número relativo de "vagas" ainda disponível, em cada momento, para a expansão da espécie no seu microcosmos.

Claramente, do ponto de vista analítico, esta equação diferencial, não linear, evidencia duas soluções possíveis: $R^*(t) = 0$ ou $R^*(t) = R_c$, mas apenas a segunda é estável, ou melhor, assintótica e globalmente estável. Ou seja, qualquer que seja a população de partida $R(0) = R_0$, ela convergirá sempre para $R^*(t) = R_c$.⁽²⁾

Este resultado pode ser facilmente observado quando, por integração directa, a equação [I.3] gera como solução o fluxo

$$[I.4] \quad \varphi(t) = R^*(t) = \frac{R_c}{1 + Be^{-rt}}$$

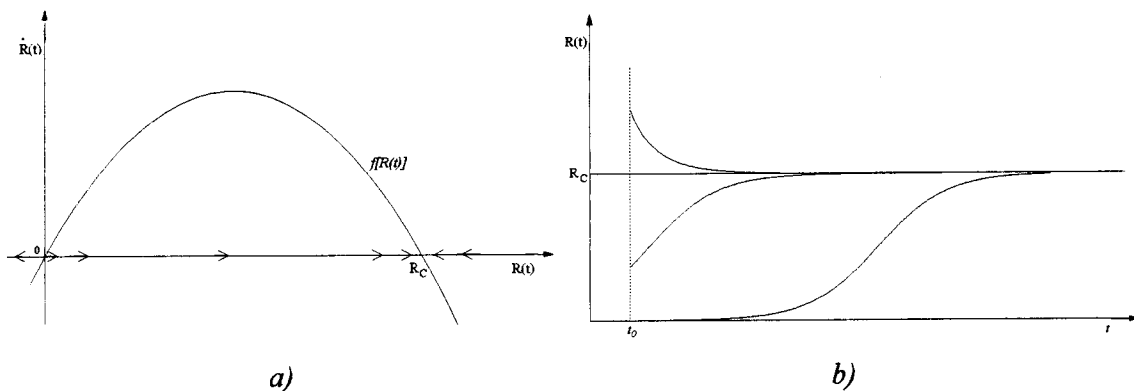
(1) Inicialmente usada para descrever e prever a evolução da população Belga e Francesa, foi depois usada pela primeira vez em populações naturais por Lotka, 1924. Beverton & Holt (1957), Clark (1976) entre outros irão propôr versões mais sofisticadas deste modelo geral.

(2) A correspondente "Equação às Diferenças" desta equação diferencial não linear, não se revela, porém, tão inócua nas suas propriedades de estabilidade e convergência. Dependente, tal como a equação [I.3], de um único parâmetro, r , ela pode dar origem a um sistema dinâmico bastante complexo (caótico) a partir de certos valores de r . Para mais pormenores, veja-se, por exemplo, May (1974), Tu (1994).

com
$$B = \frac{R_C - R_0}{R_0}$$

Donde, sempre que $r > 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} R^*(t) = R_C$.

Os dois gráficos da fig. 2 resumiam o que acabámos de dizer.



1. Equação Logística: a) diagrama de fases: Para $0 < R(t) < R_C$, $\dot{R}(t) < 0$. Para $R(t) > R_C$, $\dot{R}(t) > 0$ e, finalmente, para $R(t) < 0$, $\dot{R}(t) < 0$.
 b) trajectória temporal típica para diferentes valores de $R(0)$.

A segunda categoria de recursos que está incluída na noção mais geral de activos ambientais refere-se aos recursos *Semi-Renováveis*, cujo stock em cada momento representaremos por $S(t)$ e deles fazem parte a atmosfera, os oceanos, os mares, as florestas tropicais a terra arável, etc. São, em certo sentido, uma subcategoria de recursos renováveis na medida em que, tal como eles, têm a capacidade de se regenerarem naturalmente. Todavia esse processo natural de regeneração é muito lento. Qualquer perturbação dos seus stocks perdurará por longos períodos de tempo. Por exemplo, o volume de CO_2 libertado em resultado da queima de combustíveis fósseis, altera a composição natural da atmosfera e esta demora cerca de 200 anos a dissipar totalmente o volume de CO_2 em excesso.

Finalmente, o stock de *Recursos Não-Renováveis* ou, simplesmente, *Esgotáveis*, $E(t)$ é constituído por aqueles recursos naturais que não têm capacidade de se regenerarem num horizonte temporal

suficientemente realista do ponto de vista humano (muito embora seja possível considerá-los renováveis quando o tempo considerado seja geológico). Estão neste caso, os depósitos de minérios, de petróleo, de gás natural mas também algumas espécies animais e vegetais em perigo de extinção, algumas zonas "selvagens" que ainda subsistem no planeta, etc.

A qualificação de "Esgotável" advém do facto da sua velocidade de regeneração ser de tal modo lenta que qualquer extracção a que sejam sujeitos, reduz inevitavelmente o seu stock. A possibilidade do seu esgotamento deriva directamente do seu uso pelo sistema económico que é incapaz de promover o aumento do stock destes recursos. (obviamente que a descoberta de novas reservas apenas aumenta o stock disponível mas não o stock existente sobre o planeta).

Em resumo, o termo Stock de Activos Ambientais que usaremos ao longo deste trabalho corresponde ao somatório das três categorias de recursos que acabámos de especificar. Formalmente

$$[I.5] \quad A(t) = R(t) + S(t) + E(t)$$

cuja dinâmica será objecto de clarificação num momento posterior deste estudo e onde cada variável representa um "escalar" que agrega todos os activos ambientais incluídos na respectiva categoria.

Este procedimento suscita uma observação breve relacionada com a viabilidade da agregação nele implícita⁽¹⁾. Como dissemos anteriormente, "populações" e "ecossistemas" são duas faces de uma mesma moeda que a ecologia (e mesmo a economia) diferencia pelo destaque que dá a aspectos particulares da mesma realidade, mas cuja fronteira formal reside nas variáveis usadas para a caracterização da dinâmica típica aos sistemas em estudo. Regra geral, é possível quantificar os diversos activos ambientais de diferentes modos consoante o tipo de activos em presença -unidades de volume, unidades de massa, unidades energéticas, índices de qualidade, etc. Na maioria dos casos é possível compatibilizar essas diferentes medidas e traduzi-las para a mesma unidade e obter assim um índice agregado que reflecta o stock global de activos ambientais. É justamente este o princípio subjacente à agregação efectuada.

(1) Em alternativa, a identidade [I.5] poderia ser expressa em termos vectoriais.

I. 4. 1 - A função Fornecimento de Recursos

A primeira função do ambiente com relevância económica consiste no fornecimento dos recursos naturais necessários para que o processos de produção e consumo tenham lugar e está referenciada pelas setas 1 e 6 da fig. I.1. É esta função que tradicionalmente é considerada como relevante pela teoria económica se bem que raramente os tratados de economia lhe dediquem uma atenção especial, nomeadamente na explicitação de funções de produção onde os recursos naturais surjam como inputs, a par dos tradicionais factores trabalho $L(t)$ e capital económico $K(t)$ ⁽¹⁾.

Porém, esta forma "convencional" de encarar a função de fornecimento de recursos encerra em si mesma uma visão limitada sobre a real importância da natureza como um todo (aqui representada pelo stock de activos ambientais) para a produção e o consumo.

O fluxo de matéria e energia com origem na natureza por via dos recursos naturais utilizados no processo produtivo e de consumo, apenas pode ser mantido enquanto os processos e os sistemas ecológicos poderem manter a sua integridade operacional. Os ciclos biogeoquímicos e energéticos⁽²⁾ devem funcionar de modo a garantir a circulação da energia e da matéria, os ecossistemas devem conservar a sua capacidade natural para assimilar e absorver os desperdícios inevitavelmente originados pela actividade económica e, finalmente, os recursos renováveis e semi-renováveis devem manter o seu potencial regenerativo. Dada a multifuncionalidade, interdependência e complexidade do mundo natural é toda a natureza que desempenha um importante papel no processo produtivo e que, por isso, deve ser considerada globalmente. A nossa proposta consiste em tomar todo o conjunto de activos ambientais, $A(t)$ -qualidade do solo, aos cursos de água, aos oceanos, à atmosfera, ao clima, à diversidade das espécies, à capacidade da natureza em assimilar e absorver os resíduos gerados, etc- como factor produtivo directo.

É certo que muitos activos ambientais, embora renováveis, não têm nenhuma importância ou valor instrumental directos para a produção, o consumo ou mesmo o Bem-Estar do homem. Porém, o

(1) O "factor terra" é um caso paradigmático. A dependência da agricultura face à terra torna inevitável a sua inclusão na função de produção, ainda assim com o estatuto de "factor fixo".

(2) Designa-se por "...ciclo energético o percurso da energia desde a fonte (luz solar) até ao seu consumo e degradação sob a forma de calor, nos diferentes níveis tróficos. Designa-se por ciclo biogeoquímico o percurso, efectivamente percorrido, de qualquer substância (por exemplo o azoto, o fósforo, o carbono, a água) à medida que passa de uma componente do ambiente para outra"; *O QUE É A ECOLOGIA*; Melo, j. j. e Pimenta, C.,(1993), pág. 17.

complexo ciclo de matéria e energia que caracteriza os ecossistemas, confere a estes recursos ou espécies não-instrumentais, uma importância vital para a existência de outras espécies (recursos) de inegável valor para o sistema económico. Por exemplo, uma floresta é economicamente valiosa pelo volume de madeira que dela se pode retirar. No entanto, ela forma um complexo sistema de organismos animais e vegetais com uma importância e influência muitas vezes decisiva no uso económico que é dela é feito. O planton não tem qualquer valor directo para o homem. Todavia, estando na base da cadeia alimentar ele é importante na medida em que se constitui como alimento de peixes, posteriormente consumidos pelo homem.

Por outro lado, o "*efeito produtividade do ambiente*" associado ao stock de activos ambientais faz-se ainda sentir por duas ordens de razões que queremos realçar. Em primeiro lugar $A(t)$ desempenha uma importante função na criação de condições favoráveis à sustentação (económica e ecológica) do processo de crescimento e desenvolvimento económico. Referimo-nos aqui não ao fornecimento directo dos recursos naturais indispensáveis à produção e ao consumo mas antes ao facto de que os activos ambientais, à semelhança, de resto, com o que se passa com o stock de capital económico, possibilitarem melhores condições e margens de resistência e elasticidade do sistema e estruturas económicas a choques exógenos como secas prolongadas, catástrofes naturais, guerras, etc.

Em segundo lugar, devido ao enorme potencial de informação genética que contém, $A(t)$ é essencial ao avanço do conhecimento e suas aplicações à produção, nomeadamente no que diz respeito à descobertas de novos materiais, novas técnicas e processos de produção ou mesmo novas utilizações de recursos já conhecidos⁽¹⁾. É justamente neste contexto que a problemática das perdas irreversíveis adquire uma importância acrescida (mesmo que o nosso conhecimento sobre $A(t)$ seja ainda insuficiente, incompleto e parcial) e justifica a adopção de atitudes cautelosas, consistentes com o princípio de Aversão ao Risco tendo, em última instância, como pano de fundo as gerações vindouras.

Designando por Y o nível de produção, C o consumo, L a força de trabalho utilizada no processo produtivo, K o stock de capital destinado a gerar bens de consumo futuro, D a depreciação natural do stock de capital e, U a utilidade (ou Bem-Estar) proveniente do consumo corrente, esta primeira função com utilidade económica do ambiente pode ser esquematizada do modo como a fig. I.2 a representa.

(1) Alguns autores, como por exemplo, Faber & Proops (1994) atribuem mesmo à passagem de uma economia dependente de recursos renováveis para uma economia dependente de recursos não-renováveis, o estímulo necessário que esteve e estará na base do contínuo processo de invenção e inovação tecnológica.

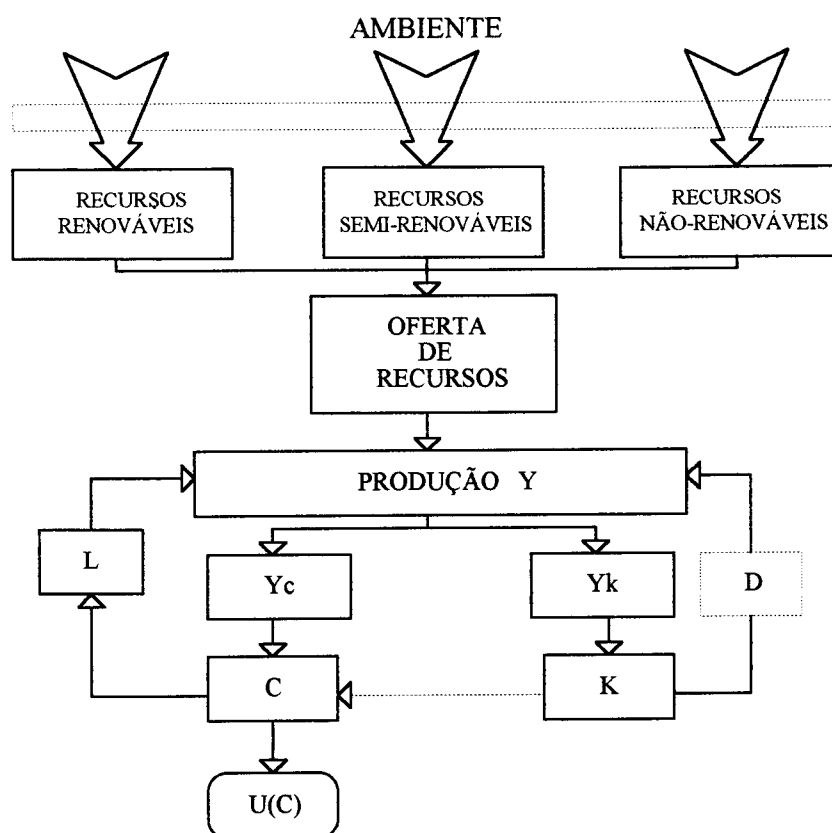


Fig. 2 - A Função de Fornecimento de Recursos ao sistema económico

Estamos agora em condições de estabelecer, formalmente, a primeira hipótese sobre a função de produção da economia num contexto em que os activos ambientais concorrem para a formação do produto final. Dadas as possibilidades tecnológicas prevalentes em cada momento t , o nível agregado de produção, $Y(t)$, é obtido não apenas pela combinação dos tradicionais inputs produtivos trabalho $L(t)$ e capital económico $K(t)$ mas também pela utilização dos stock global de activos ambientais $A(t)$: Recursos Renováveis $R(t)$, Recursos Não-Renováveis $E(t)$ e Recursos Semi-Renováveis $S(t)$. Formalmente,

$$[I.1] \quad Y(t) = [L(t), K(t), A(t)]$$

Cujas propriedade matemáticas se assumem ser as seguintes:

- Hipótese Y1 (Função de Produção):** Seja $L(t), K(t), A(t) \in \mathfrak{R}_+$. A função $F[L(t), K(t), A(t)]$ é uma aplicação $[L(t), K(t), A(t)] \mapsto F[L(t), K(t), A(t)]$, $F(\dots): \mathfrak{R}_+^3 \mapsto \mathfrak{R}_+$, com as seguintes propriedades:
- i. $F(\dots)$ é C^2
 - ii. $F(\dots) > 0$ quando todos os argumentos são Não-Nulos
 - iii. $\lim_{i \rightarrow 0} F(\dots) = 0$, com $i = L, K, A$, quando pelo menos um dos seus argumentos é nulo
 - iv. $\lim_{i \rightarrow \infty} F(\dots) = \infty$, com $i = L, K, A$, ou seja, a função não é limitada superiormente.
 - v. $\frac{\partial F(\dots)}{\partial i} = F_i > 0 \in]0, \infty[$, com $i = L, K, A$.
 - vi. Verifica as tradicionais condições de Inada, ou seja, $\lim_{i \rightarrow 0} F_i(\dots) = +\infty$ e $\lim_{i \rightarrow +\infty} F_i(\dots) = 0$ com $i = L, K, A$.
 - vii. $\frac{\partial^2 F(\dots)}{\partial i^2} = F_{ii}(\dots) \in (-\infty, 0]$
 - viii. $\frac{\partial^2 F(\dots)}{\partial i \partial j} = F_{ij}(\dots) \in [0, +\infty)$ com $i, j = L, K, A$ e $i \neq j$

Em resumo, $F(\dots)$ é contínua, côncava, duplamente diferenciável, com produtividades marginais positivas mas evoluindo a taxas cada vez mais reduzidas. Qualquer input é essencial à produção e as possibilidades técnicas de substituição entre eles são assumidas explicitamente. Finalmente, a produtividade marginal de cada um dos factores é efectada positivamente quando unidades adicionais de qualquer dos outros inputs são afectas ao processo produtivo.

Estas propriedades e a inclusão do stock de activos ambientais como argumento da função de produção sugerem duas observações que gostaríamos de desenvolver neste momento. Desde logo a introdução de $A(t)$ na função de produção levanta quer a questão da sua quantificação quer, sobretudo, da sua valoração económica. O primeiro destes dois temas já foi objecto de alguma atenção anteriormente e relativamente ao segundo, teremos ocasião mais adiante neste capítulo de lhe dedicar uma atenção mais pormenorizada. De momento apenas diremos que esta é uma das mais formidáveis tarefas que a Economia do Ambiente tem pela sua frente e sobre a qual têm incidido a maioria dos trabalhos realizados nesta área. Sendo complicada, a tarefa não é uniformemente complexa.

Para alguns activos ambientais é fácil a determinação do seu valor económico uma vez que tendo utilidade produtiva e valor económico directo, possuem um mercado onde são transaccionados e a sua afectação aos diferentes usos é possível por via do mecanismo de ajustamento dos preços. É o caso da

madeira, dos produtos piscícolas, do solo agrícola, dos recursos energéticos, etc. Mas para outros bens e serviços ambientais e seus atributos é inegável a dificuldade prática que constitui a tarefa de atribuição de um valor económico. Sendo bens Não-Rivais -no sentido em que o seu uso por um indivíduo não impede a sua utilização por outro ou outros indivíduos - não possuem um mercado no qual seja possível deduzir e formar o seu valor monetário de forma convencional.

É evidente que grande parte destes activos ambientais são quantificáveis de diferentes modos: em unidades de massa (por exemplo, as florestas podem ser "medidas" em Unidades de Biomassa), em índices qualitativos (por exemplo, é possível estabelecer um índice para a atmosfera ou para a água não poluídas), em unidades de volume (por exemplo, volume de água, toneladas de madeira ou minério etc) etc. Mas todos eles são usados e úteis em ramos do saber no qual é a natureza, não o homem o principal assunto de preocupação. O nosso estudo está centrado nos aspectos sociais no contexto de um sistema economico-ambiental integrado e não com a natureza enquanto fenómeno de manifestações físicas.

A segunda questão importante que queremos salientar tem a ver com as *possibilidades técnicas de substituição* não apenas entre cada um dos factores produtivos considerados (K(t), L(t), e A(t)), como ainda entre os diversos componentes que constituem cada um daqueles agregados. A ciência económica já produziu suficiente literatura sobre as possibilidades de substituição entre os dois primeiros factores, pelo que não lhe dedicaremos atenção especial. A nossa atenção centra-se antes na análise das possibilidades técnicas de substituição entre K(t) e A(t) implícita na formulação anterior⁽¹⁾.

A tradição económica vai no sentido de considerar não apenas possível a viabilidade técnica de substituição entre K(t) e A(t) como ainda necessária por forma a permitir uma trajectória de crescimento económico de longo prazo, consistente com os princípios de equidade e justiça intergeracional. Solow(1974-b), Dasgupta & Heal (1974), Stiglitz (1974), Hartwick (1977), entre outros, desenvolvem modelos de crescimento económico para uma economia tipo, dependente da disponibilidade de recursos não-renováveis e no quadro da qual fazem depender a viabilidade da trajectória de crescimento económico a longo prazo da capacidade técnica para operar essa substituição.

(1) Diferenciando totalmente [1] e igualando a zero obtemos (depois de fazer $dL = 0$)

$$\frac{dK(t)}{dA(t)} = - \frac{\frac{\partial F[\cdot]}{\partial A(t)}}{\frac{\partial F[\cdot]}{\partial K(t)}} < 0$$

devido à propriedade v.

A regra Solow-Hartwick (como ficaria conhecida) que resulta destes modelos, estabelece que, num contexto de homogeneidade do bem de capital, o nível de consumo de uma economia pode permanecer constante em face da presença e dependência de recursos não-renováveis, se a renda originada da sua extracção e uso intertemporalmente óptimo, for integralmente reinvestida na produção de bens de capital económico. Dito de outra forma, a trajectória óptima de crescimento de uma determinada economia, conduz à redução continua do seu stock de capital natural (no caso, constituído exclusivamente por Recursos Não-Renováveis) mas que deverá ser compensada pelo crescimento do stock de capital económico (possibilitada pelo reinvestimento das rendas obtidas), este sim com uma rentabilidade económica elevada.

De modo semelhante, a teoria geral sobre a gestão de recurso renováveis, sugere que, pelo menos para recurso renováveis com uma taxa de regeneração muito lenta, estes devem ser rapidamente explorados (e, eventualmente, esgotados) para que os rendimentos obtidos possam ser reinvestidos na criação de outras formas de capital cujo valor cresça mais rapidamente⁽¹⁾.

Em qualquer dos casos, a exploração e mesmo a total delapidação dos recursos naturais, surge economicamente justificada e pressupõe a possibilidade técnica de substituição entre o stock de capital económico e o stock de capital natural.

Já dissemos anteriormente que um dos corolários da 1ª lei da termodinâmica consiste no facto de que nenhuma produção pode ocorrer sem o uso (consumo) de recursos naturais. Do ponto de vista fisico-químico, o stock de capital económico, como de resto todos os bens produzidos pelo sistema económico, tem a sua origem no stock de capital natural. Neste sentido e pelo menos para a usual classificação de Recursos Naturais, existem possibilidades técnicas de substituição entre estes dois tipos de activos. O próprio progresso técnico tem facilitado essa substituição e em muitos casos o aumento da eficiência no uso dos recursos que ele possibilita tem permitido a redução da dependência do sistema produtivo face aos recursos naturais. Por exemplo, a redução de nutrientes no solo pode ser compensada com a ajuda de fertilizantes.

Por outro lado a arte e o engenho humano têm permitido que muitos recursos naturais renováveis ou não, tenham vindo a ser substituídos por outros, novos ou não, ou mesmo reduzido a intensidade da sua utilização. A escassez do Volfrâmio⁽²⁾ permitiu a utilização do Molibdeno⁽³⁾ no fabrico de ferramentas

(1) Clark (1976) e Smith (1977), sugerem como óptima, uma política de rápida exploração de um recurso renovável cujos custos de exploração sejam muito baixos ou cujo valor por unidade extraída seja muito elevado.

(2) O Volfrâmio é um metal muito duro, com a propriedade de dificilmente se derreter por acção do calor e, por isso, muito usado na fabricação de aços especiais e de filamentos para lâmpadas eléctricas.

(3) Trata-se de um metal também muito duro, usado no fabrico de ligas com a mesma utilidade que o Volfrâmio.

e utensílios em aço, assim como, por exemplo, os condutores de alumínio substituíram o cobre à medida que este se foi tornando mais escasso e que as propriedades do primeiro foram encontrando utilidade prática.

Todavia, as possibilidades de substituição quer entre $K(t)$ e $A(t)$ quer entre os componentes de $A(t)$, não é extensível a todos os activos ambientais nem igual para todos eles. Recorde-se a definição de $A(t)$ avançada anteriormente. Dele fazem parte activos ambientais que desempenham funções específicas no contexto geral da natureza para as quais não existem artefactos humanos capazes de proceder à sua substituição. As funções de regulação climática desempenada pelos oceanos ou pelas florestas, a camada de ozono, etc, não podem ser substituídas por nenhum artefacto tecnológico conhecido. Em geral não existem substitutos para estes serviços de suporte à vida no planeta, fornecidos que são em regime de exclusividade pelos activos ambientais. Podemos deixar de recorrer aos oceanos como fonte de abastecimento de peixes. Estes podem ser obtidos em regime de aquacultura. Mas não poderemos prescindir da sua existência e dos seus serviços enquanto reguladores climáticos.

Por outro lado, mesmo para os activos ambientais com utilidade produtiva, é muitas vezes difícil e problemática a sua substituição, sobretudo porque na sua grande maioria eles desempenham outras funções paralelas àquelas pelas quais têm utilidade do ponto de vista do processo de produção e consumo. Uma floresta não é apenas útil pelo volume de madeira que contém. Ela desempenha também um importante papel na purificação da atmosfera quando, por via da fotossíntese, absorve o CO_2 em excesso. Esta multifuncionalidade característica dos activos ambientais é importante na manutenção das funções de suporte à vida (nomeadamente no que diz respeito aos ciclos biogeoquímicos), não é partilhada por $K(t)$ e, pelo menos à luz da tecnologia disponível, não pode ser por ele desempenhada.

Estas considerações sugerem que as possibilidades de substituição implícitas na função anterior não são ilimitadas. Mas também é certo que não estão totalmente afastadas. Países em estágios iniciais de desenvolvimento podem mesmo assistir a uma relação complementar entre $K(t)$ e $A(t)$, mesmo que os seus níveis iniciais de activos ambientais, $A(0)$ sejam baixos. Em muitos países africanos onde as famílias estão extremamente dependentes da madeira enquanto fonte energética mas dependentes de uma envolvente ambiental bastante degradada, a acumulação de capital e qualidade ambiental não estão em antagonismo. É certo que a pobreza acentua a pressão sobre o ambiente mas não é menos verdade que ela própria é uma consequência daquela degradação. Nesses países, assim como noutras regiões do globo, a qualidade ambiental não é um luxo mas, a par da necessária estrutura económica, é antes uma condição necessária para a sua sobrevivência.

Pelo contrário, nos países que atingiram já padrões de desenvolvimento mais elevados ou que optaram por estratégias de crescimento mais acelerado, o trade-off entre $K(t)$ e $A(t)$ surge como a situação mais provável, pelo menos para alguns activos ambientais (recursos naturais) e para algumas funções que desempenham (nomeadamente para as tradicionais funções produtivas e de Bem-Estar)⁽¹⁾. Para outros, como a já referida função de suporte à vida ou a função assimilação dos desperdícios gerados, não há, de facto, substitutos possíveis.

É tendo em conta estes argumentos que alguns autores (Neher 1990) sugerem a utilização de funções de produção que reflectem uma tecnologia em que os factores produtivos são usados em proporções fixas, de tal modo que os quocientes factor/produto são sempre constantes. Isto significa também que o processo produtivo evidencia rendimentos constantes à escala e produtividades marginais de cada factor independentes dos níveis de utilização dos outros factores produtivos.

Formalmente, cada nível de produto apenas pode ser obtido a) com uma determinada proporção fixa do input i e b) quando todos os inputs são usados em simultâneo e nas suas respectivas proporções. Genericamente, a quantidade de cada factor necessário à produção de uma unidade de produto final é dada por:

$$[I.6] \quad a = \frac{x(t)}{Y(t)}$$

com

$$x(t) = K(t), L(t), A(t)$$

e

$$a = \kappa, \lambda, \alpha \quad : \quad \kappa, \lambda, \alpha > 0$$

Daqui decorre que o volume máximo de produção que é possível obter com uma determinada combinação de inputs e sob condições de máxima eficiência de utilização, virá dada pela função:

(1) Um dos Trade-off que é corrente ver referido na bibliografia consiste na tradicional oposição entre Crescimento/Desenvolvimento e a capacidade do ambiente em proporcionar bem estar. Voltaremos a este assunto um pouco mais adiante.

$$[1.7] \quad Y(t) = \min \left\{ \frac{1}{\kappa} K(t), \frac{1}{\lambda} L(t), \frac{1}{\alpha} A(t) \right\}$$

A fig. (I.3) mostra as isoquantas no espaço (K,A) do processo produtivo que acabámos de descrever:

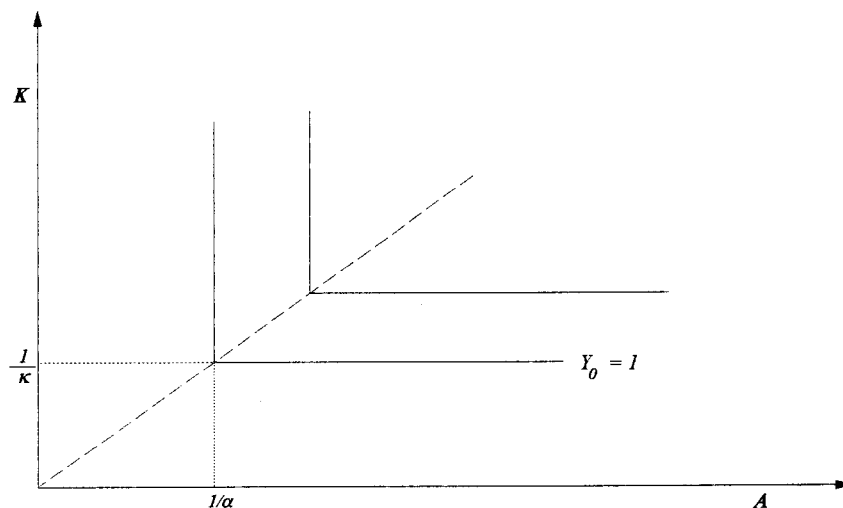


Fig. I.3 - Isoquantas no espaço (K,A) quando os factores produtivos são complementares.

De forma menos rígida é possível admitir que existem algumas possibilidades técnicas de substituição num intervalo limitado. A fig. I.4 demonstra esta situação no plano (K ,A).

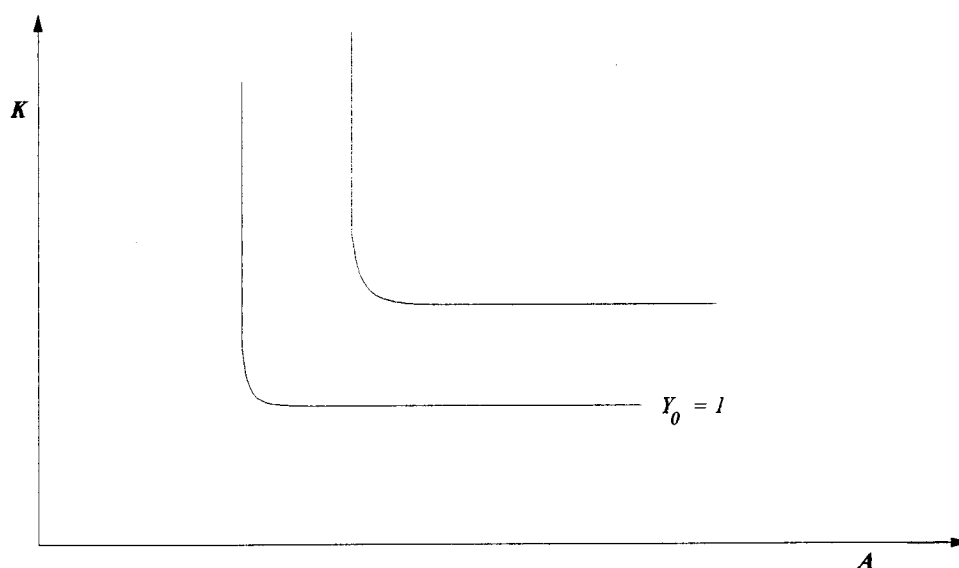


Fig. I.4 - Isoquantas no espaço (K,A) na hipótese, menos rígida, de existência de alguma substituição entre K e A num intervalo limitado.

I.4.1.1 - O FENÓMENO INEVITÁVEL DA EMISSÃO DE DESPERDÍCIOS.

A primeira lei da termodinâmica permitiu-nos encontrar uma razão para que o stock de activos ambientais surgisse como argumento da função de produção. É a mesma lei que, como demonstraram claramente Ayres & Kneese (1969), assegura que

"...one class of externalities -those associated with the disposal of residuals resulting from the consumption and production process - must be viewed quite differently. They are a normal indeed, inevitable part of these processes. Their economic significance tends to increase as economic development proceeds and the ability of the ambient environment to receive and assimilate them is an important resource of increased value."⁽¹⁾

(1) Ob. cit., pág. 282.

Ou seja, as leis da conservação da matéria e energia, asseguram que o seu volume usado pelo sistema económico não desaparece nos actos de produção e consumo⁽¹⁾. Toda a matéria e energia extraída ao sistema natural, acabará por a ele regressar. Evidentemente que uma parte ficará "retida" nos vários "bens duráveis" produzidos pelo sistema económico. Mas estes representam uma pequena fracção do volume total de recursos que é extraído⁽²⁾. O seu regresso à natureza é apenas uma questão de tempo. O aparecimento dos resíduos (ou, de uma forma mais geral, a poluição) não é assim um fenómeno ocasional e raro. É antes uma consequência inevitável e inerente ao funcionamento do processo económico. Por outro lado, a omnipresença dos resíduos ao afectarem a performance económica, confere à capacidade de assimilação da natureza uma importância acrescida e uma dimensão económica que será objecto de aprofundamento na secção seguinte.

Formalmente, se representarmos por $P(t)$ o volume de resíduos que, em cada momento é gerado pelo processo económico, podemos estabelecer a seguinte hipótese sobre a relação entre a emissão de desperdícios e o nível de produção de uma economia.

HIPÓTESE (P.1) (Função Poluição Linear): Seja $Y(t)$ e $P(t) \in \mathfrak{R}_+$. A Função Poluição $p[Y(t)]$ é uma aplicação $Y(t) \mapsto p[Y(t)]$, com $p(\cdot): \mathfrak{R}_+ \mapsto \mathfrak{R}_+$, e evidencia as seguintes propriedades:

- i. \dot{p} é C
- ii. $\frac{\partial p[Y(t)]}{\partial Y(t)} = p_y > 0$ para todo o $Y > 0$
- iii. $\frac{\partial^2 p[Y(t)]}{\partial Y(t)^2} = p_{yy} = 0$ para todo o $Y > 0$

A sua combinação com as características enunciadas para a função de produção, faz com que a criação de desperdícios esteja, por via de $Y(t)$, relacionada com os níveis usados dos factores produtivos. Dada a positividade de p_y assumida em ii. de H-P.1, todas as propriedades da função de produção face aos seus inputs são directamente transferidas para a relação entre P e Y . Por exemplo, unidades adicionais de stock de capital económico, terão como consequência um aumento dos níveis de poluição, muito embora este efeito seja intermediado pela relação que se estabelece entre $P(t)$ e $Y(t)$.

(1) De resto, "Consumo" não será o termo mais adequado para descrever o que, em termos físicos, se passa no sistema económico. Aquilo que é consumido é a utilidade associada a um determinado bem. Do ponto de vista físico, o que ocorre é apenas a transformação da matéria e da energia que passam de um para outro estado de organização da matéria e energia nele contidas, eventualmente caracterizado por maior entropia dificultando desse modo a sua assimilação pela natureza.

(2) Ayres & Kneese estimam que apenas cerca de 6% dos materiais extraídos da natureza ficará "retido" nos bens duráveis sendo os restantes 94% "devolvidos" à natureza. Para mais pormenores, veja-se, Ayres & Kneese, 1989.

A hipótese de linearidade entre a poluição e a produção assumida neste formulação é, sem dúvida, uma simplificação, na linha, de resto, de Mishan (1967) e do próprio Relatório do Clube de Roma (Meadows et. al. - 1977) mas que estudos recentes (teóricos e empíricos) parecem contrariar. Repare-se, por outro lado, que esta formulação implica que na ausência de actividades orientadas para o tratamento e reciclagem dos resíduos, a única forma de reduzir a poluição consiste em reduzir a produção.

Jänicke et al. (1988), Simonis (1989), The World Bank Development Report (IBRD-1992), Selden & Song (1994), Stern et. al. (1994), De Bruyn & Opshoor (1994), De Bruyn, Opshoor & Van Den Bergh (1995) entre outros, desenvolvem estudos empíricos no sentido de testar a existência de uma relação não linear, em forma de parábola invertida, entre a emissão de desperdícios e o crescimento económico.

Conhecida como a *Curva Ambiental de Kuznets (CAZ)* -já que se baseia na hipótese de Kuznets sobre a relação entre a desigualdade de distribuição do rendimento e o crescimento/desenvolvimento económico - os estudos mostram uma relação positiva entre $Y(t)$ e $P(t)$ nos estágios iniciais do processo de crescimento económico (ou, se se preferir, para baixos níveis de produto). Nestas fases, o ritmo de emissão de desperdícios é mais rápido que o ritmo de evolução do produto, de modo que o rácio $P(t)/Y(t)$ é crescente. Mas à medida que o produto se eleva e que o ambiente se deteriora, aquela relação directa cessa e acaba mesmo por se inverter.

As razões para esta tendência podem ser sumariadas do seguinte modo: *a)* a existência de uma elasticidade-rendimento positiva relativamente à qualidade ambiental, *b)* a modificação das preferências no sentido de maiores preocupações com a qualidade e a protecção ambiental: no que diz respeito aos *consumidores*, ela traduz-se na utilização de produtos com um potencial poluidor mais reduzido (por exemplo, a utilização de gasolina sem chumbo ou a utilização de detergentes sem fosfatos ou mesmo de papel reciclado) e, no que diz respeito aos *produtores*, na adopção de processos tecnológicos que aumentem a eficiência na utilização dos recursos e na redução da emissão de desperdícios, na adopção de processos e práticas de reciclagem e tratamento de resíduos e, finalmente, *c)* adopção de uma atitude política mais aberta e consciente traduzida na implementação não apenas de instrumentos reguladores (fiscais, de mercado ou de "Comando e Controle"), como ainda de um quadro legislativo consequente com a tendência da evolução das preferências.

É evidente que a relação entre P e Y é, em primeira instância, uma questão essencialmente empírica que necessita de estudos e confirmações adicionais. Seja como for, os estudos já efectuados⁽¹⁾ (quer temporais quer "cross-section" entre países quer ainda quando combinam ambas as abordagens) convergem para a confirmação da hipótese que passaremos a especificar:⁽²⁾

HIPÓTESE (P.2) (Função Poluição Convexa-Côncava): Seja $Y(t)$ e $P(t) \in \mathfrak{R}_+$. A Função Poluição $p[Y(t)]$ é uma aplicação $Y(t) \mapsto p[Y(t)]$, com $p(\cdot): \mathfrak{R}_+ \mapsto \mathfrak{R}_+$, e evidencia as seguintes propriedades:

- i. é C^2
- ii. $P(Y) > 0$ para todo o $Y > 0$ e $P(0) = 0$
- iii. $\exists Y_M$:

$$Y \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} Y_M \Rightarrow p_y \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

$$\text{com } p_y = \frac{\partial p[Y(t)]}{\partial Y(t)}$$

- iii. $\exists Y_A$, com $Y_A < Y_M$:

$$Y \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} Y_A \Rightarrow p_{yy} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

$$\text{com } p_{yy} = \frac{\partial^2 p[Y(t)]}{\partial Y(t)^2}$$

Ou seja, a função é, para níveis baixos de Y , convexa reflectindo o facto de o nível de degradação ambiental crescer nesses, momentos, a ritmos superiores ao verificado para o produto. Por essa razão, o rácio $P(t)/Y(t)$ é crescente nesta fase. Quando o nível de produto ultrapassa Y_A , essa tendência atenua-se e os níveis de degradação ambiental são, na margem, cada vez menores. Apesar de tudo, a poluição por unidade de produto é ainda crescente. Apenas quando $Y = Y_B : p(Y_B)/Y_B = p_y(Y_B)$ se inverte a

- (1) Muito embora limitados a tipos específicos de poluentes e meio poluído como é o caso do CO_2 e SO_2 emitidos para a atmosfera.
- (2) Alguns estudos parecem indicar que, pelo menos para elevados valores de produto, a relação em forma de U invertido pode dar lugar a uma relação em forma de N. O facto de estes trabalhos combinarem informação temporal com dados cross-section entre países, leva os seus autores a duvidarem desta relação na medida em que o que estariam a apanhar seriam alterações nas "margens" ambientais de cada um dos países envolvidos no estudo. Para mais pormenores, veja-se Pezzey (1989), Opshoor (1990), De Bruyn & Opshoor (1994).

tendência muito embora P e Y evoluam no mesmo sentido. A "descolagem" entre P e Y apenas se dá quando $Y = Y_M$ e onde $p_Y(Y_M) = 0$. Os gráficos da fig. 1.5 sumariam as propriedades da função que acabámos de descrever.

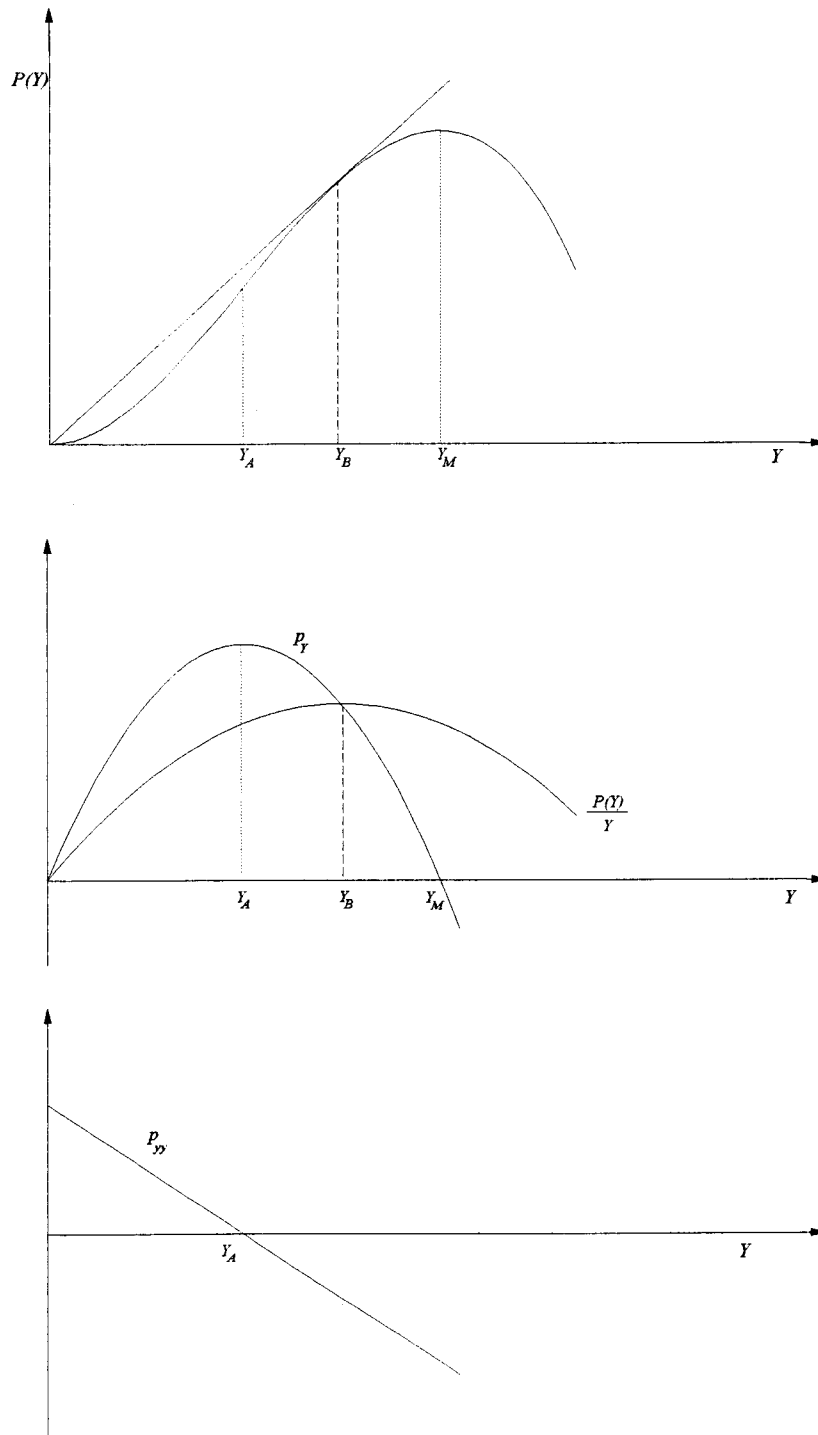


Fig. 1.5 - Função perturbação Convexo-Côncava

I.4.2 A FUNÇÃO ASSIMILAÇÃO

A inevitabilidade associada à presença dos resíduos levanta consigo um problema que sendo em primeira instância eminentemente físico, tem consequências económicas que não podem ser negligenciadas e conferem à capacidade de assimilação da natureza uma dimensão que vai muito para além da sua importância como fenómeno físico. O que acontece ao volume de matéria e energia que o sistema económico "importa" do sistema natural? Tradicionalmente, a economia nunca se preocupou em demasia com esta questão até porque, em rigor, enquanto fenómeno físico e químico, ela não lhe diz respeito. A posição de princípio consistia em acreditar que a matéria e a energia desapareciam no acto de consumo e/ou de produção e que as eventuais externalidades causadas pela poluição eram apenas ocasionais que a natureza, mais cedo ou mais tarde, se encarregaria de dissolver e assimilar. A utilização do ambiente enquanto depósito de subprodutos era entendida como podendo ser efectuada a preço zero.

A verdade é que entre o sistema económico e o sistema natural se efectuam trocas de matéria e energia caracterizadas por uma assimetria que tem penalizado directamente este último e que tudo indica acaba por afectar negativamente o próprio sistema económico. De resto, o sistema económico deve muito do seu desenvolvimento à capacidade que evidenciou para importar da natureza matéria e energia de baixa entropia. Porém os resíduos que gera são caracterizados por uma enorme degradação termodinâmica cuja exportação para o sistema natural levanta não apenas a questão da sua reintegração no esquema geral de funcionamento dos ecossistemas, mas ainda a problemática das suas consequências sobre a performance do próprio sistema económico.

Nenhum processo produtivo transforma todos os seus inputs em produtos úteis não apenas para o sistema económico como também para o sistema natural. O acto de consumo é ele próprio gerador de desperdícios cujo destino é frequentemente o ambiente. Os lixos urbanos são depositados em aterros independentemente de serem ou não objecto de tratamento; os esgotos urbanos e industriais encontram-se muitas vezes ligados directamente aos rios e aos mares sem que sejam sujeitos a qualquer tipo de tratamento prévio, etc. Em última instância, a natureza é, de facto, o depositário de todos os resíduos (tratados ou não) produzidos pela acção económica da humanidade. A 1ª lei da termodinâmica é

suficiente para nos lembrar que assim é. Nenhuma matéria ou energia pode ser criada ou destruída mas apenas transformada. Isto significa que qualquer que seja o uso dado aos recursos, elas acabarão por retornar à natureza, ainda que sob formas diferentes. Simplesmente não podem desaparecer!

É certo que o sistema económico tem desenvolvido actividades especialmente vocacionadas para a reciclagem e o tratamento deste resíduos. Mas nem todos os desperdícios produzidos pelo sistema económico são reciclados por ele e, como dissemos atrás, é duvidoso que aqueles que são sujeitos ao processo de reciclagem sejam totalmente recuperados. A verdade porém é que a maioria dos resíduos nem sequer é sujeita a reciclagem nem tem possibilidades de o ser. O Dióxido de Carbono (CO₂) o Dióxido de Enxofre (SO₂), os Clorofluorcarbonetos (CFC), o Cloro com origem nos Halons, etc, não têm possibilidades de serem reciclados. Das inúmeras componentes de um automóvel, por exemplo, só algumas delas podem ser sujeitas a reciclagem. Para outras é tecnicamente difícil efectuar o seu reaproveitamento.

Acontece, porém, que a natureza tem a capacidade para degradar e reincorporar muitos destes resíduos no esquema geral de funcionamento dos ecossistemas muito embora isso aconteça a taxas diferenciada que dependem do tipo e da concentração do poluente em causa e do meio em que eles são depositados. Para dar um exemplo rápido, a atmosfera "limpa-se" a si própria dos gases e partículas que afectam a sua composição normal. O oxidrilo funciona na atmosfera como um verdadeiro detergente que se encarrega de, por oxigenação, diluir alguns hidrocarbonetos enviados para a atmosfera em resultado da queima de combustíveis fósseis e de florestas (como por exemplo o metano e o monóxido de carbono). No entanto, o dióxido de carbono em excesso na atmosfera demora cerca de 200 anos a ser totalmente dissipado enquanto os resíduos provocados pelas centrais nucleares na produção de energia eléctrica, têm uma vida útil de milhares de anos.

Evidentemente que o sistema natural também produz os seus próprios desperdícios. Mas contrariamente ao que sucede com os resíduos produzidos pelo sistema económico, os desperdícios naturais são fácil e continuamente degradados e reintegrados no processo normal de funcionamento da natureza. Uma floresta cresce sobre o seu próprio "lixo" e, neste sentido, os seus desperdícios representam um investimento em si própria. Não é esta, porém a situação que ocorre com os resíduos gerados pelo sistema económico. Estes são caracterizados por um elevado grau de entropia de modo que ou o sistema económico desenvolve actividades produtivas especialmente vocacionadas para o seu tratamento e reciclagem ou, como sucede usualmente, "confia" essa tarefa à natureza, depositando-os directamente sem qualquer tratamento.

A questão que agora se coloca é a seguinte: Com o aumento da "escala da economia" e o correspondente incremento nos fluxos de emissão de resíduos, como reage a capacidade de assimilação da natureza⁽¹⁾ e quais as consequências para o próprio sistema económico? A resposta a esta questão não é simples já que é relativamente escasso o nosso conhecimento sobre a forma como a natureza assimila os desperdícios quer no que diz respeito à sua capacidade de suporte (e aos seus limites) quer quanto ao próprio processo de assimilação. A capacidade de assimilação varia bastante com os ecossistemas considerados, com as concentrações de desperdícios em cada momento, com o tipo de poluentes em presença e a sua combinação. Os resíduos, por seu turno, dependem não apenas dos recursos naturais que lhe deram origem, mas também do processo tecnológico a que foram submetidos. É por isso difícil qualquer modelização que considere a "capacidade de assimilação" como um todo agregado e muitos trabalhos que incluem esta função procuram analisar casos particulares e específicos onde empiricamente já foi possível estabelecer uma relação entre a presença de um determinado tipo de poluente e a sua absorção pela natureza⁽²⁾.

É neste contexto que adquire importância a *segunda lei da termodinâmica*, muito embora a sua relevância não esteja estudada em toda a sua extensão. Segundo esta lei o volume *útil* de matéria e energia num sistema fechado tem tendência para decrescer ao longo do tempo a uma taxa que depende da taxa de conversão energética. À medida que o tempo passa, a matéria e a energia num sistema fechado tendem a ser usadas de modo entrópico podendo, por isso, estar na origem da evolução do sistema para estados de máxima desordem e caos. Isto significa que a expansão da escala da economia, ao gerar um crescente volume de resíduos e detritos de elevada entropia, conduzirá à "saturação" da capacidade do ambiente em os absorver (ou, pelo menos, a sua danificação, reduzindo-se substancialmente as condições sob as quais a produção é viável), transformando aquilo que pode ser classificado um recurso renovável num recurso não-renovável e, levado à suas últimas consequências, é a própria viabilidade do sistema económico que estará em causa. Como afirma Pearce, D. (1990),

"The assimilative capacity of the environment is thus a resource which is finite. So long as we keep within its bounds, the environment will assimilate waste and essentially return the waste to the economic system".⁽³⁾

-
- (1) No exemplo anterior sobre as propriedades do oxidrilo, sabe-se que este "detergente" actua primeiro sobre o monóxido de carbono e só depois sobre o metano. Em resultado da crescente concentração de monóxido de carbono na atmosfera, o oxidrilo acaba por se esgotar rapidamente ficando conseqüentemente o metano sem qualquer agente capaz de diluir.
- (2) Cesar & Zeeuw (1994), avançam com uma função de assimilação linear para a atmosfera dos gases que provocam o efeito de estufa (GHG's) onde o coeficiente de absorção é de 0,005 que corresponde ao inverso do tempo de vida útil desses gases na atmosfera, calculada em cerca de 200 anos.
- (3) Pearce & Turner (1990) pág. 39

Se isso não suceder, a entropia gerada no sistema económico funciona como uma verdadeira restrição física ao seu desenvolvimento.

O quadro global que acabámos de descrever pode ainda ser mais pessimista quando tomamos em consideração um outro corolário da segunda lei da termodinâmica. Qualquer processamento de matéria e energia necessita de um volume de inputs energéticos superior aquele que consegue gerar como output. Isto é, qualquer processamento, biológico ou industrial, não consegue ser 100% eficiente. Mesmo que o sistema económico se transformasse no sentido de reciclar e tratar *todos* os resíduos por si produzidos, nunca poderia prescindir da capacidade da natureza em degradar e assimilar os desperdícios. E esta, pela mesma razão, não seria capaz de efectuar essa tarefa integralmente, pelo menos num horizonte temporal relevante para a escala humana. A caminhada para a desagregação, desordem e caos (termodinâmica) seria inevitável e apenas uma questão de tempo.

A verdade porém é que a terra não é um sistema fechado do ponto de vista energético. Enquanto a energia solar chegar à sua superfície, a disponibilidade de energia útil não é um problema e nenhuma restrição absoluta do ponto de vista termodinâmico existe ao processo de expansão económica. Por outro lado, enquanto for possível manter um fluxo de emissão de resíduos abaixo da capacidade da natureza em os absorver, o sistema económico continuará a dispor de condições produtivas favoráveis à sua expansão. É este o sentido que damos à relevância económica da capacidade de assimilação da natureza. A fig. I.6 mostra o que temos vindo a dizer e alarga o esquema anterior de modo a incluir a capacidade de absorção do ambiente.

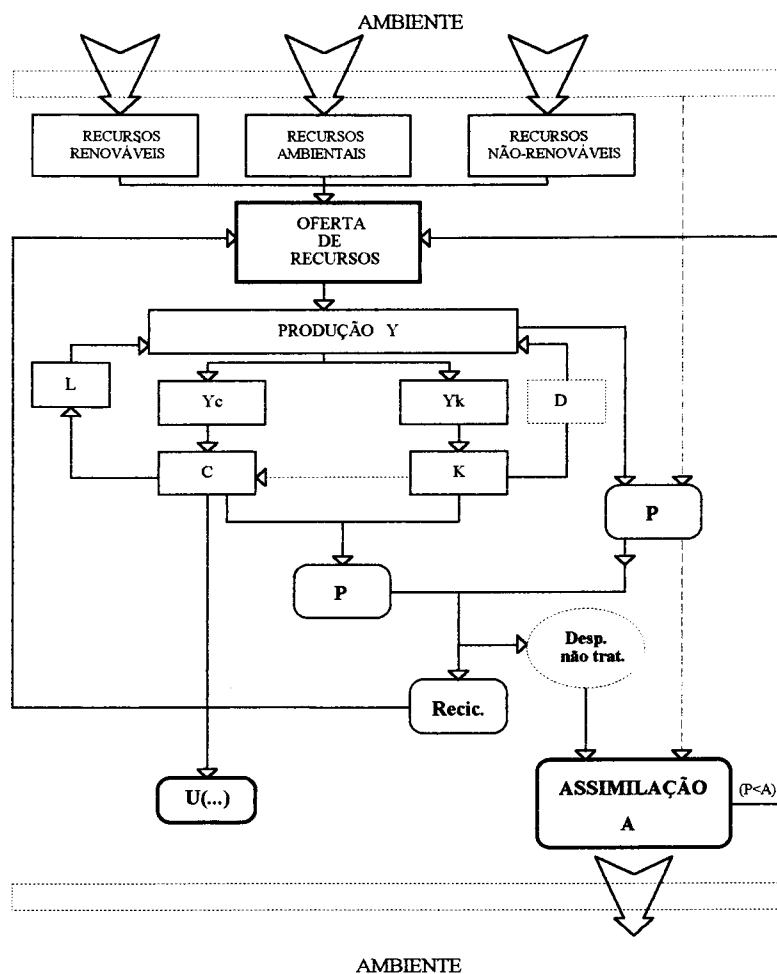


Fig. I.6 - Capacidade de Assimilação da natureza

Onde *Recic.* indica a actividade de reciclagem, *P* os desperdícios (ou poluição), (*Desp. não tra.*) indica os desperdícios não tratados, *a* a assimilação, e todas as outras variáveis adquirem os significados que tinham nos esquemas anteriores.

Já dissemos anteriormente que não é fácil modelizar o comportamento assimilativo da natureza. A forma mais simples de o fazer consiste em incluí-la no processo regenerativo próprio dos activos ambientais. Afinal de contas a absorção de desperdícios consiste na sua progressiva diluição e reintegração no normal funcionamento da natureza, cujo resultado prático se traduz na renovação (ou, de modo mais específico, no aumento) do stock de activos ambientais. A *Capacidade de Regeneração da Natureza* (por vezes também denominada *Função de Produção da Natureza*) combina ao padrão de comportamento dinâmico atribuído aos Recursos Renováveis e dos Recursos Semi-Renováveis (ou Ambientais) descritos no início desta secção mas em que se assume como hipótese mais geral a

dependência da evolução do stock daqueles dois tipos de recursos face ao stock global de activos ambientais. A multifuncionalidade característica dos activos ambientais, ajuda a justificar esta opção. Formalmente:

$$[I.3] \quad \dot{A}(t) = \dot{R}(t) + \dot{S}(t) = r[A(t)] + s[A(t)] = N[A(t)]$$

Deste modo, duas hipóteses são possíveis acerca da Função de Produção Natural:

HIPÓTESE A.1 (Função de Regeneração da Natureza: caso Linear): Seja $A(t) \in \mathfrak{R}_+$. A função de Assimilação da Natureza $N[A(t)]$ é uma aplicação $[A(t)] \mapsto N[A(t)]$, com $N[A(t)] : \mathfrak{R}_+ \Rightarrow \mathfrak{R}_+$, com as seguintes propriedades:

i. É C

$$ii. \quad \frac{\partial N[A(t)]}{\partial A(t)} = N_A > 0 \in]0, \infty[$$

$$iii. \quad \frac{\partial^2 N[A(t)]}{\partial A(t)^2} = N_{AA} = 0$$

Evidentemente que se trata de uma simplificação assumir uma relação linear. O stock de activos ambientais não pode crescer indefinidamente. Por influência das leis da termodinâmica, sobretudo a lei da entropia, e sendo fixo o volume de energia solar que chega à terra, a capacidade regenerativa do stock de activos ambientais está sujeita à lei dos rendimentos decrescentes. Por isso, é mais razoável e, porventura, realista assumir uma dinâmica para $A(t)$ muito semelhante à encontrada para os recursos renováveis e semi-renováveis. Para níveis muito longe da Capacidade Máxima de Suporte do Ambiente, $\bar{A}^{(1)}$, a capacidade de regeneração é elevada e cresce, certamente, à medida que $A(t)$ se eleva, mas essa evolução não é permanente nem constante. A "produtividade" marginal da natureza é positiva mas diminui à medida que $A(t)$ se expande tornando-se mesmo negativa quando $A(t)$

(1) \bar{A} pode ainda ser interpretado como o valor máximo do stock de activos ambientais que pode ser obtido e mantido intacto quando os processos naturais não são perturbados e, por isso, entregues a si mesmos.

ultrapassa um determinado nível A_M . A partir deste nível, o ritmo de evolução de $A(t)$ diminui até se anular completamente ao nível da capacidade máxima de suporte.

A aptidão da natureza em absorver os desperdícios segue um padrão semelhante. O crescimento do stock global de activos ambientais aumenta o potencial assimilador de $A(t)$. Porém, à medida que o sistema se aproxima da capacidade máxima de suporte, o potencial regenerativo é usado no rejuvenescimento de $A(t)$ e só uma pequena parcela estará disponível para a tarefa de assimilação.

Finalmente, a Função de produção natural revela ainda uma particularidade que raramente surge referida (e mesmo usada) nos modelos, sobretudo naqueles usados na economia. Frequentemente se assume que o stock de activos ambientais inicia a tendência para o seu crescimento logo que exista uma unidade destes activos. Em termos gráficos, $dA(t)/dt$ inicia a sua "caminhada" no espaço $[dA(t)/dt, A(t)]$ logo na origem (vide gráfico da pág. 37). Acontece porém que esta é uma hipótese irrealista. Muitas vezes a natureza é incapaz de repor um determinado nível de activos naturais se o seu stock (seja ele a população ou a biomassa) estiver abaixo de um dado Nível Crítico Mínimo, A_m . Do ponto de vista das interações entre a economia e o ambiente, o stock mínimo da activos ambientais representa o valor do stock de activos naturais necessário para garantir um padrão mínimo de subsistência e viabilidade do sistema económico. Quando o stock de activos ambientais desce abaixo desse nível crítico mínimo, não só a natureza é incapaz de repor o stock que perde como ainda torna inviável qualquer padrão de subsistência nessas condições.

Formalmente, $\dot{A}(t) \geq 0$ sse $A(t) \geq A_m$. Caso contrário, o stock de activos ambientais tende a diminuir até ser totalmente extinto.

HIPÓTESE A.2 (Função de Produção da Natureza: Caso Não-Linear): Sejam $A(t) \in \mathfrak{R}_+$. A função de Regeneração da Natureza $N[A(t)]$ é uma aplicação $[A(t)] \mapsto N[A(t)]$, com $N[A(t)] : \mathfrak{R}_+ \Rightarrow \mathfrak{R}_+$, com as seguintes propriedades:

- i. $\text{é } C^2$
- ii. $\exists A_m > 0$ e $\exists \bar{A} > 0$, com $A_m < \bar{A} : N(A_m) = N(\bar{A}) = 0$. Para $A_m < A < \bar{A} \Rightarrow N[A(t)] > 0$
- iii. $\exists A_M > 0$ com $A_m < A_M < \bar{A}$:

$$A > A_m \text{ e } A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A_M \Rightarrow \frac{\partial N[A(t)]}{\partial A(t)} = N_A \begin{cases} > \\ = \\ > \end{cases} 0$$

$$\text{iv. } \frac{\partial^2 N[A(t)]}{\partial A(t)^2} = N_{AA} < 0, \forall A: A_m < A < \bar{A}$$

Estas propriedades estão sumariadas na fig. I.7.

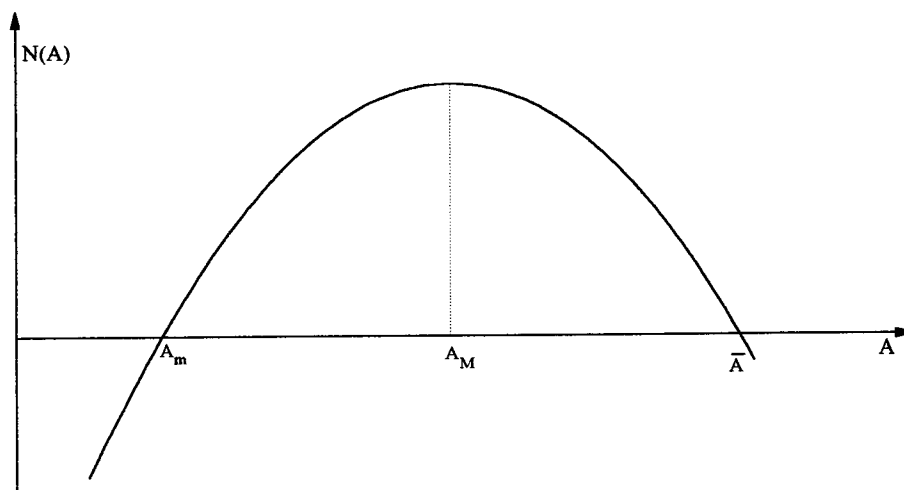


Fig. I.7 - Função de Produção Natural

I.4.3 - A FUNÇÃO "FORNECIMENTO DE BEM-ESTAR"

Stuart Mill foi, talvez, o primeiro "economista" a reconhecer que os activos ambientais (no caso concreto tratava-se da terra) não são apenas importantes e valorizáveis pelos produtos que deles se

podem obter ou pela sua fertilidade mas também porque proporcionam Bem-Estar sob a forma de lazer, tranquilidade, beleza, etc. É a multifuncionalidade típica aos activos ambientais que explica a razão pela qual a madeira extraída de uma floresta não é a única fonte que a torna importante e valorizável pela sociedade. Factores como a capacidade que revela para, através da fotossíntese, absorver o Dióxido de Carbono produzido na sequência da queima de combustíveis fósseis e a sua subsequente transformação em novas árvores e plantas, os avanços no conhecimento que permite por via do potencial de informação genética que encerra, o seu contributo para a estabilidade das condições gerais de apoio e suporte à vida sobre a terra (nomeadamente na tarefa de protecção face às radiações vindas do espaço exterior), etc, são também relevantes e todos eles concorrem para a criação de condições favoráveis ao Bem-Estar dos indivíduos.

Este *efeito Bem-Estar* que estamos aqui a considerar, exerce-se, porém, de forma directa, sem qualquer intermediação do bloco da produção. Ou seja, os fluxos envolvidos com esta função, não derivam directamente do potencial produtivo dos activos ambientais. Estes são aqui entendidos como a "sala de estar" da humanidade, o seu habitat natural de cujo Bem-Estar o homem depende e é justamente por esta razão que os activos ambientais são eles próprios portadores de um potencial de benefícios directos nos quais se incluem os valores estéticos, recreativos, científicos, etc.

Contrariamente às funções anteriores onde o fundamental das interações entre o sistema económico e o sistema natural é caracterizado por trocas de matéria e energia, as permutas envolvidas nesta função, são essencialmente constituídas por "serviços", apesar de muitas vezes terem origem (e consequências) físicas e químicas. A reacção a um "ambiente" poluído é frequentemente uma reacção emotiva não obstante poder ter origem na presença física do(s) agente(s) poluidor(es) e deles poderem resultar também consequências físicas - sobre a saúde, por exemplo. Do mesmo modo, é "agradável" um passeio ou um almoço perto de um lago ou de uma montanha, ou a visita a um parque natural.

Tal como no caso da capacidade de assimilação, esta função tem por base uma enorme e complexa teia de relações entre ecossistemas, populações, espécies, etc. e está crucialmente dependente daquilo a que se convencionou chamar de *qualidade ambiental* que, por seu turno está directamente dependente do stock de activos ambientais. Os aumentos na qualidade ambiental só são possíveis por via do processo natural de regeneração, ou seja, pela reprodução de recursos de baixa entropia⁽¹⁾. Os impactos ambientais negativos causados pela actividade económica têm como consequência a redução daquela qualidade ambiental que por seu turno provocam efeitos negativos sobre a utilidade e bem estar das populações.

(1) Por esse motivo usaremos frequentemente o termo "qualidade ambiental" como sinónimo de "stock de activos ambientais".

O esquema da fig. I.8 completa o nosso quadro das interações entre a economia e o ambiente.

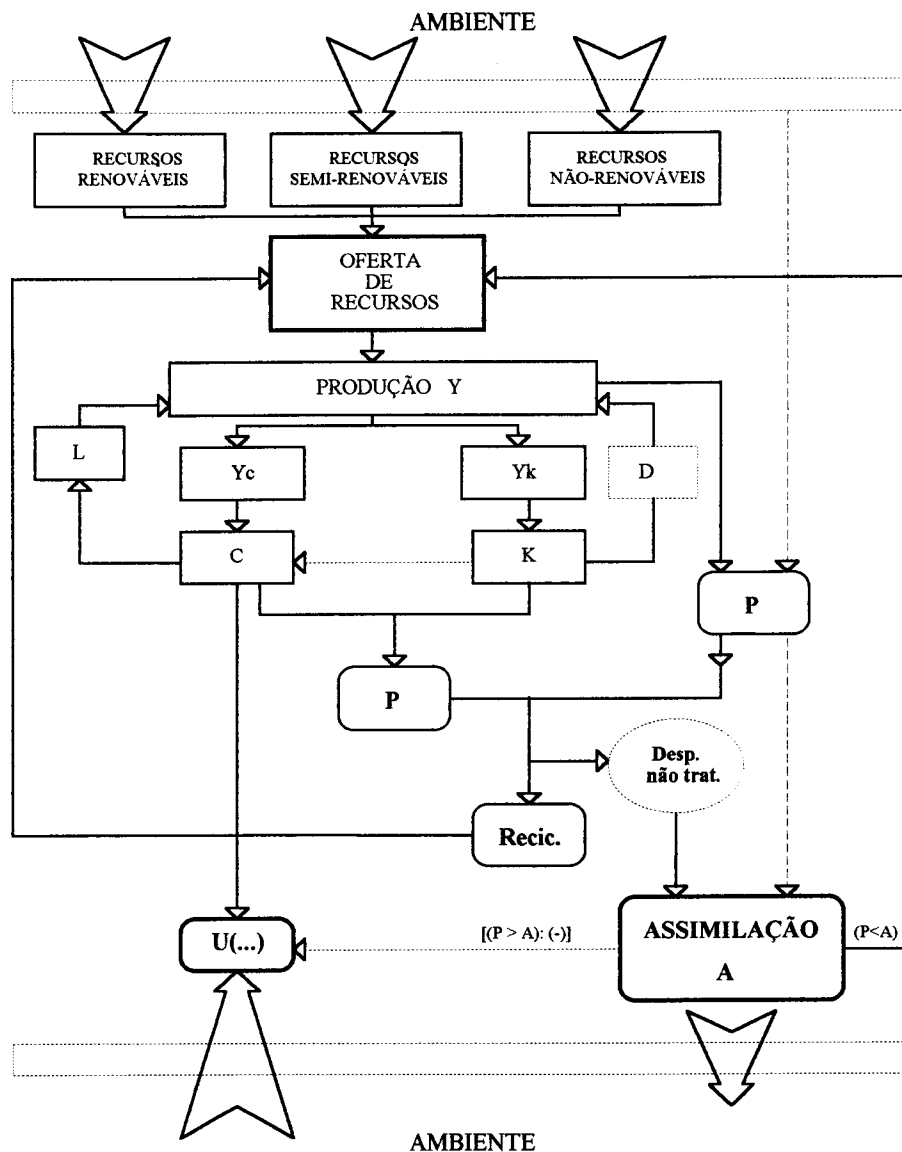


Fig. I.8 - Quadro completo das interações entre a economia e o ambiente

Do ponto de vista formal, o efeito Bem-Estar que estamos a considerar pode ser facilmente incorporado na análise económica por via da inclusão do stock de activos ambientais $A(t)$ na Função Utilidade conjuntamente com as tradicionais despesas de consumo em bens finais $C(t)$: $U=U[C(t),A(t)]$. Esquemáticamente:

HIPÓTESE U.1 (Função de Bem-Estar Social): Sejam $C(t)$ e $A(t)$, $\in \mathfrak{R}_+$. A função de Bem-Estar Social $U[C(t), A(t)]$ é uma aplicação $[C(t), A(t)] \mapsto U[C(t), A(t)]$, com $U[C(t), A(t)] : \mathfrak{R}_+^2 \Rightarrow \mathfrak{R}_+$, com as seguintes propriedades:

- i. U é C^2
- ii. $U(\cdot) > 0 \quad \forall C, A > 0$
- iii. $\lim_{i \rightarrow 0} U(\cdot) = 0$, com $i = C, A$, quando pelo menos um dos seus argumentos é nulo
- iv. $\lim_{i \rightarrow \infty} U(\cdot) = \infty$, com $i = C, A$, ou seja, a função não é limitada superiormente.
- v. $\frac{\partial U(\cdot)}{\partial i} U_i > 0 \in]0, \infty[: \lim_{i \rightarrow 0} U_i(\cdot) = +\infty$ e $\lim_{i \rightarrow +\infty} U_i(\cdot) = 0$ com $i = C, A$.
- vi. $\frac{\partial^2 U(\cdot)}{\partial i^2} = U_{ii}(\cdot) \in (-\infty, 0]$
- vii. $\frac{\partial^2 U(\cdot)}{\partial i \partial j} = U_{ij}(\cdot) \in [0, +\infty)$ com $i, j = C, A$ e $i \neq j$
- viii. $U_{CC}U_{AA} - [U_{CA}]^2 > 0$

Ou seja, a Função Utilidade é contínua e crescentes para todos os valores positivos de C e A , duplamente diferenciável e côncava em ambos os argumentos. No que a A diz respeito, e usando a terminologia de Rawls (1974), o stock de activos ambientais (tal como C) é um "Bem Primário", um bem que os indivíduos preferem ter mais do que menos. A condição v. traduz a hipótese de que os benefícios líquidos provenientes do consumo corrente de bens ordinários e dos activos ambientais são positivos muito embora decresçam à medida que se atingem níveis de consumo desses bens mais elevados (condição vi.). Viver numa zona residencial arborizada é sem dúvida agradável e mais atractivo do que viver no meio de um emaranhado de prédios urbanos impessoais. No entanto, é difícil imaginar que no quadro valorativo da sociedade ocidental se retira o máximo benefício (ou Bem Estar) quando se vive em plena selva tropical rodeado do mais puro e rico dos activos ambientais de que é possível dispôr.

vii. tipifica a possibilidade do nível de activos ambientais influenciarem os benefícios líquidos decorrentes do consumo actual de bens comuns. É fácil encontrar exemplos de como melhorias na qualidade ambiental contribuem para valorizar o consumo de bens ordinários. Um almoço num parque natural, junto a um rio ou no sopé de uma montanha é certamente mais valorizável do que se ele decorrer num ambiente poluído⁽¹⁾.

(1) Muito embora a hipótese considerada neste momento estabeleça que $U_{CA} > 0$, a concavidade de $U[\cdot]$ não restringe o sinal desta derivada cruzada. De resto, é possível encontrar exemplos de como a relação entre os benefícios associados a certos tipos de consumo e a estrutura ambiental em que ele tem lugar pode ser negativa ou não existir de todo. Do ponto de vista

Finalmente, a condição *viii.* não apenas assegura a concavidade de $U[.]$, como ainda significa que o impacto marginal do ambiente sobre o Bem-Estar aumenta à medida que o stock de activos ambientais cresce.

Assumindo que é possível atribuir um valor económico aos activos ambientais (ou seja, os consumidores revelam *disponibilidade em pagar* para poderem dispor de uma unidade adicional de A) uma função com as características descritas anteriormente pressupõe a existência de um trade-off entre o consumo de bens ordinários e a disponibilidade de activos ambientais. A concavidade da função utilidade em ambos os argumentos, reflecte o postulado tradicional de preferência convexas⁽²⁾ e, conseqüentemente, Taxas Marginais de Substituição decrescentes entre os dois argumentos. Dito de outro modo, quanto maior for o nível de consumo de bens ordinários, maior será a disponibilidade da sociedade para aceitar prescindir de $C(t)$ por forma a poder dispôr de unidades adicionais de activos ambientais e manter o nível de Bem-Estar intacto. Inversamente, uma sociedade com baixos níveis de consumo, revelará maior dificuldade em reduzir o seu consumo de bens ordinários para poder assistir um aumento nas suas dotações ambientais e permanecer no mesmo nível de utilidade. Estas considerações encontram-se sumariadas na fig. I.9 na qual estão representadas algumas das várias curvas que constituem a família da curvas de indiferença que é possível deduzir a partir da função utilidade tal como foi definida na *Hipótese U1*.

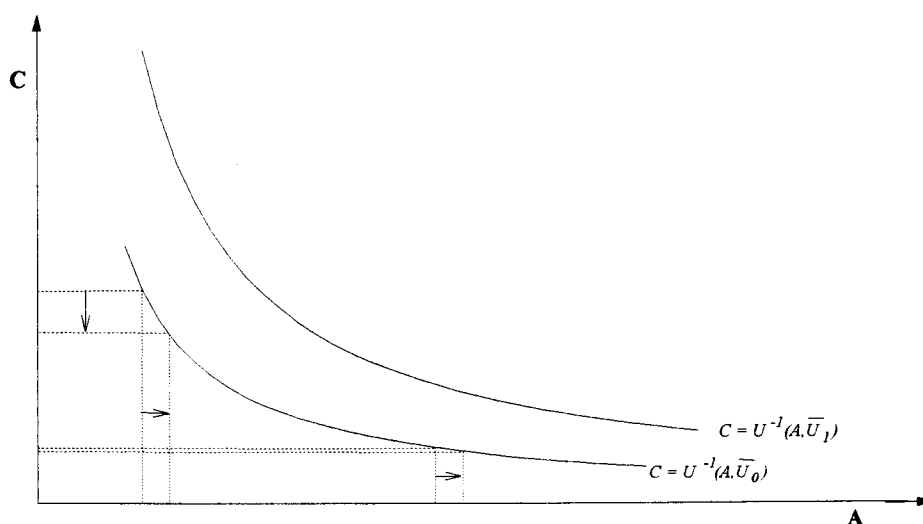


Fig. I.9 - Curvas de Indiferença no espaço (C,A)

teórico não existe nenhuma razão para restringir o sinal de U_{CA} e qualquer formulação que pretenda tomar em consideração esta dependência não o deve fazer à priori.

- (2) Para dois pontos situados na mesma Curva de Indiferença, (C_1, A_1) e (C_2, A_2) de tal modo que $U(C_1, A_1) = U(C_2, A_2)$, a convexidade das preferências (e, obviamente, a sua monotonicidade) implica que:

$$U\{\alpha C_1 + (1 - \alpha)A_1, [\alpha C_2 + (1 - \alpha)A_2]\} \succ U(C_1, A_1) \text{ para } \forall \alpha : 0 < \alpha < 1.$$

Em resumo, uma sociedade que desfrute de um elevado padrão de consumo de bens ordinários, coloca maior valor relativo nos activos ambientais no sentido em que aceita prescindir de maiores unidades de C para poder ver incrementado o padrão de qualidade ambiental em que está instalada. A questão interessante que se levanta neste momento e que será objecto de tratamento específico nos capítulos seguintes, é saber até que ponto é possível compatibilizar esta disponibilidade em efectuar as trocas entre C e A e a "disponibilidade" (ou capacidade) da natureza em operar e viabilizar essa substituição tanto mais que a capacidade da natureza em o fazer pode ser influenciada pelo uso que o sistema económico dela faz.

O segundo aspecto suscitado por esta formulação e que, de resto, já havia sido salientado aquando da inclusão do stock de activos ambientais na função de produção, diz respeito à problemática da valoração económica destes activos.

A teoria económica consagra o princípio da "disponibilidade em pagar" como elemento base para a valoração económica de um bem. O seu ponto de partida consiste na "utilidade" que os indivíduos retiram do uso efectivo de um bem ou serviço, quando comparada com a mesma magnitude obtida a partir de outro bem (ou cabaz de bens). Em certa medida, o valor económico é basicamente um *valor de uso*.

É assim que, pelo menos do ponto de vista teórico, é possível derivar as respectivas "curvas de procura" (Marshallianas ou Hicksianas) que traduzem a disponibilidade revelada pelos consumidores em pagar para possuir uma unidade adicional do bem (ou cabaz) em questão. Com os bens e serviços ambientais, o princípio teórico é idêntico mas enfrenta duas dificuldades práticas. De um lado a já referida inexistência de um mecanismo de mercado onde as preferências se revelem e onde seja possível deduzir a respectiva disponibilidade em pagar pelo seu consumo⁽¹⁾. Em segundo lugar, a multifuncionalidade típica dos activos ambientais que, ainda assim, viabiliza uma abordagem na óptica da análise "Custo-Benefício", não nos termos em que o "Clube de Roma" o faz, mas tendo como referência as múltiplas funções do ambiente, algumas das quais incompatíveis entre si. Retomando de novo o exemplo da floresta, é fácil perceber como as suas funções na regulação climática, a sua influência determinante no estabelecimento de microclimas, na retenção de água no solo evitando, com isso, a erosão, etc podem ser afectadas pela desflorestação resultante do seu uso enquanto fonte de

(1) Evidentemente que a circunstância de se tratar, na maioria dos casos, de bens livres (não-rivais), de cujo uso dificilmente alguém pode ser excluído, torna o princípio da *Disponibilidade em Pagar* inadequado. Ninguém deseja pagar algo que existe disponível em regime de "common property" e "acesso livre". É, por isso, duvidoso que perante estes regimes seja possível captar verdadeiramente as preferências por via das transacções que eventualmente ocorram ou mesmo que o mecanismo de ajustamento dos preços seja eficiente.

madeira. É evidente que quando a estas funções não são atribuídos um "preço", existe pouco incentivo para a sua preservação ou para o desenvolvimento de tecnologias que "economizem" o seu uso.

Apesar destas dificuldades, existem algumas metodologias que partindo das preferências reveladas pelos indivíduos e atendendo à especificidade característica dos bens e serviços ambientais, permitem a obtenção do valor monetário atribuível a cada unidade do bem ou serviço ambiental em concreto.

Uma das metodologias frequentemente usada para deduzir o valor económico dos activos ambientais parte do pressuposto de que o seu uso é necessário como input na "*função de produção das famílias*". Estão neste caso, a água para consumo doméstico, a madeira para produção de energia, os locais de lazer e recreação. etc. Perante a ausência de um mercado, a dedução do seu valor económico é feito a partir do estudo do comportamento do consumidor perante a existência ou não de complementares ou substitutos do activo em causa e para os quais existe um mercado definido.

Os custos de transporte incorridos para o seu consumo (a existência de uma complementaridade, ainda que fraca) e na medida em que estes são necessários para o consumo dos activos em questão, são usados para deduzir (inferir) a disponibilidade em pagar por parte dos consumidores. As "despesas defensivas" incorridas pelos consumidores na instalação de equipamentos (inputs defensivos) que evitem a poluição sonora, que purifiquem a água, na compra de água engarrafada para evitar consumir água da rede pública, porventura de baixa qualidade, a instalação de equipamentos para aproveitamento da energia solar ou eólica, etc, são também usados como meio indirecto de obtenção do valor monetário de um dado activo ambiental ou de atributos que lhe estão associados.

Porém esta metodologia das "Funções de Produção das famílias" apenas capta o "*valor de uso*" atribuível ao recurso ambiental. Alguns bens e serviços ambientais são eles mesmos uma qualidade associada aos bens económicos tradicionais (nomeadamente no que diz respeito à propriedade real) e cuja presença é susceptível de afectar os seus preços de mercado. Dito de outro modo, mesmo considerando que alguns bens económicos tradicionais são homogéneos no que toca às suas características físicas, eles são heterogéneos no que diz respeito aos atributos ambientais a eles associados. É o caso, por exemplo, das habitações, da propriedade rural, etc cujo preço de mercado é suposto reflectir esta diferencialidade conferida pela presença dos activos ambientais. Por exemplo, o preço das habitações tem em consideração o nº de divisões, os materiais usados, a área construída, etc. Mas não são raras as vezes em que as acessibilidades, a arquitectura, o "gosto" na escolha e combinação dos materiais (cor, formato, design, etc), localização, proximidade ou não de zonas verdes, a densidade populacional, enfim, uma multiplicidade de atributos ambientais influencia o seu preço final. O *Hedonic Price Method*, procura desta forma deduzir o valor dos activos ambientais e dos seus

atributos em face da diferença de preço das habitações⁽¹⁾ que tendem a ser mais elevados nas zonas mais cuidadas do ponto de vista ambiental do que em zonas com índices de maior degradação ambiental e urbanística.

De novo, o princípio consiste em deduzir o valor atribuível ao activo ambiental a partir das transacções de bens económico tradicionais, a cujo consumo está associado um determinado atributo ambiental que os indivíduos valorizam. Pelo contrário, o método da *Avaliação Contingente*, procura obter a mesma informação mas de forma directa, sem necessitar de recorrer às despesas efectuadas com bens substitutos ou complementares. De entre as várias técnicas usadas, a mais difundida consiste no inquérito directo onde os indivíduos são convidados a manifestarem as suas preferências numa tentativa de revelarem a sua "disponibilidade em pagar" pela preservação ou consumo de um determinado activo ambiental, ou a "disponibilidade para aceitarem serem compensados" para prescindirem do bem ou serviço ambiental.

Embora se lhe apontem críticas, sobretudo no que diz respeito à realização do inquérito⁽²⁾ e aos problemas de enviezamento sempre presentes nestas metodologias, a Avaliação Contingente permite a obtenção de um preço posteriormente usado na avaliação monetária do activo ambiental, independentemente do inquirido ter ou não contacto directo, físico, presencial com ele. Contrariamente ao que sucede nos casos anteriores, as preferências que esta metodologia capta não estão relacionadas com o uso que os indivíduos fazem (ou podem vir a fazer) do activo em questão. A base para a valoração é muitas vezes a sua própria existência, uma espécie de *valor intrínseco* (ou *valor de existência*), independente da presença do sujeito avaliador mas que este é capaz de apreender a partir do seu quadro valorativo e da sua noção de Bem-Estar. O valor do "objecto" é uma qualidade nata mas cuja presença é reconhecida e por um avaliador externo mesmo que dele não faça uso. A selva amazónica, uma paisagem, um lago, a fauna ou a flora de uma determinada região, por exemplo, têm um valor intrínseco na medida em que o avaliador considera a sua existência importante para o seu bem estar, mesmo que não os use nem com eles tenha qualquer contacto presencial⁽³⁾.

Por outro lado, as preferências captadas pelo método da avaliação contingente, podem ser também motivadas pela necessidade que os indivíduos sentem em garantir e assegurar a disponibilidade futura dos activos ambientais quer para benefício dos seus descendentes directos quer dos futuros membros

(1) Contrariamente à abordagem anterior onde a análise é feita a partir das quantidades consumidas, aqui o elemento central são os preços da qualidade ambiental que surgem como função do nível de qualidade ambiental.

(2) Algumas das dificuldades do método estão relacionadas com o facto de que as respostas são frequentemente "intenções" manifestadas a partir de situações hipotéticas e especialmente construídas para o efeito (por exemplo, a simulação de um mercado).

(3) Na sua versão mais rígida, o "valor intrínseco" dos activos ambientais é mesmo independente do próprio sujeito avaliador

da sociedade em geral. Em certo sentido, trata-se de *valorizar a opção* do seu uso futuro que encontra fundamentos não apenas na multifuncionalidade já referida dos activos ambientais como ainda no seu carácter *singular* (beleza, valor científico e educacional) na *incerteza* quanto à sua disponibilidade futura e ao próprio funcionamento dos processos naturais⁽¹⁾ e, finalmente, na *irreversibilidade* inerente a muitas das perdas a que são sujeitos.

Existe um enorme e profundo debate filosófico em torno dos motivos pelos quais os indivíduos valorizam os activos ambientais⁽²⁾ e no modo como a sociedade deve procurar corrigir a "miopia" individual que se supõe caracterizar essa avaliação e que, de resto, desejamos evitar. Todavia as observações que fizemos nos parágrafos anteriores levantam uma questão importante que não gostaríamos de deixar passar em claro sem efectuar algumas observações rápidas, tanto mais que a elas voltaremos no capítulo seguinte.

Em princípio o valor do stock de activos ambientais corresponderá ao valor actual do fluxo de benefícios (líquidos) que deles é possível obter ao longo do tempo em consequência do uso que as sucessivas gerações dele fazem. A questão que se levanta é a seguinte: que valores devem ser usados para se obter uma medida desses benefícios? Por exemplo, deve a distribuição de rendimentos dentro de cada geração ser usada como ponderador na atribuição do valor de $A(t)$ ou o critério deve ser mais igualitário? Ou, dando outro exemplo, quais as preferências que devem ser tomadas em linha de conta: as da geração actual ou as das gerações futuras. Neste caso, como conhecer antecipadamente essas preferências e que horizonte temporal escolher?. A dificuldade que se levanta reside no facto de que as respostas a estas questões, quaisquer que elas sejam, implicam julgamentos de valor sobre a distribuição dos activos ambientais e do seus benefícios entre gerações e sobre o modo como cada uma avalia a contribuição daqueles para o seu bem estar.

Por outro lado, é inegável que a assimetria temporal que caracteriza as relações entre gerações em momentos diferentes no tempo e o facto de, contrariamente ao que sucede com o stock de capital económico $K(t)$, os activos ambientais estarem sujeitos a perdas irreversíveis, coloca claramente a sua utilização e valoração no âmbito da equidade intergeracional, à luz da qual a sustentabilidade adquire o seu sentido mais profundo.

(1) A preservação dos activos ambientais à luz da incerteza é também justificada pela necessidade de "ganhar tempo" para que o conhecimento avance e permita obter informação adicional sobre não apenas o próprio funcionamento da natureza como ainda dos usos possíveis que essas activos possam vir a ter. Levada ao extremo, esta aversão ao risco explicaria as posições mais fundamentalistas de protecção ambiental.

(2) É necessário ter consciência que nem todos os activos ambientais são importantes para os indivíduos nem valiosos de igual modo para todos eles.

Capítulo II

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

II.1 - CONCEITOS BÁSICOS

O tema da "Sustentabilidade" é um assunto dominante na discussão contemporânea sobre a gestão ambiental e dos recursos naturais assim como do próprio Desenvolvimento. De resto, Desenvolvimento Sustentável (DS) é um conceito que tem prendido as atenções da comunidade académica, de políticos e do público em geral. A sua inclusão no conjunto de objectivos de carácter nacional por algumas dezenas de países espelha bem a importância que hoje se lhe atribui. A já célebre "Agenda 21" aprovada na Conferência do Rio em Junho de 1992, é ela própria um exemplo significativo dessa relevância, apontando-o como objectivo comum a todos os estados:

"...In order to meet the challenges of environment and development, States decided to establish a new goal partnership. This partnership commits all States to engage in a continuous and constructive dialogue, inspired by the need to achieve a more efficient and equitable world economy, keeping in view the increasing interdependence of the community of nations and that sustainable development should become a priority item on the agenda of the international community"⁽¹⁾

(1) United Nations Conference on Environment and Development, parágrafo 2.1 (ênfase nossa).

Todavia a noção de sustentabilidade não se encontra claramente definida e é muitas vezes interpretada de diferentes modos por economistas, filósofos, ecologistas, sociólogos, etc. Mesmo entre economistas, existem numerosas definições e interpretações derivadas, essencialmente, das diferentes perspectivas com que a abordagem ao tema é feita⁽¹⁾. Não obstante, o nosso propósito neste capítulo consiste em identificar aquilo que do ponto de vista da ciência económica são os principais vectores caracterizadores do conceito de sustentabilidade.

Antes porém, convirá esclarecer o sentido que iremos atribuir ao termo *Desenvolvimento* uma vez que ele será usado frequentemente ao longo deste capítulo com a qualificação de *Sustentável*. O *Desenvolvimento* que temos em mente restringe-se ao *Desenvolvimento Económico* ou, seja, as transformações que o sistema económico deve registar de modo a que a economia possa desempenhar a sua tarefa na *promoção do bem estar das populações*⁽²⁾. Qualquer que seja o indicador⁽³⁾ usado na avaliação e monitorização do Bem-Estar, o objectivo prioritário do desenvolvimento consiste na satisfação das necessidades humanas e à economia compete-lhe contribuir para aquele objectivo.

Sustentar algo significa fazê-lo durar durante bastante tempo, pressupondo, por isso, a verificação permanente das condições necessárias para que um determinado fenómeno tenha lugar e perdure no tempo. Esta natureza geral do termo faz com que ele seja usado em diferentes contextos, podendo, por isso, dizer respeito a coisas distintas. "Sustentável" pode referir-se à base social, económica, cultural, natural etc de um processo de desenvolvimento ou crescimento sendo, por isso, evidente a necessidade de clarificar o contexto e o sentido que lhe daremos.

Para nós, a *sustentabilidade* refere-se à componente económica do desenvolvimento e tem em mente o desejo de *assegurar a satisfação das necessidades humanas num contexto de crescente pressão sobre os activos ambientais e sobre a sua capacidade em fornecer os múltiplos serviços e de desempenhar as múltiplas funções que analisámos no capítulo anterior* (disponibilidades dos recursos, a manutenção do potencial regenerativo e assimilativo dos diferentes ecossistemas, a manutenção dos sistemas naturais de suporte à vida, a conservação e diversidade das espécies, a integridade geral dos

(1) Em Anexo são apresentadas algumas das definições que é possível encontrar na literatura sobre Desenvolvimento Sustentável.

(2) Tal como o conteúdo mais amplo do Desenvolvimento, também a noção de Bem-Estar é, necessariamente, um conceito valorativo de natureza multidimensional e pluridisciplinar.

(3) Uma definição mais restrita de Desenvolvimento Económico identifica-o com os tradicionais indicadores do PIB per capita ou Consumo per capita e neste sentido ele é por vezes usado como sinónimo de Crescimento Económico. Interpretações mais latas conduzem à consideração de objectivos sociais e, nesta perspectiva, é comum identificá-lo com um vector de objectivos socialmente escolhidos - como o rendimento per capita, o consumo per capita, os níveis de educação, os cuidados de saúde etc.- e que a sociedade que deseja maximizar ao longo do tempo. Os problemas que esta metodologia coloca conduz frequentemente à sua substituição por um indicador sintético como por exemplo o Índice de Desenvolvimento Humano sugerido pelas Nações Unidas.

ecossistemas, o fornecimento directo de Bem-Estar, etc). É pois o nível de bem estar das populações (presentes e vindouras) que está no centro do conceito de sustentabilidade para a economia mas em que a contribuição da natureza para a realização do potencial humano ocupa um lugar proeminente. Afinal de contas, "ambiente" significa o lugar onde vivemos e "desenvolvimento" tudo o que fazemos para melhorar a vida nesse lugar. Desenvolvimento e ambiente são, pois, inseparáveis.

Deste modo, *o desenvolvimento é sustentável quando o nível de Bem-Estar de uma sociedade regista uma trajectória temporal pelo menos não decrescente*, qualquer que seja o indicador usado para aferir o Bem-Estar. Neste sentido, o desenvolvimento sustentável é mais um princípio de equidade intertemporal entre gerações do que apenas um princípio de eficiência e é consistente com a definição adoptada pelo próprio relatório Brundtland (vide pág. 72).

É certo que, como já referimos, é possível efectuar outras interpretações. O próprio relatório Brundtland, fornece pistas para interpretações mais latas e é ele próprio um resultado da confluência de diversas posições. Norgaard, por exemplo, adopta o conceito de Coevolução usado na Biologia⁽¹⁾ para defender que os sistemas social e ecológico estão em permanente e contínua interacção, respondendo cada um às modificações que ocorrem no outro. A evolução do sistema económico-social não é independente daquilo que se passa no sistema natural e vice-versa. O desenvolvimento coevolucionário é, assim, um processo donde resultem benefícios para o homem mas que deve ser sustentável na medida em que é necessário a verificação de um equilíbrio entre o desenvolvimento económico e social e as condições ecológicas que o afectam e determinam.

Na sua versão menos radical⁽²⁾, defende que, uma vez atingido o equilíbrio, ambos os sistemas devem registar um progresso paralelo, simultâneo e compatível entre si, uma espécie de evolução em equilíbrio paretiano segundo o qual qualquer alteração num sistema não seja susceptível de provocar alterações estruturais no outro. A economia e o ambiente formam, então, um único sistema que evolue no tempo de acordo com uma trajectória temporal única⁽³⁾. Sendo uma visão consistente com o espírito do Relatório Brundtland, a sustentabilidade adquire aqui um sentido físico, ecológico a par da sua dimensão económica.

(1) Na Biologia o termo Coevolução é usado para referir um processo evolutivo baseado nas respostas recíprocas entre duas espécies próximas uma da outra e que interagem entre si. A evolução de cada uma das partes depende dos mecanismos de feedback que ocorrem entre elas dando, assim, origem a um processo evolutivo conjunto e interdependente.

(2) Veja-se, por exemplo, Archibugi, Nijkamp & Soeteman (1989) ou Nijkamp, P. (1992). Wilkinson (1973) oferece uma visão mais "ambientalista" desta corrente onde a sustentabilidade "física" é assumida com maior vigor.

(3) Veja-se, por exemplo, Norgaard, (1984), (1985) ou (1988).

Um outro exemplo, mais radical, da preponderância da componente ecológica na ideia de sustentabilidade, é protagonizada por Daly para quem as relações entre a economia e a natureza são governadas pelas leis da termodinâmica que é necessário respeitar e observar e que impõem limites físicos ao desempenho, organização e desenvolvimento do sistema económico. Este é, de resto, encarado como um subsistema do sistema mais vasto constituído pelo sistema natural e encontra-se sujeito às leis da entropia, das quais não pode fugir. A sustentabilidade refere-se então à necessidade do sistema económico evoluir verificando e respeitando as restrições física, ecológicas impostas pela natureza. O resultado prático consiste na defesa do estado estacionário, o crescimento zero do ponto de vista físico, no qual o fluxo de matéria e energia com origem e destino na natureza é mantido constante e dentro dos limites suportáveis e impostos pela natureza.

Independentemente das especificações com que surgem na literatura, dois temas são centrais em toda a problemática da sustentabilidade: por um lado, a questão da *Equidade Intergeracional* e a segunda, a questão, não menos difícil, da capacidade do sistema económico em proceder à *substituição* do stock de capital natural por outras formas de "riqueza" de modo a permitir a manutenção do Bem-Estar das gerações presentes e futuras. A primeira destas duas refere-se aos *critérios* de sustentabilidade (ou, se se preferir, aos princípios segundo os quais esta pode ser encarada) e a segunda às *condições* necessárias para a verificação dos critérios. Vejamos resumidamente o conteúdo de cada um destes dois temas.

II.2 - EQUIDADE INTERGERACIONAL

"Justice is the first virtue of social institutions, as truth is of systems of thought.(...). We can do something for prosperity but it can do nothing for us"

RAWLS, J. (1971), *A THEORY OF JUSTICE*

A definição mais conhecida e utilizada de D.S. é apresentada pelo Relatório Brundtland para quem é sustentável o desenvolvimento que consegue dar

"... resposta às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem resposta às delas"⁽¹⁾

(1) "O Nosso Futuro Comum", pág. 54

Porém, o desenvolvimento não é um estado fixo mas antes um processo de mudança contínua ao longo do tempo. Em certo sentido, ele é como um "alvo em movimento" e, por isso, várias são as gerações que irão estar envolvidas e ser afectadas durante o seu processo. O princípio da sustentabilidade pressupõe, por isso, que a satisfação das necessidades actuais não deva ser feita de modo a comprometer a possibilidade das gerações futuras poderem vir a satisfazer as suas próprias necessidades e aspirações. Para usar as palavras da World Commission on Environment and Development (WCED), o uso actual dos recursos naturais e do ambiente em geral

"pode afigurar-se proveitoso nas contas desta geração, mas os nossos filhos virão a herdar-lhes as perdas. Estamos a pedir emprestado capital ambiental às gerações futuras sem tencionar nem poder pagar-lhes. Elas poderão condenar-nos este esbanjamento mas não poderão fazer a cobrança da dívida."⁽¹⁾

É justamente esta assimetria nas relações entre as sucessivas gerações em momentos diferentes no tempo que encontram justificação as preocupações de equidade intergeracional veiculadas em todas as abordagens à sustentabilidade em particular e ao DS em geral. Por outro lado, muitos estragos ambientais originam perdas de carácter irreversível, embora noutros casos seja possível implementar medidas de compensação capazes de restabelecer ou substituir os activos ambientais que se perderam ou degradaram. A possibilidade real de ocorrerem *irreversibilidades* no stock de activos ambientais, cujas consequências serão suportadas apenas no futuro, é suficiente para reforçar as preocupações de natureza ética em relação às gerações futuras, nomeadamente pela adopção do princípio de que *o processo de incremento do bem estar das gerações presentes não deve ser feito à custa do bem estar das gerações vindouras* devendo estas ser *compensadas* pela redução nos stocks de activos ambientais provocada pelas actuais gerações.

É muito forte o vínculo entre a teoria económica e a problemática da equidade intergeracional. Como ciência social, a economia toma o homem como "unidade central de análise", cujo Bem-Estar se torna necessário preservar e incrementar⁽²⁾. Frequentemente a abordagem ao tema é feita por via a maximização do valor actual do fluxo intertemporal de benefícios provenientes do processo de desenvolvimento/crescimento e a discussão centra-se muitas vezes em torno do maior ou menor esforço que a geração planeadora efectua no sentido de compensar os seus descendentes pelas eventuais limitações que encontrará em resultado do uso presente dos recursos disponíveis. Sem dúvida

(1) "O Nosso Futuro Comum", pág. 16

(2) É por esta razão que muitas vezes são "provocantes" para a economia as posições mais "ambientalistas" segundo as quais a ênfase deveria ser colocada não apenas no Bem-Estar do homem mas também do ecossistema que o envolve e do qual depende a sua sobrevivência.

que a discussão em torno da escolha do valor apropriado (maior ou menor) para as ponderações (taxa de desconto) a atribuir ao Bem-Estar das diferentes gerações é importante, complexa e centrada em questões de natureza essencialmente valorativa. Porém, o que nos interessa realçar é o sentido do próprio critério de equidade e o modo como este tem sido proposto e abordado pela teoria económica e a sua consistência com os princípios da sustentabilidade..

Do ponto de vista da eficiência económica num contexto intertemporal, o princípio de Pareto constitui um critério base para as afectações intertemporais dos recursos. É possível encontrar várias especificações consistentes com o critério da eficiência paretiana de que destacaremos apenas duas: A já referida maximização do valor actual do fluxo de benefícios futuros que designaremos abreviadamente de *VA-óptimo* e que formalmente pode ser sintetizado do seguinte modo

$$[\text{II.1}] \quad \text{Max} \int_0^{\infty} U[.]e^{-\delta t} dt$$

onde $U(.)$ representa a utilidade (ou Bem-Estar) proveniente de uma determinada variável ou vector de variáveis consideradas suficientemente relevantes como indicadores de Bem-Estar, e, em segundo lugar o critério Rawlsiano de maximização do bem estar do grupo mais desfavorecido da população em cada instante e que designaremos de *maxmin*. Formalmente

$$[\text{II.2}] \quad \text{Max} \{ \min \{ U_t(.) \} \}$$

onde $U_t(.)$ representa o nível de Bem-Estar de cada geração t , com $t = 1, \dots, n$.

O princípio do VA-óptimo levanta um conjunto de enormes problemas ainda não resolvidos. Desde logo porque as escolhas reflectem apenas as preferências da 1ª geração. Qualquer decisão ou comportamento que "entre pelo tempo dentro" é sempre ditatorial face aqueles que dela irão sofrer as consequências. As gerações futuras não têm antecipadamente oportunidade de se pronunciar sobre elas. Do ponto de vista meramente técnico é possível, apesar de tudo, incorporar nas escolhas actuais, os desejos e aspirações daqueles que não tendo possibilidade de expressarem as suas preferências irão ser afectados por elas. Ainda assim, as preferências da geração t acerca da geração $t+1$ apenas fazem sentido quando enquadradas no contexto em que foram formuladas no período t . O fluxo contínuo de

gerações permite o aparecimento de novas necessidades à medida que se conseguem resolver algumas das que se tiveram de encontrar⁽¹⁾.

Depois, é inegável que o princípio da equidade exige, de algum modo, que as gerações actuais aceitem sacrifícios no seu bem estar no sentido de proporcionar aos vindouros níveis de vida pelo menos iguais aos seus. Cada indivíduo deve preocupar-se não apenas com o seu próprio consumo, rendimento, riqueza, etc. e dos seus sucessores, mas ainda com o bem estar de todos os indivíduos das gerações futuras. No entanto, esse esforço individual só será assumido se a pessoa souber que essa é uma atitude que TODOS os restantes membros da comunidade também terão, seja porque agindo isoladamente não tem grande possibilidade de melhorar significativamente o bem estar das gerações futuras, seja porque, isoladamente, não sentem grande apetência para o fazer⁽²⁾. A questão que se levanta consiste em saber da real disposição dos indivíduos em prescindirem de parte do seu rendimento actual com o objectivo de ajudarem as gerações que em consequência dessa atitude irão possuir um rendimento várias vezes superior ao seu e usufruir de um potencial produtivo também superior ao actual. A decisão parece depender quer dos destinatários quer das circunstâncias económicas em que ela é tomada (Veja-se Tullock - 1964).

Pode acontecer que os indivíduos possam estar mais interessados em redistribuir o rendimento em favor dos pobres da geração actual do que em favor dos pobres da geração futura e, sobretudo, de TODOS os indivíduos das gerações futuras, independentemente da posição que ocupam no tecido social.

Um modo alternativo de enfrentar este problema consiste em assumir, tal como Rawls (1971), que as gerações se encaram como estando em permanente "confronto contemporâneo" estabelecendo entre si um "contrato social". O "véu da ignorância" que as impede de se aperceberem da geração a que pertencem ou que estágio de desenvolvimento civilizacional já alcançaram, conduzi-las-á a uma repartição dos bens primários (os direitos e as liberdades, o rendimento e a riqueza) vantajosa para todos⁽³⁾. O problema é que a passagem do homem pelo tempo se faz apenas num único sentido pelo

(1) A "Inconsistência" é o risco mais provável de uma atitude deste tipo. Deixamos no entanto esta questão para outra oportunidade.

(2) Para uma análise mais cuidada deste "Paradoxo do Isolamento", veja-se SEN (1961) e (1966)

(3) Recorde-se que, para o autor, a posse dos "Bens Naturais" (a saúde e o vigor, a inteligência e a imaginação) e os "Bens Primários" é fortemente influenciada pela estrutura básica da sociedade. Acontece porém que cada indivíduo poderia ter nascido numa posição social diferente daquela em que nasceu. Se, numa situação hipotética, todos os indivíduos estivessem na mesma situação inicial envolvido numa espécie de "véu de ignorância" (não descortinando, por isso, quando e em que situação social se encontram ou a que geração pertencem), todos adoptariam como princípio, a igualdade na distribuição dos valores a não ser que a desigualdade fosse vantajosa para todos. Igualdade de distribuição não significa, contudo, que o rendimento e a riqueza, por exemplo devam ser distribuídos de modo igualitário mas apenas que todos os indivíduos reconheçam vantagens na distribuição que acordarem entre si. Os indivíduos estabeleceriam entre si uma espécie de "contrato social" que, sendo justo, ninguém se sentiria impelido a desonrar posteriormente.

que é inevitável que as gerações posteriores beneficiem do trabalho e esforço desenvolvido pelos seus predecessores. O desenvolvimento é uma espécie de injustiça cronológica e o princípio da reciprocidade que pressupõe a troca de vantagens é, neste contexto, impossível de aplicar.

Em todo o caso, de acordo com este princípio do "contrato social", a equidade intergeracional é conseguida se e quando cada geração se dispuser a deixar á geração seguinte um nível de bem estar que reclamaria à sua antecedente. Em termos operacionais, isso significa que em cada momento se deve maximizar o rendimento das camadas mais desfavorecidas de cada geração, ainda que isso signifique não apenas um nível de consumo global sempre constante ao longo do tempo como ainda que este permaneça nos níveis que cada geração encontra à partida (Solow -1974). No contexto de uma economia dependente de recursos naturais não-renováveis, o dilema Rawlsiano é resolvido se a sociedade for capaz de investir um montante igual ao valor de mercado dos seus recursos naturais e, desse modo, atingir o mais elevado nível de Bem-Estar que é possível obter para o grupo mais desfavorecido de entre os que a constituem.

Em resumo, a sustentabilidade levanta claramente a questão delicada dos dilemas intergeracionais causados pelo inevitável balanço entre a satisfação das necessidades presentes e a satisfação das necessidades futuras, sobretudo num contexto em que a economia depende de recursos não-renováveis ou renováveis mas cuja taxa de utilização pode levar à sua completa extinção. Se o objectivo consiste em assegurar a manutenção dos padrões de vida, as gerações futuras deverão ter acesso à base de recursos naturais (renováveis, não-renováveis e semi-renováveis) que as gerações actuais dispõem, assim como à eficácia, rendimento e utilidade que deles é possível retirar com a tecnologia disponível.

II.3 - AS POSSIBILIDADES DE SUBSTITUIÇÃO E AS CONDIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE.

Tal como já dissemos no início, o segundo tema suscitado pela sustentabilidade refere-se à problemática da capacidade para se proceder à substituição do stock de capital natural por outras formas de activos de modo a garantir a satisfação das necessidades à medida que o capital ambiental se vai degradando e delapidando. A sustentabilidade, definida como a manutenção de um nível "aceitável"

de Bem-Estar ao longo do tempo, implica, por isso, a necessidade de garantir que os diferentes activos (económicos e ambientais) conservem a capacidade de fornecer um fluxo contínuo e intertemporal de benefícios. Se existirem possibilidades de substituição, então a degradação e delapidação ambiental não coloca problemas de maior desde que, obviamente, a taxa de poupança da economia seja suficientemente alta para gerar padrões de Bem-Estar consistentes com as arbitragens e dilemas intergeracionais de que falámos na secção anterior. Mas mesmo que as possibilidades de substituição sejam limitadas, então as preocupações de equidade intergeracional reforçam a necessidade de preservação dos activos ambientais.

A literatura sobre a problemática do crescimento económico quando em presença de recursos não-renováveis mostra que é necessário alguma dose de substituição de recursos naturais por stock de capital económico para viabilizar uma trajectória de progresso consistente com os princípios de equidade intergeracional (recorde-se a já referida regra Solow-Hartwick).

Mas é evidente que as possibilidades de substituição não se referem apenas à capacidade tecnológica para proceder a essa substituição ao nível do processo de produção e olhando para os activos ambientais apenas na sua função produtiva. A substituição diz também respeito à possibilidade de compensar a redução naquele conjunto de bens e serviços fornecidos pelos activos ambientais dos quais o bem estar depende (a capacidade de assimilar os desperdícios gerados pelo sistema económico, a capacidade de regeneração dos ecossistemas, a capacidade de fornecer bem estar directo).

Em princípio, é possível criar, destruir ou substituir capital económico K . Ele é *reversível*. Quando este é destruído, há sempre a possibilidade física de, rapidamente, ser substituído. O esforço de reconstrução desenvolvido nos períodos subsequentes a guerras ou catástrofes, são um exemplo característico.

Mas o mesmo já não sucede com os activos ambientais, pelo menos com *todos* eles. Alguns activos são *tecnicamente reversíveis*, havendo a possibilidade de compensar as perdas ambientais que ocorrem. Os recursos naturais renováveis são um exemplo desta categoria, para os quais existe a capacidade e o conhecimento técnico para repor os níveis de stock consumidos. A história da interacção do homem com o meio ambiente está cheia de exemplos de intervenções que tiveram como resultado a substituição de ambientes por outros porventura mais ricos do ponto de vista ecológico.

Porém, em muitos casos é tecnicamente impossível compensar as perdas ocorridas, reestabelecendo ou substituindo o ambiente que se perdeu ou degradou. As hipóteses de recrear uma espécie que se extinguiu são praticamente nulas à luz do conhecimento científico actual. Por isso se diz que para

alguns casos, os activos ambientais são *tecnicamente irreversíveis* e é neste contexto que adquire especial importância o conhecimento dos níveis críticos abaixo dos quais os activos ambientais entram em ruptura e desagregação estrutural (*Threshold effects* na terminologia Anglo-Saxónica).

Por outro lado, um segundo factor que obriga a uma reflexão crítica sobre o princípio da substituição, reside na incerteza e o fraco conhecimento que ainda se dispõe sobre o funcionamento da natureza. O conhecimento que hoje se detém sobre as máquinas, processos, etc. tendem a não estar envolvidos por grandes doses de incerteza. Em geral é um conhecimento "completo", dominado. Inversamente, o conhecimento sobre os activos ambientais é ainda muito incompleto (das 5 ou 10 milhões de espécies que se presume existirem no nosso planeta, apenas se conseguiram identificar até hoje, cerca de 1,5 milhões) e subsistem muitas dúvidas e incertezas quanto a alguns aspectos importantes do funcionamento dos ecossistemas. Por exemplo, não é ainda preciso o conhecimento sobre o funcionamento dos ciclos hidrológicos ou do carbono.

Os problemas ambientais causados pela actividade económica ao usar o ambiente como depósito dos desperdícios que gera, ainda não são totalmente claros. Existem numerosas questões relacionadas com o "quando", "como" e "onde" se manifestarão esses impactos ambientais. Os fenómenos ambientais como a poluição ou a erosão dos solos não conhecem fronteiras físicas e humanas e é muitas vezes difícil dizer, por exemplo, se o poluente X emitido no ponto A irá afectar apenas as zonas circundantes ou se, pelo contrário, os seus efeitos se farão sentir em regiões mais remotas. Do mesmo modo, é muitas vezes difícil saber como se comportará um determinado poluente em contacto com outro de natureza diferente ou a resposta da atmosfera quando em presença de determinados gases tóxicos ou o rasto que esses gases tenderão a deixar uma vez emitidos e ao sabor dos movimentos atmosféricos.

Em resumo, não está garantida a substituíbilidade entre os activos económicos e os bens e serviços fornecidos pelos activos ambientais. É por essa razão que, dada a importância destes últimos para a viabilidade do progresso económico e para o Bem-Estar, o critério de sustentabilidade económica assente na equidade intergeracional, necessita ser complementado de modo a incluir também a exigência de manutenção do fluxo de bens e serviços provenientes do capital natural.

Assegurar a sustentação do bem estar humano ao longo do tempo pressupõe que a qualquer acção susceptível de afectar o bem estar futuro esteja associada uma *compensação* às gerações vindouras. É unanimemente reconhecido que devem ser as transferências de capital (riqueza) a desempenhar essa função. O capital fornece a capacidade de gerar bem estar sob a forma de bens e serviços dos quais o homem necessita. O princípio moral que justifica esta posição encontramos-lo naquela dimensão ética já referida e a sua consequência consiste na necessidade das gerações actuais deixarem às suas sucessoras

um stock de activos ambientais e de qualidade de vida pelo menos igual aqueles que herdaram dos seus antecessores. Dito de outro modo, *o stock global de activos ambientais deve ser gerido de tal modo que, no mínimo, não decline ao longo do tempo*, pressupondo-se, por isso, a *constância do stock global de activos ambientais*.

Formalmente, a *condição fraca de sustentabilidade* (Weak sustainability) exige que

$$[\text{II.3}] \quad \frac{\partial A(t)}{\partial t} = \dot{A}(t) \geq 0$$

Todavia o critério da constância do stock de activos ambientais é passível de numerosas interpretações e especificações, algumas das quais aumentando ainda mais o grau de exigência sobre o padrão evolutivo de $A(t)$. Daly (1991, 1992), por exemplo, considera inaceitável não apenas qualquer redução em $A(t)$ como ainda em cada um dos seus componentes, apelando à necessidade de implementação do estado-estacionário (crescimento económico e populacional zero) para o sistema económico em face dos limites termodinâmicos e das restrições que o sistema natural impõe à escala da economia.

Mas mesmo na sua versão menos exigente, esta condição levanta algumas questões importantes ainda não totalmente resolvidas e a necessitam de aprofundamentos e estudos adicionais. Desde logo o significado exacto da *constância* do stock de activos naturais. Uma interpretação possível aponta para que seja o seu montante físico que deve permanecer constante. No que toca aos recursos naturais não-renováveis, pela própria definição, é impossível a verificação desta condição. Uma interpretação alternativa consiste em tomar o preço unitário dos recursos como capaz de reflectir a sua escassez e exigir que, em termos reais, permaneça constante ao longo do tempo. A dificuldade radica em generalizar esta metodologia a todos os activos uma vez que na sua grande maioria não possuem um mercado próprio. Finalmente, a terceira interpretação aponta para a constância do valor económico dos stocks. Esta posição é, todavia, consistente com a possibilidade de redução do seu montante físico conquanto o seu preço suba numa proporção idêntica. Novamente a dificuldade reside na capacidade do preço reflectir o valor imputável ao recurso, não apenas derivado do seu uso no processo produtivo como ainda o valor proveniente da sua multifuncionalidade.

O segundo problema que esta regra levanta diz respeito às relações que os diferentes componentes de $A(t)$ evidenciam entre si. Tal como foi formulada, a condição pressupõe a perfeita substituição entre

esses elementos. No que diz respeito às possibilidades de substituição entre recursos renováveis e recursos não-renováveis o progresso tecnológico joga aqui um papel importante e tudo indica que essa substituição seja possível. Porém, o stock de activos naturais é bastante heterogéneo pelo que permanece o problema para os restantes activos ambientais vitais à vida no planeta. A degradação ambiental continuada é uma fonte de risco para alguns processos e funções de suporte à vida. Estes ao serem sistematicamente afectados, ameaçam a vulnerabilidade (estabilidade e elasticidade) dos ecossistemas a choques futuros não devendo, por isso, baixar abaixo de determinados níveis críticos (Pearce & Atkinson-1993).

Todavia, o bem estar que a sustentabilidade procura garantir no presente e no futuro, não depende exclusivamente da manutenção dos activos ambientais. De um modo geral, a compensação ao bem estar das gerações futuras, diz respeito a *todos* os activos e não apenas aos activos naturais. Deste modo, a forma de garantir que elas tenham a possibilidade de assegurar a satisfação das suas próprias necessidades consiste em as actuais gerações deixarem às suas sucessoras um stock de capital *global* pelo menos igual aquele que encontraram. Ou seja, é o *Stock Global de Activos* (económicos, humanos e ambientais) que deve permanecer constante e não exclusivamente o stock de activos ambientais.

Esta forma de interpretar a condição é baseada por um lado, na definição de "riqueza" (rendimento) de Hicks (1946) e, por outro, no princípio do reinvestimento da "Renda" gerada pela utilização dos recursos, atribuída a Hartwick (1977) e mais tarde reinterpretada por Solow (1986) como um requisito para que o stock de capital permaneça intacto com a passagem do tempo.

Representado por $H(t)$ o stock de capital humano, esta *condição forte de sustentabilidade* (Strong Sustainability) pode ser formalizada do seguinte modo:

$$[\text{II.4}] \quad \frac{dK^*}{dt} = \frac{d(K(t) + A(t) + H(t))}{dt} = \dot{K}(t) + \dot{A}(t) + \dot{H}(t) \geq 0$$

Esta regra é, porém consistente com reduções nos níveis de um ou mais dos componentes daquele valor agregado, desde que essa redução seja compensada por aumentos equivalentes no(s) outro(s) elemento(s) de $K^*(t)$. O stock de capital natural pode, por isso, reduzir-se sem que a sustentação esteja em perigo, desde que, obviamente, o stock de capital económico e/ou o stock de capital humano aumentem os seus níveis para compensar as perdas que ocorrem nos activos ambientais.

Adicionalmente, a delapidação de recursos naturais não-renováveis deve ser acompanhada por investimentos em recursos capazes de os substituir. O ambiente enquanto tal, não tem um tratamento especial, sendo antes considerado uma forma de capital como outra qualquer. O que é transmitido de uma geração para outra é a capacidade geral de produção em vez de uma componente específica do stock global de activos, K^* .

Em resumo, a sustentabilidade é um conceito consistente com as preocupações gerais da ciência económica de contribuir para a satisfação das necessidades presentes e futuras nomeadamente no que diz respeito à distribuição dos benefícios pelas diferentes gerações segundo princípios eficiência paretiana. Mas isso não significa que, num contexto de interações entre o sistema económico e o sistema natural e sobretudo quando em presença de recursos não-renováveis ou renováveis mas cuja capacidade de regeneração é ser ameaçada ou mesmo destruída em virtude do volume e qualidade dos desperdícios emitidos, a sustentabilidade seja sinónimo ou que possa ser automaticamente alcançada por via da eficiência económica no sentido da maximização do valor actual da utilidade ao longo do tempo.

Aalbers (1995 a)), por exemplo desenvolve um modelo de crescimento económico para uma economia que sofre as consequências da emissão para a atmosfera de gases ácidos. O resultado a que chega mostra que é possível obter uma *solução óptima* consistente quer com o respeito pelos limites ecológicos e ambientais impostos pela natureza (ou seja, a emissão do poluente e a sua concentração na atmosfera não ultrapassa a "Carga Crítica" admissível pela natureza - sustentabilidade física ou ecológica) quer com a ultrapassagem daqueles limites naturais. Neste último caso, a "solução óptima" conduz à total extinção da espécie humana. A razão para este resultado reside no "lag" temporal entre o momento de emissão dos gases tóxicos e o momento em que as suas consequências se fazem sentir. Na maioria dos casos, os efeitos ambientais nefastos ocorrem com desfasamentos temporais e apenas a redução do consumo actual pode conduzir a uma redução da poluição e das suas consequências futuras⁽¹⁾.

Isto significa que, as questões relacionadas com os dilemas intergeracionais suscitadas pela sustentabilidade, não são exclusivamente de natureza valorativa. Elas encontram também justificação no próprio funcionamento da natureza e nas condicionantes que ela origina.

As lições que é possível retirar da literatura remetem para as possibilidades técnicas de substituição a validade das soluções encontradas e a capacidade de concretização da sustentabilidade. Para aqueles

(1) Num artigo posterior, o autor mostra ainda que apesar das actividades de tratamento e controle da poluição reduzirem as hipótese de extinção da vida no planeta, não as elimina totalmente (Aalbers - 1995 b)).

que acreditam na capacidade de substituição e no progresso técnico para obviar às restrições impostas pela natureza na realização do potencial humano, bastará a constância do stock global de activos como condição mínima à sustentabilidade. Inversamente, para aqueles que questionam o realismo dessas hipóteses, apenas a constância do stock de activos ambientais será admissível.

Infelizmente esta é ainda uma questão de fé alicerçada não apenas na incerteza e no incompleto conhecimento do funcionamento da natureza e das suas interrelações e ligações com o sistema económico, como ainda das diferentes perspectivas segundo as quais os mesmos fenómenos são analisados. Para um economista, a decisão de apanhar uma nota do chão depende da comparação que fizer entre o custo marginal envolvido no esforço e o benefício marginal que pode obter com essa nota. Um ecologista, perante a constatação de que, devido à humidade, a nota se havia transformado num ecossistema, deixa-la-ia no mesmo lugar em respeito por aquela manifestação instantânea de vida. Finalmente, um ambientalista, reprovava a presença daquele resíduo e hesitaria entre colocá-la na lata de lixo mais próxima ou em confiar na capacidade da natureza em proceder à sua total degradação.

Em nosso entender, nem a posição de total indiferença e rejeição dos fenómenos ambientais presentes nem a posição de busca de novos paradigmas alternativos constituem o modo correcto de enfrentar as novas realidades e horizontes que se abrem à economia. A herança epistemológica da ciência económica ainda não se encontra totalmente explorada e esgotada no que toca à abordagem aos fenómenos ambientais e às relações entre o sistema económico e o sistema natural. Como afirma Pearce (1990, pág. 30)

...we can use the main body of economic thought to derive important propositions about the linkages between the economy and the environment."

Capítulo III

Crescimento Sustentável: Uma visão Introdutória

III.1 - Introdução

Desde o início da década de 70 até finais dos anos 80 que se produziu uma imensa literatura sobre, por um lado, a natureza dos padrões de crescimento económico sob diversos critérios de equidade e justiça intergeracional e sua sustentabilidade e, por outro, sobre o efeito que a presença de recursos naturais, especialmente recursos Não-Renováveis exercia sobre as possibilidades de crescimento e sua consistência com os dilemas intergeracionais já enunciados.

Na sua grande maioria, tratam-se de modelos de crescimento que assumem uma economia constituída por um único sector produtivo que se encarrega da produção de um único bem pela utilização não apenas dos tradicionais factores trabalhos e capital, como ainda do fluxo de recursos naturais não-renováveis. A agência central de planeamento que procura maximizar o valor actuar do fluxo de benefícios futuros que o agente representativo obtém do consumo final, procurando resolver assim o trade-off entre o consumo presente e o consumo futuro.

O nosso ponto de partida tem semelhanças com esta forma standart de abordagem ao crescimento económico mas em que as preocupações de sustentabilidade são explicitadas e referenciadas ao stock de capital natural. Dadas as interdependências entre o sistema económico e sistema natural já abordadas no capítulo I, a nossa preocupação consiste em analisar a) a existência de uma trajectória de crescimento económico compatível com a capacidade da natureza em desempenhar as suas funções de

fornecedor de recursos, de regeneração e assimilação de desperdícios e, finalmente, de fornecimento de bem-estar directo, e b) as condições (económicas e ecológicas) em que tal trajectória é viável.

O capítulo será desenvolvido tendo por base um modelo simples de crescimento económico com ausência de produção. O nosso objectivo consiste em estabelecer o quadro geral de compreensão dos principais fenómenos e relações envolvidas na temática do crescimento económico num contexto de interações entre a economia e o ambiente.

Num primeiro momento e usando um quadro bastante simplificado, interessa-nos analisar as consequências que diferentes formas analíticas da "função perturbação" causam não apenas na solução estacionário, se existir, como ainda na dinâmica que lhe está associada e na sustentabilidade do próprio crescimento económico, tal como foi definida no capítulo anterior.

Num segundo momento desenvolveremos um estudo onde a preocupação central consiste em avaliar em que medida a consideração do efeito Bem-Estar influencia as potencialidade de progresso económico.

Toda a formalização do capítulo, como de resto a do capítulo seguinte, será desenvolvida tendo por base a Teoria de Controle Ótimo e será apoiada na Teoria dos Sistema Dinâmicos que serão usadas numa base meramente instrumental e não como um fim em si mesmo.

III.2 - Acumulação de capital natural com ausência de efeito bem estar

Suponhamos então uma sociedade em que os seus membros dependem exclusivamente da generosidade da natureza para, em cada momento t , suprirem as suas necessidades de consumo corrente $C(t)$, do qual o seu bem-estar depende. As suas preocupações de poupança concentram-se apenas na necessidade de garantirem que o stock de activos ambientais não vejam a sua capacidade de regeneração e assimilação, seriamente perturbada em consequência quer do seu consumo quer dos desperdícios que este inevitavelmente ocasiona. *A hipótese que formularemos neste capítulo consiste em considerar que o processo de perturbação do normal funcionamento da natureza por via quer do consumo quer da emissão de desperdícios, pode ser adequadamente descrito por uma função perturbação tendo o consumo em cada momento como único argumento, $p[C(t)]$.* Formalmente

$$[\text{III.1}] \quad \dot{A}(t) = N[A(t)] - p[C(t)]$$

onde $N[A(t)]$ a função de regeneração da natureza cujas propriedades matemáticas estão enumeradas na *Hipótese A.2*, pág. 55 mas que se sumariam de seguida:

- i. Existe um nível mínimo de stock de activos ambientais, A_m , abaixo do qual a natureza revela incapacidade para repor o nível global desses activos. Formalmente:

$$[\text{III.2}] \quad \forall A(t) \leq A_m \Rightarrow N[A(t)] \leq 0$$

- ii. O mesmo fenómeno ocorre (apesar de com um significado diferente) quando o stock de recursos renováveis ultrapassa um determinado valor máximo \bar{A} . Este valor máximo é identificado como a *Capacidade de Suporte do Ambiente*, o stock máximo que a natureza pode sustentar. À medida que os stocks se aproximam deste nível, o crescimento abranda e eventualmente cessa. Formalmente:

$$[\text{III.3}] \quad \forall A(t) \geq \bar{A} \Rightarrow N[A(t)] \leq 0$$

- iii. Entre os dois extremos referidos anteriormente, $A(t)$ tem sempre tendência para variar positivamente ao longo do tempo.

$$[\text{III.4}] \quad \forall A(t) : A_m < A(t) < \bar{A} \Rightarrow N[A(t)] > 0$$

No entanto, o ritmo de crescimento não é monótono. Numa fase inicial, o crescimento é elevado atingindo o seu valor máximo quando $A = A_M$ (*Rendimento Máximo Sustentado*, o nível de $A(t)$ que permite a mais elevada taxa de variação para os activos ambientais). De facto, $\exists A_M : A(t) = A_M \Rightarrow N_A = 0$. Para $A(t) < A_M \Rightarrow N_A > 0$. A partir deste nível e à medida que $A(t)$ se aproxima da Capacidade de Suporte, o crescimento desacelera até que se anula por completo (para $A(t) > A_M \Rightarrow N_A < 0$). Graficamente

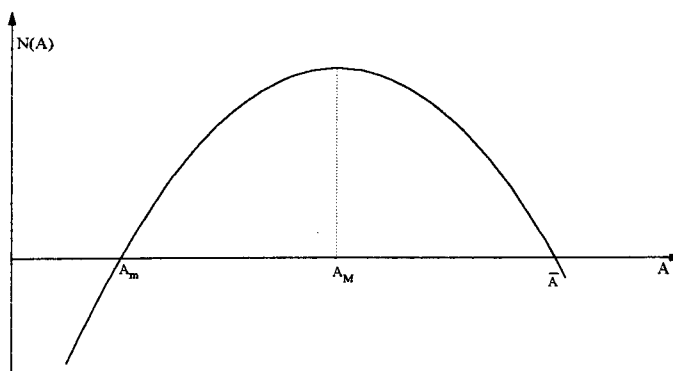


fig. III.1 - Função de regeneração natural

Por outro lado, no que diz respeito à Função Perturbação, iremos desenvolver dois casos distintos que têm por base hipóteses diferentes sobre o seu comportamento face ao consumo: por um lado, o 1º caso em que se considera que a Função Perturbação é Linear em $C(t)$; por outro lado, o 2º caso em que se admite uma Função Perturbação Convexo-Côncava.

Vejamos resumidamente cada um destes casos e as suas implicações sobre a relação que entre $C(t)$ e $A(t)$ se estabelece de modo a garantir a sustentabilidade biofísica ao longo do tempo, ou seja, $\dot{A}(t) = 0$ (o desenvolvimento do modelo será efectuado sem que se estabeleça à priori qualquer relação funcional entre a perturbação de $A(t)$ e o nível de consumo. Apenas na caracterização da(s) solução(ões) se fará referência explícita a estes dois casos).

1º Caso: Função Perturbação Linear:

Neste caso $\dot{A}(t) = 0$ exige que o nível de consumo compatível com a manutenção do stock de activos ambientais deva ser dado pela expressão:

$$[III.5] \quad C(t) = \frac{N[A(t)]}{\pi}$$

Com $\pi = p_C$, uma constante qualquer de tal modo que $\pi > 0$. Graficamente, esta relação reproduz no essencial a fig. III.1 e representa, para cada valor $A(t)$, o nível de consumo necessário que a sociedade deverá respeitar de modo a que o stock de activos ambientais permaneçam em repouso. Evidentemente que se para cada nível de $A(t)$ o consumo exceder o nível necessário para a manutenção daquele, a perturbação que esse facto origina obrigará à diminuição do stock global de activos ambientais. No caso inverso, se o consumo for menor do que o necessário para provocar a manutenção do stock de activos naturais, estes terão tendência para aumentar.

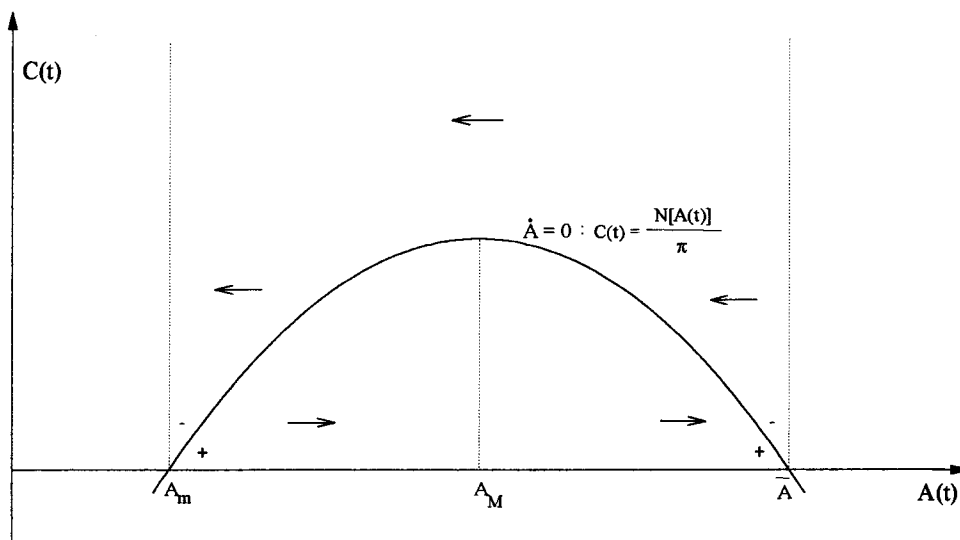


Fig. III.2 - Função $\dot{A}(t) = 0$ no plano (C,A) para o caso linear.

2º Caso: Função Perturbação Convexo-Côncava.

Neste caso $\dot{A}(t) = 0$ define uma função implícita no plano (C,A), cujo comportamento pode ser analisado a partir do seu diferencial total e em que se toma como referência não apenas as propriedades já conhecidas para a função de produção natural $N[A(t)]$, como ainda as propriedades que avançámos na hipótese P.2 acerca da função poluição e que recordaremos de seguida:

Para níveis baixos de consumo, a função perturbação é convexa reflectindo o facto de o nível de degradação ambiental crescer nesses momento a ritmos superiores ao verificado para o consumo.

Quando o nível de consumo ultrapassa C_A , essa tendência atenua-se e os níveis de degradação ambiental são, na margem, cada vez menores. Apesar de tudo, a perturbação por unidade de produto é ainda crescente. Apenas quando $C = C_A : p(C_A)/C_A = p_C(C_A)$ se inverte a tendência muito embora se registem ainda perturbações crescentes com níveis crescentes de consumo. A "descolagem" entre P e C apenas se dá quando $C = C_M$ e onde $p_C(C_M) = 0$. Formalmente:

i. $\exists C_M :$

$$C \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} C_M \Rightarrow p_C \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

$$\text{com } p_C = \frac{\partial p[C(t)]}{\partial C(t)}$$

ii. $\exists C_A, \text{ com } C_A < C_M :$

$$C \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} C_A \Rightarrow p_{CC} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

$$\text{com } p_{CC} = \frac{\partial^2 p[C(t)]}{\partial C(t)^2}$$

Ou seja, a função perturbação exhibe uma relação negativa entre o nível de consumo e o efeito perturbador dos activos ambientais a partir de $C = C_M$. Estamos assim a aceitar a hipótese de existência de uma Curva de Kuznets Ambiental e que pretende reflectir uma maior consciência da sociedade sobre os efeitos perversos que o seu consumo ocasiona na sua única fonte de alimento e que a induz a adoptar práticas que reduzam os efeitos nefastos sobre $A(t)$. A questão que obviamente se coloca é se este processo conduz à total eliminação de efeitos nefastos sobre os activos ambientais, ou se, pelo contrário, as leis da termodinâmica inviabilizam o alcance de níveis nulos de perturbação e, por isso, a perturbação não tenderá para zero mas antes para um determinado limite P_m .

Do ponto de vista da solução do modelo e da sua topologia dinâmica, a hipótese do limite mínimo para a perturbação é formalmente idêntica à solução e topologia da hipótese mais irrealista de redução a zero dos impactos negativos. A opção por esta hipótese justifica-se apenas porque ela possibilita a manutenção do modelo dentro de limites de tratabilidade analítica.

Com estas características, podemos estabelecer as duas seguintes proposições sobre o comportamento de $\dot{A}(t) = 0$:

Proposição III.1: *Seja $C = \chi(A) = P^{-1}[N(A)]$ a função que verifica $\dot{A}(t) = 0$. Sempre que $C \neq C_M$ e $\chi(A) \neq C_M, \forall A$, então $p_C(C) \neq 0$ e a função $\chi(A)$ terá dois segmentos sendo um estritamente côncavo (para $C < C_M$) e outro estritamente convexo (para $C > C_M$) com extremos (máximo e mínimo, respectivamente) para $A = A_M$*

Dem. De facto, a inclinação de $\dot{A}(t) = 0$ vem dada por

$$[\text{III.6}] \quad \frac{dC(t)}{dA(t)} = \frac{d\chi(A)}{dA} = \frac{N_A[A(t)]}{p_C[C(t)]}$$

Deste modo $\chi'(A)$ assume inequivocamente o sinal de $N_A(A)$ uma vez que $p_C(C)$ é sempre positivo, $\forall C < C_M$ levando a que a função $\dot{A}(t) = 0$ se comporta de modo semelhante ao verificado para o caso da função perturbação linear; é crescente para $A < A_M$, decrescente para $A > A_M$ e nula para $A = A_m$ e $A = \bar{A}$. Em resumo

$$[\text{III.7}] \quad \frac{dC(t)}{dA(t)} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad A(t) \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A_M$$

Inversamente, $\forall C > C_M$, a função é estritamente convexa na medida em que o denominador de [III.6] é sempre negativo invertendo, por essa via, o sinal do numerador à medida que $A(t)$ passa da esquerda para a direita de A_M . Formalmente o comportamento de $\dot{A}(t) = 0$ pode ser sumariado do seguinte modo:

$$[III.8] \quad \frac{dC(t)}{dA(t)} \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad A(t) \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A_M$$

Em ambos os casos $\chi(A)$ evidencia extremos (Máximo para $C < C_M$ e Mínimo para $C > C_M$) uma vez que $N_A(A_M) = 0$ mas sempre para $\chi(A_M) \neq C_M$. A figura III.3 mostra duas possibilidades para o caso da função de perturbação convexo-côncava tipificada nesta proposição e completa a sua demonstração.

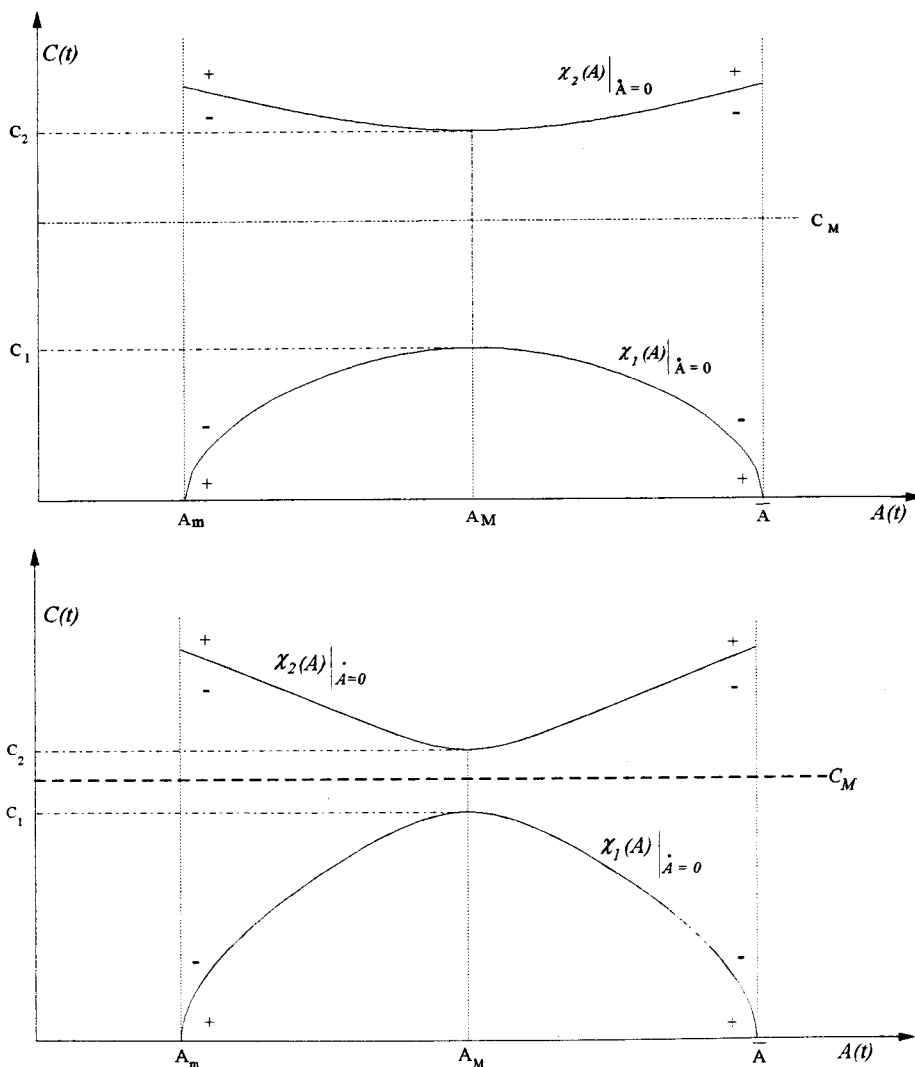


Fig. III.3 - duas hipóteses para a função $\dot{A}(t) = 0$ no plano (C,A) para o caso convexo-côncavo.

◇

A dinâmica de $A(t)$ associada a uma função perturbação do tipo da que temos em presença, reproduz para o segmento inferior a registada no caso linear mas já do segmento superior, a dinâmica reflecte o facto de se estar numa zona decrescente da função perturbação e onde aumentos de consumo se traduzem em reduções nos impactos sobre os activos ambientais. Assim, com níveis de consumo acima (inferiores) do necessário para garantir $\dot{A}(t) = 0$, a perturbação gerada sobre os activos ambientais é menor (maior) pelo que estes terão condições para aumentar (diminuir).

A relação entre C e A de modo a garantir a verificação de $\dot{A}(t) = 0$ que acabámos de tipificar na proposição III.1 é interessante porquanto revela que para $C \in]C_1, C_2[$, as perturbações causadas pelo consumo sobre o stock de activos ambientais excede a sua capacidade natural de regeneração e, por isso, não é possível encontrar nenhum nível de consumo que consiga garantir, no mínimo, a manutenção de qualquer nível de stock de activos ambientais. Para $C \in]C_1, C_2[$ ter-se-á sempre $\dot{A}(t) < 0$.

Contudo, esta situação não é uma inevitabilidade. Ela depende da relação que se estabelece entre a intensidade da perturbação (ou seja da forma de $P(C)$) e as leis naturais que governam a regeneração dos activos ambientais. A função perturbação pode exibir características tais que garantam a continuidade de $\chi(A)$ para todo o C .

Proposição III.2 - *Seja $C = \chi(A) = P^{-1}[N(A)]$ a função que verifica $\dot{A}(t) = 0$.*

Sempre que $\exists! A : \chi(A) = C_M$, a função $\chi(A)$ é contínua em C muito embora evidencie dois segmentos: Um à direita de $A = A_M$ e um segundo à esquerda de $A = A_M$.

No ramo situado à esquerda a função é crescente para $C < C_M$ e decrescente para $C > C_M$. No ramo situado à direita de $A = A_M$, a função é decrescente para $C < C_M$ e crescente para $C > C_M$.

Para $C = C_M$ a função tem inclinação infinita.

Dem. A demonstração é trivial, sobretudo depois do que dissemos na **proposição III.1** sobre o comportamento de $\chi(A)$ abaixo e acima de $C = C_M$. A diferença reside na aceitação da hipótese de que

é possível existir um valor de A_i , com $i = 1, 2$, que torna possível $\chi(A_i) = C_M$. Neste caso e para este(s) valor(es) de A ter-se-á, seguramente

$$[\text{III.9}] \quad \chi'(A_i) = \frac{N_A(A_i)}{p_C(C_M)} = \frac{N_A(A_i)}{0} = \infty$$

A fig. III.4 mostra as propriedades que acabámos de descrever e completa a demonstração.

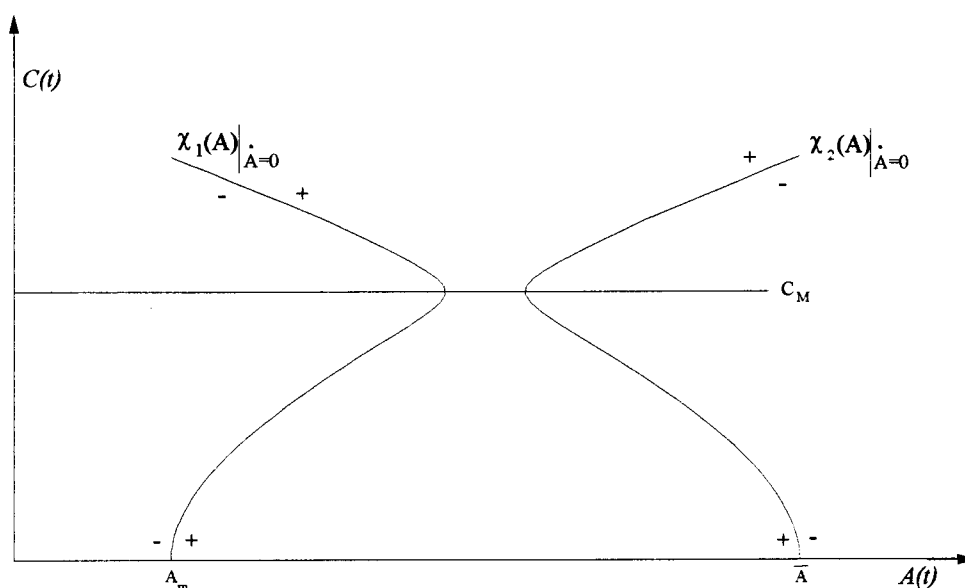


Fig. III.4 - Representação da função $\dot{A}(t) = 0$ no plano (C, A) para o caso convexo-côncavo.

◇

Clarificadas e especificadas cada uma das hipótese sobre as quais iremos desenvolver o modelo, é agora o momento de formalizar o problema que esta sociedade enfrenta. O seu objectivo consiste em maximizar o fluxo actualizado do bem-estar proveniente do consumo ao longo do tempo. Formalmente:

$$[\text{III.10}] \quad \text{Max} \int_0^{\infty} U[C(t)]e^{-\delta t} dt$$

onde $\delta \geq 0$ e representa a taxa que actualiza para o presente o bem-estar em cada momento e $U[C(t)]$ a função bem-estar que evidencia as tradicionais propriedades de continuidade, concavidade e duplamente diferenciável. Esquemáticamente:

$$[\text{III.11}] \quad U(0) = 0 \quad ; \quad U(\infty) = \infty$$

$$[\text{III.12}] \quad U_C > 0 \quad ; \quad U_{CC} < 0$$

$$[\text{III.13}] \quad \lim_{C(t) \rightarrow 0} U_C[C(t)] = \infty \quad ; \quad \lim_{C(t) \rightarrow \infty} U_C[C(t)] = 0$$

O problema que a "autoridade central" enfrenta pode ser esquematicamente escrito do seguinte modo:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \quad \int_0^{\infty} U[C(t)] e^{-\delta t} dt \\
 & \text{s.a} \\
 & \dot{A} = N[A(t)] - p[C(t)] \\
 [\text{III.14}] \quad & C(0) = C_0 \\
 & A(0) = A_0 \\
 & \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \gamma(t) = 0 \quad (\text{Condição de Transversalidade})
 \end{aligned}$$

com $C_0 > 0$; $A_0 > 0$ e onde $\gamma(t)$ representa o preço-sombra associado ao processo de acumulação de capital natural.

Assim definido, trata-se de um problema típico de Controle Ótimo em tempo infinito e autónomo⁽¹⁾, cuja resolução é possível com o recurso ao Princípio de Pontryagin e a partir do qual se escolherá de entre as várias trajectórias possíveis de $C(t)$ e $A(t)$, $\{C, A\}_{t=0}^{\infty}$, aquela que maximiza o valor actual dos

(1) A denominação de "autónomo" advém do facto da variável "tempo" t , entrar no modelo apenas por via do factor de desconto.

fluxos futuros de bem estar provenientes do consumo realizado em cada momento, $\{C^*, A^*\}_{t=0}^{\infty}$. A condição de transversalidade assegura a existência de solução para o problema em causa e significa que o valor social atribuído aos activos naturais tenderá a ser tanto maior (menor) quanto mais escasso (abundante) for o seu stock ao dispor da sociedade.

O primeiro passo do estudo consiste em investigar a existência de um estado estacionário e as condições que o tornam possível utilizando para isso o Hamiltoniano Corrente⁽¹⁾ associado aquele problema:

$$[\text{III.15}] \quad H(C, A, \beta, t) = U[C(t)] + \lambda \{N[A(t)] - p[C(t)]\}$$

onde $C(t)$ é a Variável de Controle, $A(t)$ a variável de estado, t o tempo e $\beta \in \mathfrak{R}_+ \times \mathfrak{R}_+$, o vector dos parâmetros que o podem perturbar exogenamente.

A maximização do Hamiltoniano exige, como condição de 1ª ordem (também denominada condição de optimização estática) que em cada momento se verifique

$$[\text{III.16}] \quad \frac{\partial H(\dots)}{\partial C} = 0 \quad : \quad U_C = \lambda P_C^{(2)}$$

ou seja, ao longo da trajectória óptima, o preço-sombra associado à variação do stock de activos ambientais deve igualar a utilidade marginal proveniente do consumo corrente, ponderada pelo factor P_C que representa a perturbação que, na margem, o consumo causa nos activos ambientais (quer

(1) O termo "corrente" é usado para "libertar" o Hamiltoniano inicial H_t do factor de desconto e que assim se transforma num Hamiltoniano Não-Descontado.

$$H = H_t e^{\delta t}$$

Para que essa modificação ocorra sem alterações qualitativas do problema em análise, a variável inicial de co-estado $g(t)$ transformada numa segunda variável de co-estado de acordo com a seguinte notação

$$\lambda(t) = \gamma(t) e^{\delta t}$$

mas cujo significado é idêntico ao da sua equivalente original.

(2) O "tempo" t , será omitido para aliviar as notações. Contudo, sempre que se revele necessário, far-lhe-emos referência explícita.

directamente pelo acto de consumo quer por via da emissão de desperdícios) e que, por essa via, pode vir a afectar a possibilidade da sociedade conseguir os níveis de consumo de que necessita.

Em certo sentido, a redução do consumo presente (e a conseqüente possibilidade de deixar crescer A) representa uma forma de poupança. Deste modo aquela condição pode ser interpretada como a necessidade de, ao longo de todo o caminho óptimo, igualar, na margem, os benefícios de unidades adicionais de consumo à redução que essa circunstância provoca na poupança. Dito de outro modo, o ganho esperado pela utilização de A para efeitos de consumo deve igualar a redução da utilidade futura que esse consumo proporciona ao longo de todo o caminho óptimo.

Por outro lado, o princípio de Máximo de Pontryagin exige ainda a verificação do seguinte *Sistema Dinâmico Hamiltoniano (SDH)* para que as trajectórias $\{C(t), A(t)\}_{t=0}^{\infty}$ sejam óptimas.

$$[\text{III.17}] \quad \dot{A} = \frac{\partial H(\dots)}{\partial \lambda} = N(A) - P_C(C)$$

$$[\text{III.18}] \quad \dot{\lambda} = \delta \lambda - \frac{\partial H(\dots)}{\partial A} = (\delta - N_A) \lambda$$

A primeira equação refere-se à dinâmica associada aos activos ambientais quando perturbados pelo consumo e a segunda indica que a taxa global de remuneração do stock de activos ambientais (dada pela soma entre os "ganhos de capital natural" $\dot{\lambda}/\lambda$ e a sua "taxa de juro natural" N_A) deve igualar a taxa de desconto da sociedade, δ .

O *Sistema Canónico* anterior surge com A e λ como variáveis mas pode ser transformado num sistema de duas equações diferenciais não lineares em C e A . Com efeito, diferenciando a equação [III.16] em ordem a t , substituindo em [III.18] e resolvendo em ordem a \dot{C} , obtemos finalmente:

$$[\text{III.18-a}] \quad \dot{C} = \frac{1}{\frac{U_{CC}}{U_C} - \frac{P_{CC}}{P_C}} \{ \delta - N_A \} = \frac{U_C P_C}{U_{CC} P_C - P_{CC} U_C} \{ \delta - N_A \}$$

Analisemos agora em separado os dois casos para a função perturbação.

III.2.1 Crescimento Económico com Função Perturbação Linear.

A linearidade da função perturbação simplifica a condição de primeira ordem que passa a assumir a seguinte forma:

$$[\text{III.19}] \quad \frac{\partial H(\dots)}{\partial C} = 0 \quad : \quad \lambda = \frac{U_C}{\pi}$$

sendo que a condição de segunda ordem para um máximo interior está automaticamente garantida dada a concavidade de $U(C)$: de facto, $\partial^2 H(\dots)/\partial C^2$ é negativo dado que $U_{CC} < 0^{(1)}$.

A linearidade da função perturbação, altera ainda o SDH que fica reduzido à seguinte forma:

$$[\text{III.20}] \quad \dot{A} = \frac{\partial H(\dots)}{\partial \lambda} = N(A) - \pi C$$

$$[\text{III.21}] \quad \dot{C} = \frac{U_C}{U_{CC}} \{\delta - N_A\} = \frac{C}{\sigma(C)} \{N_A - \delta\}$$

(1) Recorde-se que, de acordo com o Teorema da Suficiência de Mangasarian (1966), num problema de controlo óptimo as condições necessárias do princípio de máximo são também suficientes para que a função objectivo seja maximizada desde que o Hamiltoniano associado a esse problema seja côncavo face às variáveis de estado e de controlo.

É essa a situação que ocorre com o problema que estamos a analisar. Com efeito, a Matriz Hessiana do Hamiltoniano [III.15] vem dada por

$$\begin{bmatrix} U_{CC} & 0 \\ 0 & \lambda N_{AA} \end{bmatrix}$$

que devido às propriedades de $U(C)$ e $N(A)$ é negativa semidefinida.

Em que $\sigma(C) = -\frac{U_{CC}}{U_C}C$ representa a *Elasticidade da Utilidade Marginal* que em virtude de [III.12]

se torna positiva para todos os níveis de consumo. Com base neste sistema canónico estabelecemos a seguinte proposição acerca da existência do estado estacionário:

Proposição III.3 - *Dada a concavidade de $U(C)$, a linearidade de $P(C)$, e se $N(A)$ evidenciar um "threshold effect" em $A = A_m$ e for estritamente côncava acima dele, o problema enunciado em [III.14], pode ter uma ou zero soluções estacionárias para C e para A ; $\{C^*, A^*\}$. Essas são soluções caracterizadas pela equação*

$$C^* = \frac{N[N_A^{-1}(\delta)]}{\pi}$$

Dem. A existência de um estado estacionário exige que $\dot{C} = \dot{A} = 0$, o que, devido a [III.20] e [III.21] ocorre quando é verificado.

$$[\text{III.22}] \quad C = \frac{N(A)}{\pi}$$

$$[\text{III.23}] \quad \delta = N_A$$

Pela equação [III.23], é fácil verificar como o nível óptimo dos activos ambientais é determinado *exclusivamente* pela taxa intertemporal de desconto. Sendo dado δ , $\exists A: A = A^* \Rightarrow N_A(A^*) = \delta$ donde se terá

$$[\text{III.24}] \quad A^* = N_A^{-1}(\delta)$$

que substituída em [III.23] gera imediatamente o nível de consumo correspondente ao estado estacionário. Porém, o valor de δ pode ser de tal ordem que o nível de A^* que lhe está associado pela equação [III.24], resulte inferior ao nível crítico A_m . Neste caso, não existe nenhuma solução estacionária que gere valores positivos para C e A . Repare-se que de [III.23] se pode ainda concluir que

$$\frac{dA^*}{d\delta} = \frac{1}{N_{AA}(A^*)} < 0$$

o que significa que o valor de equilíbrio para as activos ambientais compatível com $\dot{C} = 0$ varia inversamente com a taxa de desconto. Daí que se possa afirmar que $\exists \delta_c : \delta \geq \delta_c \Rightarrow A^* \leq A_m$ e apenas quando $\delta = \delta_c$ se terá $A^* = N_A^{-1}(\delta_c) = A_m$. A fig. III.5 completa a demonstração.

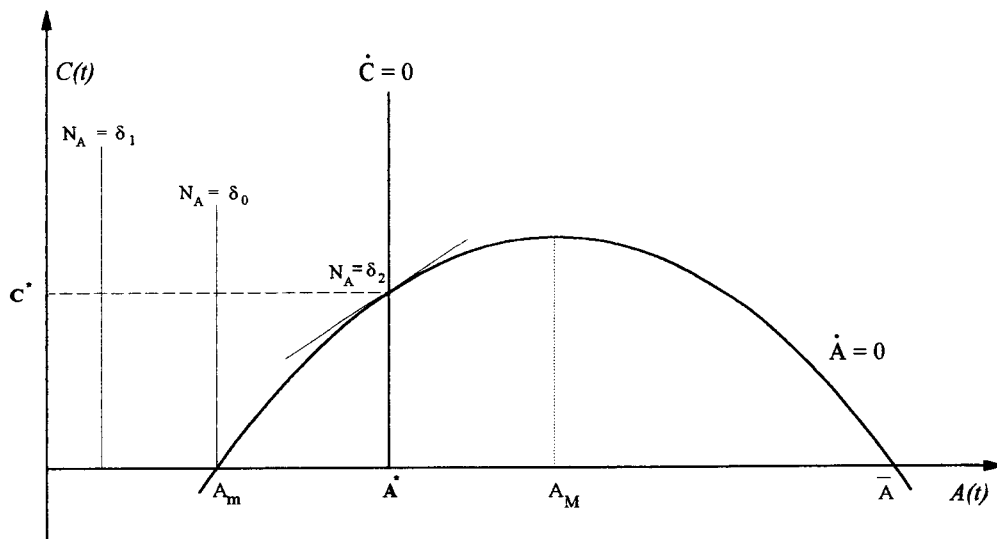


Fig. III.5 - Existência de um ou zero estados estacionários. Apenas quando $\delta \leq N_A(A_m)$ é possível obter uma única solução. (Na figura, $\delta_2 < \delta_0 < \delta_1$.)

◇

Repare-se que [III.23] representa a condição necessária para que o consumo permaneça em repouso e uma vez que para $A \in]A_m, A_M[$, $N(A)$ é monótona crescente, existe apenas um único valor para A que consegue garantir a igualdade entre a produtividade marginal dos activos ambientais e a taxa de desconto, δ . Dito de outro modo, [III.23] define uma recta perpendicular ao eixo das abcissas e o

estado estacionário para C e A é obtido pela compatibilização entre a taxa de impaciência da sociedade e a taxa de regeneração natural dos activos ambientais (ou se se preferir, pela sua "taxa de paciência"). À direita (esquerda) desta recta, o consumo tenderá a diminuir (aumentar) uma vez que nessa região a taxa de regeneração da natureza é mais baixa (elevada) do que a exigida pela taxa de impaciência da sociedade.

Mas é ainda interessante notar como a solução óptima para o consumo varia inversamente com a taxa de perturbação π . Para maiores (menores) impactos do consumo sobre a regeneração próprias dos activos ambientais, o consumo associado ao estado estacionário tenderá a ser cada vez menor (maior). Formalmente, de [III.22] ter-se-á

$$\frac{dC^*}{d\pi} = N(A) > 0 \quad \forall A : A_m \leq A \leq \bar{A}$$

A existência de um nível crítico mínimo para os activos ambientais, a dependência do valor de A^* face a δ para gerar uma solução de equilíbrio de longo prazo e a não negatividade para esta última, limitam os valores de δ para os quais existe uma solução. É por isso necessário conhecer, pelo menos, o intervalo de validade para a taxa de desconto de modo a assegurar a existência de um estado estacionário de longo prazo. É nesse sentido que iremos estabelecer a seguinte proposição:

Proposição III.4 - *Apenas é possível obter um único estado estacionário para o problema formulado em [III.14] quando $\delta \in]N_{A_M}(A_M), N_{A_m}(A_m)[$ e apenas quando $\delta = 0$ se obterá um estado estacionário para o qual o nível de consumo e de activos ambientais de equilíbrio de longo prazo são os mais elevados.*

Dem. Na verdade, existe um dado δ_m : para $\delta = \delta_m$ se tem $A^* = N_A^{-1}(\delta_m) = A_m$. Quando $\delta > \delta_m \Rightarrow A^* < A_m$ e o modelo não gera qualquer solução estacionária. Por outro lado, $\exists \delta_0$: para $\delta = \delta_0 = 0$ se obtém $A^* = N_A^{-1}(0) = A_m$. Deste modo, os valores admissíveis para δ são aqueles para os quais $\delta \in]N_{A_M}(A_M), N_{A_m}(A_m)[$ já que apenas quando $A \in]A_m, A_M[$ a função de produção natural evidencia "produtividades marginais" não negativas. Para $A_M < A < \bar{A}$, ter-se-á, necessariamente $N_A < 0$ e, conseqüentemente, $\delta < 0$ o que é totalmente desprovida de sentido económico. Por outro lado, quando $\delta = 0$ ter-se-á, no equilíbrio, $N_A(A) = 0$ o que apenas acontece quando $A = A_M$. A fig. III.6 completa a demonstração

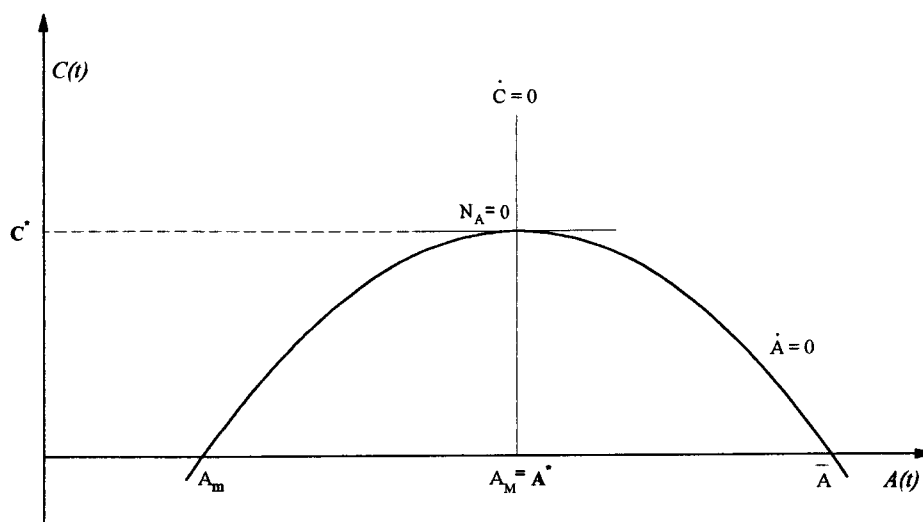


Fig. III.6 - Estado estacionário para $\delta = 0$.

◇

É a forma como a sociedade pondera o seu bem estar relativamente ao bem estar dos seus descendentes que determina o nível de consumo e de activos ambientais consistente com o equilíbrio de longo prazo. Quanto menos impaciente for a sociedade face ao futuro e, conseqüentemente, mais valorizar o bem estar dos seus sucessores, mais condições cria para que a natureza viabilize um equilíbrio de longo prazo caracterizados por níveis de consumo e de activos ambientais mais elevados. Este é um resultado consistente com os postulados tradicionais da teoria geral do crescimento, segundo os quais uma atitude menos solidária para com as gerações futuras tenderá a limitar-lhes o seu potencial de consumo e, conseqüentemente, de bem-estar futuro.

III.2.1.1 - Estabilidade Estrutural

O modelo inicial gera um Sistema Dinâmico Hamiltoniano de duas equações não lineares parameterizado apenas por δ . Para valores dados deste parâmetro, as soluções de equilíbrio a que ele dá origem são Hiperbólicas no sentido de que os valores próprios do sistema linearizado em torno do

ponto de equilíbrio, têm parte real não-nula, $\text{Re}\{\phi_i\} \neq 0 \quad \forall i$. Assim, pelo teorema de Hartman & Grobman ⁽¹⁾, a topologia da estabilidade no ponto de equilíbrio do sistema original pode ser estudada a partir da sua parte linear. Por outro lado, o sistema de equações diferenciais que formam as condições necessária para um óptimo segundo o princípio de Pontryagin é de dimensão dois pelo que não haverá atractores caóticos⁽²⁾

Usando a expansão de Taylor em torno do ponto de equilíbrio (C^*, A^*) obtemos o seguinte sistema variacional onde se fez $\xi = A - A^*$, $\eta = C - C^*$ cujo estudo comportamental é determinante para os propósitos desta secção:

$$\text{[III.25]} \quad \begin{bmatrix} \dot{\xi} \\ \dot{\eta} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}$$

onde $J = \{J_{ij}\}_{i,j=1,2}$, é o Jacobiano (ou Matriz de Estado) obtido a partir do sistema canónico Hamiltoniano e que, neste caso, vem dado por⁽³⁾

$$\text{[III.26]} \quad J = \begin{bmatrix} N_A & -\pi \\ C^* N_{AA} & (N_A - \delta) / \sigma(c) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta & -\pi \\ N[N_A^{-1}(\delta)] N_{AA} & 0 \end{bmatrix}^{(4)}$$

(1) Vide TU, Pierre N. V. (1994), pág. 135.

(2) Vide Wiggins (1988), cap.2.

(3) A análise da dinâmica global poderia ser efectuado a partir da "solução fechada" do modelo, ou seja, em que o sistema canónico surgiria com A e λ como variáveis. Neste caso, a linearização assumiria o seguinte aspecto:

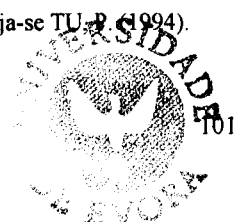
$$\begin{bmatrix} \dot{(A - A^*)} \\ \dot{(\lambda - \lambda^*)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{\lambda A} & H_{\lambda \lambda} \\ -H_{AA} & \delta - H_{A\lambda} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (A - A^*) \\ (\lambda - \lambda^*) \end{bmatrix}$$

Depois resolver em ordem a C a condição de primeira ordem [III.19], $C = U_c^{-1}(\delta, \pi) = \hat{c}(\delta, \pi)$ e de substituir em [III.20], a matriz de estado assumiria o seguinte aspecto,

$$\begin{bmatrix} N_A & -\pi \hat{c}_\lambda \\ -\lambda N_{AA} & (\delta - N_A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta & -\pi \hat{c}_\lambda \\ -\lambda N_{AA} & 0 \end{bmatrix}$$

Obviamente que ambas as formas de desenvolvimento são equivalentes. Para mais pormenores, veja-se TU, P. (1994).

(4) Recorde-se que em equilíbrio se terá $\delta = N_A$.



Com base nele, é possível estabelecer o seguinte lema:

Lema III.1: *Seja $N_A(A_m) \leq \delta \leq N_A(A_M)$ e $\pi > 0$. Então o ponto de equilíbrio correspondente ao estado estacionário será único, hiperbólico ($\text{Re}\{\phi_i\} \neq 0, \forall i$) e com a instabilidade característica aos "pontos sela".*

Dem. A primeira parte deste lema já foi objecto de demonstração a propósito da proposição III.4. Resta-nos demonstrar que o ponto de equilíbrio é hiperbólico e que é um ponto sela. Começemos por deduzir a equação característica associada ao Jacobiano J:

$$[\text{III.27}] \quad c(\phi) = \phi^2 - \text{tr}(J)\phi + |J| = 0$$

onde:

$$[\text{III.28}] \quad \text{tr}(J) = \text{Traço de } J = \delta > 0$$

e

$$[\text{III.29}] \quad |J| = \det(J) = \pi \frac{C^*}{\sigma(C)} N_{AA} = \frac{N[N_A^{-1}(\delta)]}{\sigma(C)} N_{AA} < 0$$

dando assim origem ao seguinte par de valores próprios:

$$[\text{III.30}] \quad \phi_j^2 = \frac{1}{2} \left(\text{tr}(J) \pm \sqrt{\left[\frac{\text{tr}(J)}{2} \right]^2 - |J|} \right) = \frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2} \right)^2 - \frac{N[N_A^{-1}(\delta)]}{\sigma(C)} N_{AA}}$$

deste modo, os valores próprios associados ao jacobiano tem sempre parte real não-nula mesmo no caso extremo de $\delta = 0$, valor para o qual as raízes características continuarão não-nulas, reais e tomando a seguinte forma:

$$[\text{III.31}] \quad \phi_i^2 = \pm \sqrt{-\frac{N(A_M J)}{\sigma(C)} N_{AA}}$$

Considere-se agora o discriminante $\Delta = \left(\frac{\text{tr}(J)}{2}\right)^2 - |J| = \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{N[N_A^{-1}(\delta)]}{\sigma(C)} N_{AA}$ que em virtude de [III.29] é sempre positivo. Deste modo, os valores próprios associados ao Jacobiano [III.26] têm as seguintes características:

- i. Como $|J| < 0$ e $\delta \geq 0$, todos os valores próprios "caem" sobre o eixo real do plano complexo, não havendo valores próprios com parte imaginária, $\text{Im}\{\phi_i\} = 0, \forall i$.
- ii. obtemos assim um par de valores próprios desiguais e de sinal contrário, fora do "corredor da Instabilidade"⁽¹⁾ (ou seja $\phi_1 > \delta/2$ e $\phi_2 < -\delta/2$) o que prefigura uma situação típica de Ponto Sela⁽²⁾.

A fig. III.7 completa a demonstração.

(1) Veja-se TU, Pierre, (1994), Teorema 8.9, cap.8, pág. 175.

(2) A mesma conclusão pode ser conseguida pela comparação entre o valor do $\text{tr}(J)$, o $\text{det}(J)$ e o Discriminante, Δ . Com $\text{tr}(J) > 0$, $\text{det}(J) > 0$ e $\Delta > 0$, ter-se-ão, necessariamente, dois valores próprios, apenas com parte real, diferentes e de sinal contrário.

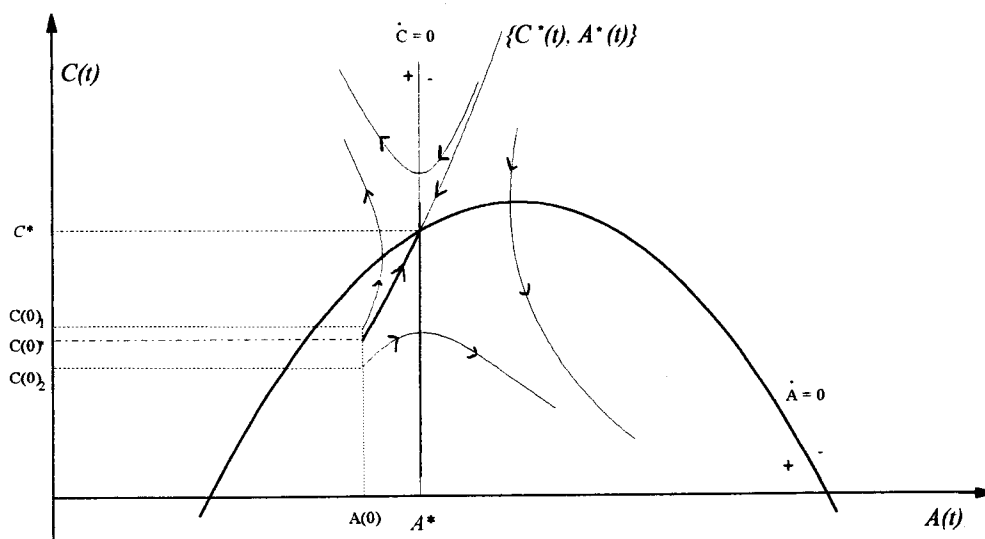


Fig. III.7 - Diagrama de fases e topologia do equilíbrio dinâmico

◇

Consideremos finalmente a situação extrema de uma taxa de impaciência nula, $\delta = 0^{(1)}$. Neste caso, $N_A = 0$ o que apenas sucede quando $A = A_M = A^*$, sendo que $C^* = N(A_M)/\pi$, sendo ambos os mais elevados valores para um estado estacionário de longo prazo que é possível obter com este modelo. Tal como já havíamos referido, é a impaciência da sociedade que a impede de acumular capital natural e, por isso, poder vir a dispôr ou a proporcionar maior bem-estar no futuro.

Do ponto de vista da estabilidade estrutural, a solução dinâmica é topologicamente idêntica ao caso geral. Os valores próprios associados ao jacobiano da parte linear, são reais e idênticos mas de sinal contrário (vide equ. [III.31]), prefigurando de novo uma situação típica de ponto sela que a fig. III.8 reproduz.

(1) Em termos formais, δ é o único parâmetro "perturbador" do sistema canónico associado a este problema. Esta dependência da estrutura topológica relativamente a δ é facilmente visível a partir da expressão para os dois valores próprios associados ao Jacobiano J . Nela apenas consta δ como parâmetro perturbador.

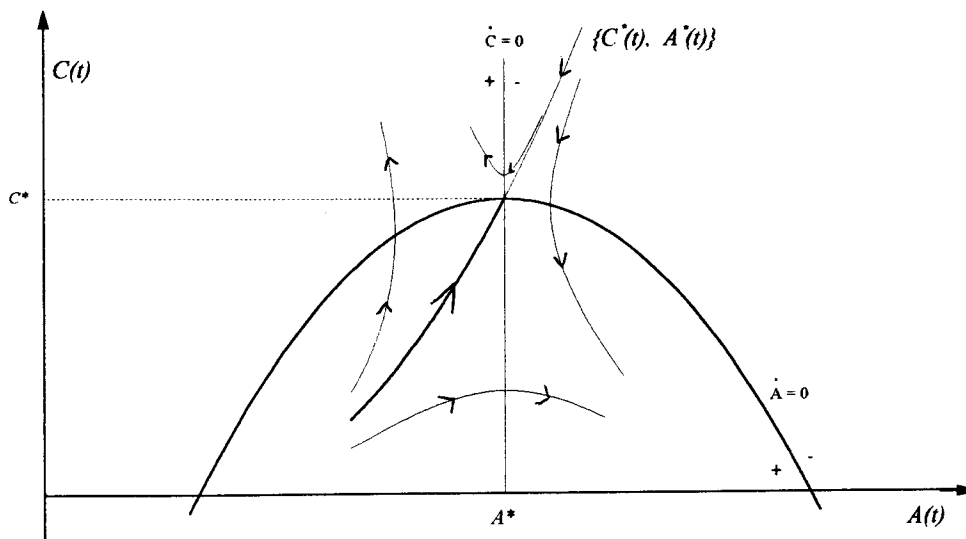


Fig. III.8 - Solução de equilíbrio de longo prazo e sua topologia típica para o caso de $\delta = 0$

Como é típico destas topologias, se os valores iniciais de C e A diferirem dos seus valores de equilíbrio de longo prazo (C^*, A^*) , as trajetórias $\{C(t), A(t)\}$ dependem do estado inicial em que o sistema se encontra; $C(0)$ e $A(0)$. Para um determinado valor inicial de A , $A(0) = A_0$: $A_0 < A^*$, existe apenas um único valor inicial para o consumo, $C(0)^*$ que garante a trajetória ótima $\{C(t)^*, A(t)^*\}$ em direção ao estado estacionário. Se $C_0 > C(0)^*$, C e A tenderão a crescer numa fase inicial em direção ao estado estacionário, perto do qual ficarão a maior parte do tempo, para posteriormente dele se afastarem. O consumo continuará a crescer mas o stock de ativos ambientais tenderá a aproximar-se do seu valor crítico A_m até que se extingue por completo. Inevitavelmente o consumo cairá também, a zero e a sociedade sucumbirá. De resto, este é o padrão evolutivo para todas as trajetórias com valores iniciais de consumo acima do valor necessário para se estar na trajetória de ótima.

Inversamente, se o valor do consumo for inferior ao compatível com o caminho ótimo, apenas o stock de ativos ambientais tenderá a crescer dirigindo-se, neste caso, para a capacidade máxima de suporte, \bar{A} enquanto que o consumo se reduzirá a zero depois de uma fase inicial de crescimento. A sociedade sucumbe neste caso, não por falta de ativos ambientais que lhe forneça os alimentos de que necessita mas porque o seu baixo consumo inicial permitiu que se acumulasse demasiado capital natural.

As considerações que fizemos nos parágrafos anteriores permitem algumas reflexões sobre a problemática da sustentabilidade de que falámos no capítulo II. De todas as trajetórias possíveis, é fácil verificar que apenas a correspondente ao caminho ótimo e na qual $C(t)$ e $A(t)$ são inicialmente

crecentes para depois se fixarem nos seus níveis estacionários de longo prazo, é sustentável no sentido de que a) é o único caminho que permite uma trajetória, pelo menos, não decrescente para a utilidade e, b) o stock de activos ambientais, pelos menos, não decresce. Todas as outras trajetórias, mesmo aquela que, sendo ótima e conduza ao estado estacionário, regista padrões decrescentes para $C(t)$ e $A(t)$ numa fase inicial, não são sustentáveis.

Porém, todas as trajetórias estão crucialmente dependentes dos valores iniciais da variável de estado $A(0)$ e de controle $C(0)$. Se houver possibilidade escolher estes valores iniciais de modo consistente com a trajetória ótima e sustentável, a sociedade tem a garantia de que o seu crescimento económico é sustentável. Mas não havendo essa possibilidade, só por mero acaso o crescimento económico da sociedade será ótimo e, simultaneamente, sustentável.

A reduzida probabilidade de a) a economia se encontrar sobre o estado estacionário ou b) sobre a combinação inicial de C e A coincidente com o caminho ótimo sustentável permite concluir que regra geral o caminho ótimo não é sustentável no sentido definido no capítulo II. Mesmo quando $C(0) > C_0^*$ e o índice de bem-estar evidencia uma trajetória temporal não decrescente, ela regista-se apenas num período de tempo finito. Assim que $A(t)$ atinge o seu limite mínimo crítico deixa de poder garantir o crescimento do consumo e este reduz-se-á a zero.

III.2.2 Crescimento Económico com Função Perturbação Convexo-Côncava

A convexo-concavidade da função perturbação $P(C)$, provoca alterações substanciais não apenas no número de soluções estacionárias admissíveis para o modelo inicial como ainda nas topologias da estabilidade a eles associadas. A introdução de uma função perturbação com as características enunciadas levanta, do ponto de vista analítico, algumas questões sérias na maximização do Hamiltoniano associado ao problema de controle ótimo. Por um lado, a coincidência entre as condições necessárias e, simultaneamente, suficientes para a sua maximização não é extensível a todo o domínio e, por outro, provoca o aparecimento de uma zona (ou subconjunto) no domínio onde apesar de ser possível encontrar uma solução estacionária ela pode conduzir não à maximização mas antes à minimização do Hamiltoniano ou, na melhor das hipóteses a uma "solução de canto". O Sistema Hamiltoniano associado ao problema de controle ótimo já não é Global e Assintoticamente

Estável (GAS) como sucedia no caso linear e, por isso, a estabilidade só pode ser analisada localmente, próximo de cada um dos pontos de equilíbrio.

Para vermos isso comecemos por recordar o Hamiltoniano associado ao problema [III.14]

$$[III.14] \quad H(C, A, \beta, t) = U[C(t)] + \lambda \{N[A(t)] - p[C(t)]\}$$

para cuja maximização se exige como condição de 1ª ordem que

$$[III.32] \quad \frac{\partial H(\dots)}{\partial C} = 0 \quad : \quad \lambda = \frac{U_C}{P_C}$$

e como condição de 2ª ordem, que

$$[III.33] \quad \frac{\partial^2 H(\dots)}{\partial C^2} = \frac{U_{CC}}{P_{CC}} - \lambda \leq 0$$

ou ainda

$$[III.34] \quad \frac{U_{CC}}{U_C} \leq \frac{P_{CC}}{P_C}$$

Repare-se agora que devido à concavidade da função Utilidade, o lado esquerdo de [III.34] é sempre negativo. Daqui decorre que a condição de segunda ordem é imediatamente satisfeita quando $C_A \geq C > C_M$ já que para $C \leq C_A$, ter-se-á sempre $P_C > 0$ e $P_{CC} \geq 0^{(1)}$ e que para $C > C_M$, quer P_C quer P_{CC} são ambos negativos⁽²⁾.

(1) No caso limite, $C = C_A$, o que implica que se tenha $P_{CC} = 0$ e a condição é respeitada. Por outro lado, para $C = C_M$, ter-se-á $P_C = 0$, pelo que a condição de segunda ordem não poderá ser respeitada.

(2) Veja-se hipótese P.2, pág. 88.

No entanto, existe, um valor de C , que designaremos de C_C , com $C_C > C_A$, para o qual o segundo membro de [III.34] é negativo ($P_{CC} < 0$ e $P_C > 0$) mas que verifica $\frac{U_{CC}}{U_C} = \frac{P_{CC}}{P_C}$ e abaixo do qual a condição de segunda ordem é respeitada. Em resumo, a condição de segunda ordem para a maximização do Hamiltoniano exige, genericamente, que

$$[III.35] \quad C_C > C > C_M$$

Estas duas condições em conjunto com o Sistema Dinâmico Hamiltoniano (SDH) exigido pelo Princípio de Máximo de Pontryagin formam o conjunto de condições necessárias à determinação da trajectória para a variável de controle $C(t)$ e, conseqüentemente para a variável de estado $A(t)$ que lhe está associada, que garante a maximização da função objectivo.

Estas condições para um óptimo fornecidas pelo Princípio de Máximo são em muitos casos, apenas necessárias. Em geral, elas não são suficientes. Porém, quando certas condições relativas à concavidade do Hamiltoniano são verificadas, aquelas condições necessárias são também suficientes para um máximo. Concretamente, as condições necessárias são também suficientes para um máximo se o Hamiltoniano for côncavo relativamente à variável de estado e à variável de controle⁽¹⁾. É justamente esse o sentido da proposição que de seguida se apresenta e se demonstra.

Proposição III.5: *As condições necessárias para um máximo do problema [III.14] quando $P(C)$ é Convexo-Côncava são também suficientes apenas quando $C < C_C$. Para $C > C_M$, aquelas condições são apenas necessárias. Para $C_C < C < C_M$ O Hamiltoniano é convexo⁽²⁾.*

Dem. com efeito, tomemos o Hessiano do valor corrente do Hamiltoniano [III.14]

$$[III.36] \quad H = \begin{bmatrix} U_{CC} - \lambda P_{CC} & 0 \\ 0 & \lambda N_{AA} \end{bmatrix}$$

(1) Veja-se, por exemplo, M. Kamien & N. Schwartz (1991), pág. 133.

(2) A convexidade do Hamiltoniano significa que, quando maximizado, ele gera "Soluções de Canto" ou, alternativamente, que apenas pode ser minimizado.

Ele é negativo semi-definido se:

$$i. \quad |H_1| = \frac{U_{CC}}{U_C} - \frac{P_{CC}}{P_C} \leq 0$$

o que, como vimos em [III.35], apenas acontece quando $C_C > C > C_M$.

Por outro lado

$$ii. \quad |H_2| = \frac{U_C}{P_C} N_{AA} \left[U_{CC} - \frac{U_C}{P_C} P_{CC} \right] \geq 0$$

Porém, devido a *i.*, ao facto de $U_C > 0, \forall C > 0$ e de se ter sempre $N_{AA} < 0 \forall A > 0$, apenas é verificada enquanto P_C for não negativo, o que apenas se verifica quando $C < C_M$. Daqui resulta claramente que a concavidade do Hamiltoniano apenas pode ser inequivocamente assegurada quando $C < C_C$. Justamente por essa razão, as condições para um máximo são apenas necessárias quando $C > C_M$.

Para $C_C < C < C_M$ é fácil verificar que o Hessiano é positivo semi-definido.

◇

Esta proposição é extraordinariamente importante no contexto do modelo que estamos a trabalhar na medida em que, contrariamente ao que sucedia no caso linear, nem todos os estados estacionários gerados pelo sistema canónico conseguem reunir as condições necessárias e suficientes para serem óptimos (no sentido de que o Hamiltoniano é maximizado) e, por outro lado, à não linearidade da função perturbação está associada uma forte possibilidade de surgirem *estados estacionários não admissíveis* no sentido em que "caem" numa zona que contraria o objectivo inicial de maximização.

Tendo presente estas considerações, e com base no sistema canónico necessário à resolução do problema de controle inicial

$$\dot{A} = N(A) - P_C(C)$$

[III.37]

$$\dot{C} = \frac{1}{\frac{U_{CC}}{U_C} - \frac{P_{CC}}{P_C}} \{\delta - N_A\} = \frac{U_C P_C}{U_{CC} P_C - P_{CC} U_C} \{\delta - N_A\}$$

vejamos então o que é possível dizer sobre a existência de pontos de equilíbrio de longo prazo.

Proposição III.6 - *Dada a concavidade de $U(C)$, verificadas as propriedades da função perturbação $P(C)$ enunciadas na hipótese P.2 e com as consequências que a proposição III.1 demonstra, se $N(A)$ evidenciar um "threshold effect" em $A = A_m$ e for estritamente côncava acima dele, o problema enunciado em [III.14], pode ter zero ou duas soluções estacionárias para C e para A . Havendo duas soluções, uma pode ser inadmissível. Em qualquer dos casos, as soluções são caracterizadas pela equação*

$$C^* = P^{-1}\{N[N^{-1}(\delta)]\} = \chi[N^{-1}(\delta)]$$

A única solução para a qual as condições necessárias são simultaneamente suficientes, localiza-se no segmento estritamente côncavo de $\chi(A)$ e para $C < C_C$

Dem. Tal como no caso da proposição [III.3], a existência de um estado estacionário exige que $\dot{C} = \dot{A} = 0$, o que, devido ao sistema canónico [III.36], ocorre quando $P(C) = N(A)$ e $\delta = N_A$. Deste modo, a taxa de desconto δ , determina o nível óptimo para o stock de activos ambientais A^* , ou seja $A^* = N^{-1}(\delta)$ e, tal como no caso linear, define uma recta perpendicular ao eixo das abcissas que passa em $A = A^*$.

Por outro lado, $\dot{A} = 0$ implica que $C = P^{-1}[N(A)] = \chi(A)$ que conjugada com A^* , facilmente se tem $C^* = \chi[N^{-1}(\delta)]$. Tal como anteriormente, o valor da taxa de desconto pode ser de tal forma elevado

que $A^* = N^{-1}(\delta) < A_m$ e, neste caso, o modelo não gera nenhuma solução estacionária. Os dois gráficos da fig. III.9 apresentam duas situações possíveis e completam a demonstração.

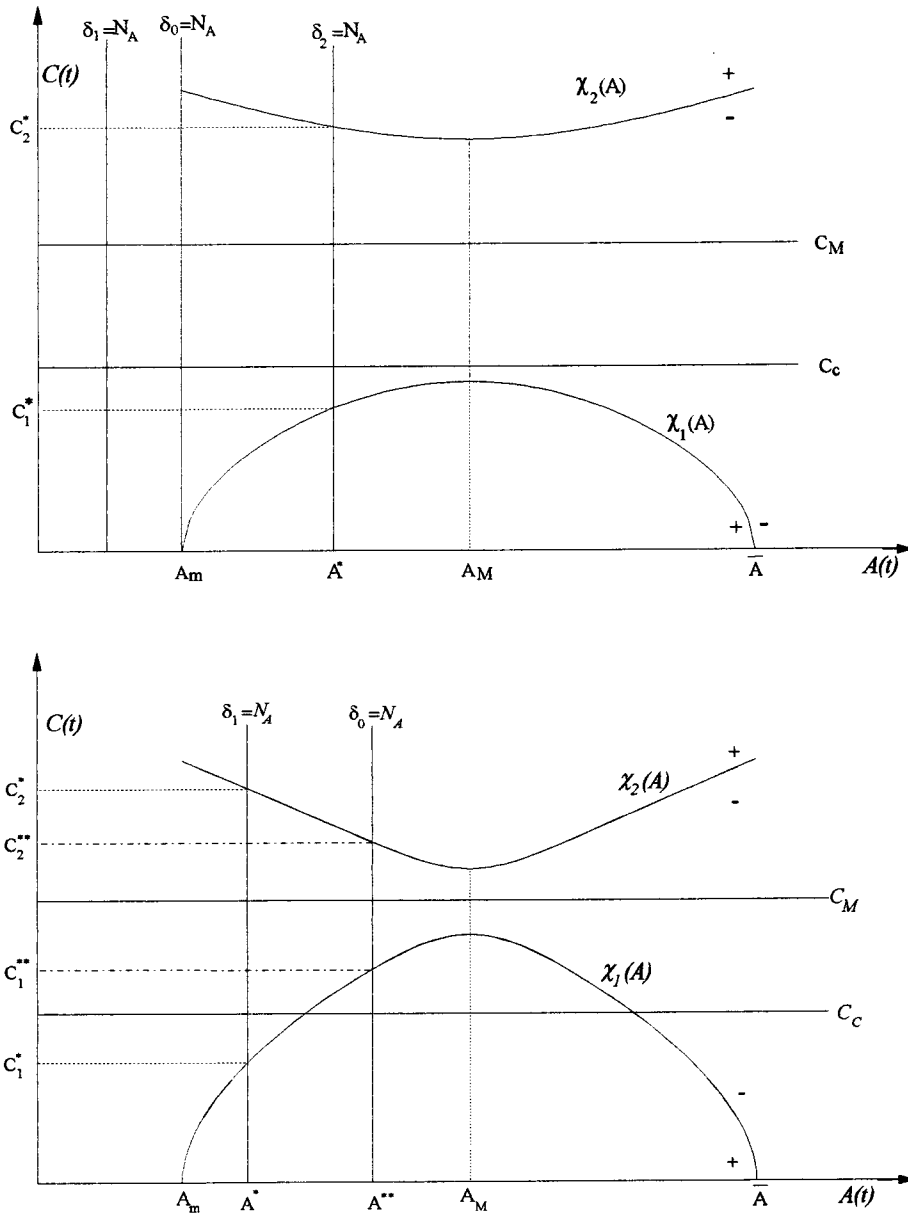


Fig. III.9 - Estados estacionários possíveis para o problema de Controle Ótimo [III.14]. Em qualquer dos dois exemplos, $\delta_1 > \delta_0 > \delta_2$.

◇

À semelhança do que sucede com o caso linear, é aqui também evidente não apenas a importância da taxa de desconto para a determinação directa do nível de stock de activos ambientais correspondente ao estado estacionário como ainda a influência da função perturbação para a obtenção do correspondente valor do consumo de equilíbrio de longo prazo

Para uma mesma taxa de desconto δ (ou, equivalentemente, para um dado nível de stock de activos ambientais de equilíbrio, A^*) e para qualquer ponto de equilíbrio $\{C^*, A^*\}$ situado no segmento estritamente côncavo e $\chi(A)$, o nível de consumo correspondente ao estado estacionário C^* , será tanto maior (menor) quanto menor (maior) a intensidade da perturbação do consumo sobre o stock de activos ambientais. Isto sucede porque este segmento de $\chi(A)$ corresponde à fase em que a função perturbação é crescente com C e, por isso, qualquer redução na intensidade de perturbação (o que corresponde a um deslocamento de $\chi_1(A)$ para cima) viabiliza um nível de consumo de equilíbrio mais elevado. De resto, esta é uma situação semelhante com o caso linear em que a redução do parâmetro π tinha como consequência uma elevação de C^* (vide proposição III.3).

Porém quando o sistema se encontra na fase decrescente da função perturbação (ou seja, para $C > C_M$), níveis adicionais de consumo representam reduções no efeito perturbador sobre a taxa de regeneração natural. É por esse motivo que para uma mesma taxa de desconto, o consumo correspondente ao estado estacionário varia no mesmo sentido que a intensidade da perturbação. Quanto menos intensa for a perturbação, menor será o nível de consumo de equilíbrio de longo prazo.

Esta relação entre a intensidade da perturbação do consumo e o seu efeito sobre a taxa de regeneração do stock de activos ambientais levanta ainda uma questão importante e que apenas se encontra implicitamente contemplada pela proposição III.6. Tem ela a ver com a possibilidade de não existir qualquer estado estacionário para o modelo inicial que respeite as condições necessárias e suficientes exigidas, mesmo que a taxa de desconto se encontre no intervalo para o qual consegue gerar um valor de equilíbrio admissível para os activos naturais, isto é, $\delta \in]N_A(A_M), N_A(A_m)[$.

Proposição III.7 - *Dada a concavidade de $U(C)$, verificadas as propriedades da função perturbação $P(C)$ enunciadas na hipótese P.2 e com as consequências que a proposição III.2 demonstra, se $N(A)$ evidenciar um "threshold effect" em $A = A_m$ e for estritamente côncava acima dele, o problema enunciado em [III.14], pode ter zero, uma ou duas soluções estacionárias. A inexistência de soluções pode ocorrer para $A \leq A_M$. Havendo duas soluções, uma pode ser inadmissível. Em qualquer dos casos, as soluções são caracterizadas pela equação*

$$C^* = P^{-1} \{ N [N^{-1}(\delta)] \} = \chi [N^{-1}(\delta)]$$

A única solução para a qual as condições necessárias são simultaneamente suficientes, localiza-se no segmento crescente de $\chi(A)$ e para valores de $C < C_C$

Dem. A demonstração é idêntica à que fizemos na proposição III.6. A novidade desta proposição relativamente à anterior consiste na afirmação de que é possível não existir qualquer estado estacionário no intervalo $A \in]A_m, A_M[$ e que se torna necessário demonstrar.

No caso da verificação da proposição III.2, $\dot{A} = 0 \Rightarrow C = \chi(A)$, existe um valor de $\delta = \delta_m$ que gera um valor de A para o qual se tem

$$C^* = C_M = \chi [N_A^{-1}(\delta_m)]$$

e para o qual $\chi'(A)$ é infinita. Este é o único ponto que gera um estado estacionário para o modelo inicial. Daqui se conclui que $\forall \delta : 0 < \delta < \delta_m$ o nível de activos ambientais que lhe está associado não encontra "imagem" no eixo das ordenadas por via da função $\chi(A)$ não sendo, por iss, possível existir qualquer estado estacionário. A fig.III.10 completa a demonstração.

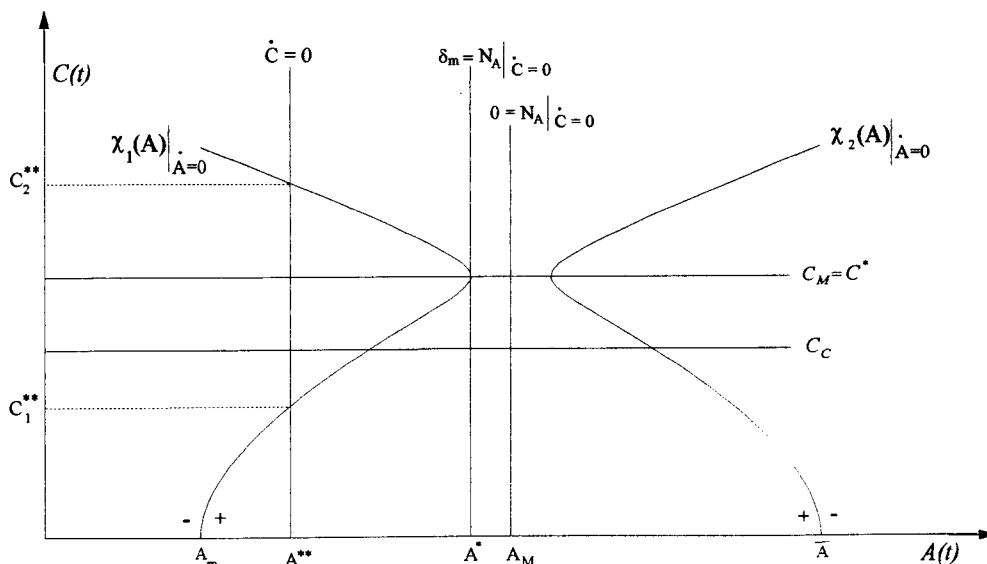


Fig. III.10 - Estados estacionários possíveis para o problema de Controle Ótimo [III.14] quando verificada a proposição III.2.

◇

III.2.2.1 Estabilidade estrutural

Já tivemos ocasião de referir que a introdução no modelo inicial de uma função perturbação convexo-côncava apenas permite analisar localmente a estabilidade estrutural associada a cada estado estacionário uma vez que a inclusão de uma função deste tipo dá origem não apenas ao aparecimento de zonas em que as condições exigidas para a maximização do Hamiltoniano são diferentes e, por outro, ao estabelecimento de regiões com estruturas topológicas diferenciadas. Contrariamente ao caso linear, o campo vectorial associado a este problema não é homogêneo em todo o domínio pelo que as proposições que se efectuarem sobre a dinâmica do sistema canónico não têm validade global. Por outro lado, os sistemas hamiltonianos com apenas 1 grau de liberdade (com apenas uma variável de estado) geram apenas uma das seguintes situações: Pontos de Equilíbrio, Órbitas Periódicas ou, finalmente Trajectórias unindo Pontos de Equilíbrio. No entanto, para que esta última situação ocorra, é necessário que os pontos de equilíbrio tenham uma topologia do tipo "Ponto Sela"⁽¹⁾. Pelo que dissemos anteriormente, o modelo inicial gera pontos de equilíbrio múltiplos mas que nunca se localizam simultaneamente na mesma região de estabilidade estrutural e na mesma zona para a qual as condições de optimização do hamiltoniano são idênticas. Por esse motivo, não haverá trajectórias que liguem dois estados estacionários, podendo, porém haver trajectórias que "saltem" de umas regiões de equivalência topológica para outras com padrões estruturais diferentes.

A circunstância de haver uma região em que o Hamiltoniano é convexo (nomeadamente quando $C_C < C < C_M$) permite que deixemos de lado a análise dos casos em que o Estado estacionário "cai" nesta região e concentremos a nossa atenção apenas nos casos em que os pontos de equilíbrio se fixam nas restantes duas zonas.

Finalizaremos este ponto do trabalho com o estudo qualitativo sobre as consequências que alterações no único parâmetro passível de controle exógeno pode provocar na estabilidade de cada ponto de equilíbrio. Concretamente, estamos interessados em verificar em que medida a taxa de impaciência da sociedade é um parâmetro bifurcante. Como teremos ocasião de verificar, apenas obtemos uma bifurcação no caso dos pontos de equilíbrio situados no segmento estritamente convexo de $\chi(A)$ e que será uma bifurcação de Hopf na medida em que qualquer ponto de equilíbrio nesse local possui uma topologia dinâmica de tal modo característica que a derivada, relativamente ao parâmetro bifurcante, da parte real dos valores próprios associados do sistema varacional é não nula.

(1) Para uma análise mais cuidada desta temática, veja-se, entre outros, Guckenheimer, J. & P. Holmes (1983 - 1993), cap. 1, 2 e 3.

Considere-se então a matriz de estado resultante da linearização do sistema canônico III.36,

$$[\text{III.38}] \quad J = \begin{bmatrix} N_A(A) & -P_C(C) \\ -\Omega(C)N_{AA} & (\delta - N_A)\Omega_C(C) \end{bmatrix}$$

com

$$\Omega(C) = \frac{U_C P_C}{U_{CC} P_C - P_{CC} U_C}$$

que, em consequência de, no ponto de equilíbrio se ter $\delta = N_A$, se transforma em

$$J = \begin{bmatrix} \delta & -P_C \\ -\Omega(C)N_{AA} & 0 \end{bmatrix}$$

e que tem como equação característica

$$c(\phi) = \phi^2 - \text{tra}(J) + \det(J)$$

gerando assim o seguinte par de valores próprios

$$[\text{III.39}] \quad \phi_i^2 = \frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \Omega(C)P_C N_{AA}}$$

Proposição III.8 - Seja $0 < \delta \leq N_A(A_m)$

- a) qualquer que seja o estado estacionário, desde que exista, ele é hiperbólico
- b) Para $C^* < C_C$ o estado estacionário é do tipo "ponto sela"
- c) Para $C^* > C_M$ o estado estacionário é um "foco instável"

Dem. a) É fácil verificar que desde que $\delta > 0$, os valores próprios associados ao sistema varacional são do tipo $\phi_j^2 = \frac{\delta}{2} \pm \Delta^{1/2}$ possuindo, por isso, parte real não nula, independentemente do valor do determinante.

b) Para $C^* < C_C$ ter-se-á

$$i. \quad P_C(C^*) > 0$$

$$ii. \quad \frac{U_C(C^*)P_C(C^*)}{U_{CC}(C^*)P_C(C^*) - P_{CC}(C^*)U_C(C^*)} < 0$$

$$iii. \quad N_{AA}(A^*) < 0, \quad \forall A$$

deste modo, $\det(J) < 0$ sendo, por seu turno, positivo o discriminante

$$\Delta = \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \Omega(C^*)P_C(C^*)N_{AA} > 0$$

Deste modo, o sistema de equações planares gera um par de valores próprios reais, sendo um positivo $\phi_1^2 = \frac{\delta}{2} + \Delta^{1/2}$ e outro negativo $\phi_2^2 = \frac{\delta}{2} - \Delta^{1/2}$, prefigurando assim uma estrutura topológica de tipo "ponto sela".

c) Para $C^* > C_M$ ter-se-á:

$$i. \quad P_C(C^*) < 0$$

$$ii. \quad \frac{U_C(C^*)P_C(C^*)}{U_{CC}(C^*)P_C(C^*) - P_{CC}(C^*)U_C(C^*)} < 0$$

$$iii. \quad N_{AA}(A^*) < 0, \quad \forall A$$

resultando daqui a positividade inequívoca do determinante: $\det(J) > 0$ e a impossibilidade de se conhecer claramente o sinal do discriminante e, com isso a estrutura topológica que localmente

caracteriza o ponto de equilíbrio de longo prazo. Para valores positivos da taxa de desconto, o estado estacionário será um "nó" se $\Delta > 0$, um "nó impróprio" se $\Delta = 0$ e um "foco instável" se $\Delta < 0$. Por isso, a demonstração será efectuada qualitativamente com recurso ao diagrama de fases já especificado nas fig. III.8 e III.9. É assim fácil de verificar que quando o estado estacionário se localiza no segmento estritamente convexo de $\dot{A} = 0$ é tipicamente um foco instável e, por isso, $\Delta < 0$ pelo que o sistema gera um par de raízes complexas conjugadas com parte real positiva e idênticas: formalmente

$$\phi_1^2 = \frac{\delta}{2} \pm \Delta^{1/2} = \text{re}\{\phi_1^2\} \pm \text{im}\{\phi_1^2\} = \frac{\delta}{2} \pm i\Delta^{1/2}$$

A fig. III.11 mostra os dois casos possíveis e completa a demonstração.

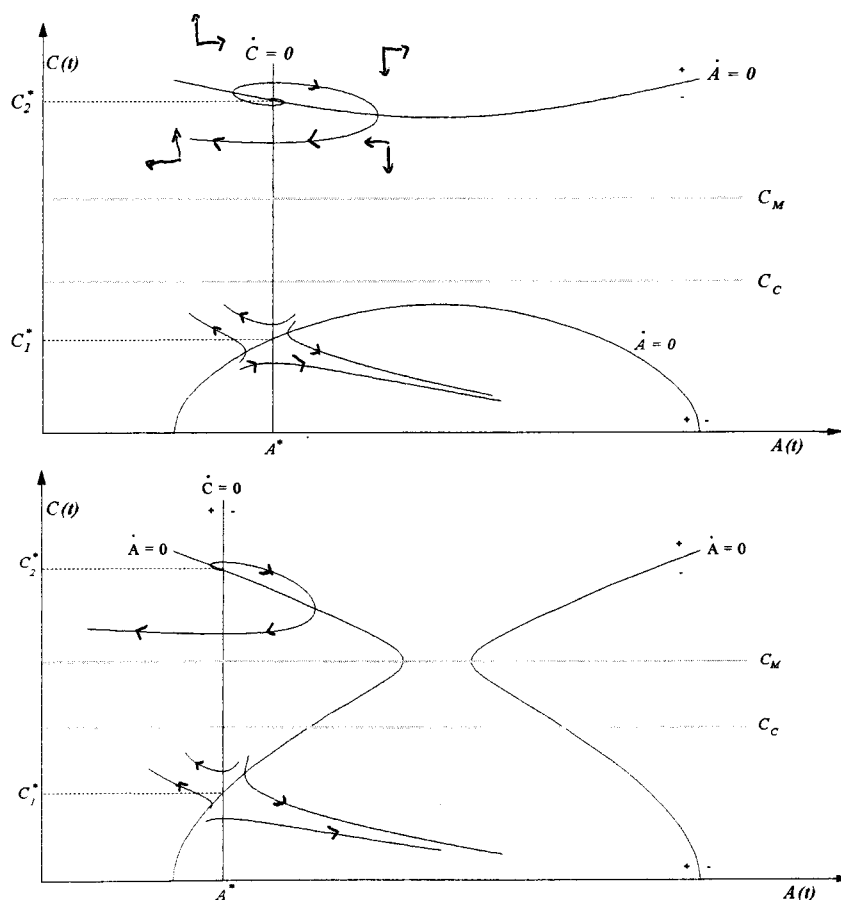


fig. III.11 - Dois estados estacionários com estruturas topológicas diferentes: Ponto Sela para estados estacionários localizados no segmento inferior de $\dot{A} = 0$ e Foco Instável para estados estacionários localizados no segmento superior de $\dot{A} = 0$.

◇

A presença de uma função perturbação não linear altera o quadro global que se obtém no modelo anterior. A mais significativa alteração consiste no aparecimento de estados estacionários múltiplos com estrutura dinâmicas diferentes consoante a localização dos pontos de equilíbrio sendo certo que não ocorrem na mesma região de estrutura topológica. Quando o estado estacionário exige um nível de consumo de equilíbrio suficientemente baixo de tal modo que qualquer aumento fará aumentar o efeito perturbador sobre a dinâmica regenerativa do stock de activos ambientais, o modelo possibilita a existência de um "caminho" óptimo que, para valores iniciais de C e A adequados, se dirige para o estado estacionário. Neste sentido, o output do modelo é idêntico ao caso linear.

Porém quando o consumo de equilíbrio é elevado de tal modo que níveis adicionais de consumo têm como consequência uma redução dos níveis perturbadores sobre $dA/dt=0$, a dinâmica interactiva entre os dois sistemas tem como resultado a total extinção de ambos. Dada a propriedade não convergente da espiral que caracteriza as trajectórias nesta zona, ambos os sistemas caminham inevitavelmente para a sua extinção.

Vejamos agora as consequências que alterações no único parâmetro passível de controle exógeno pode provocar sobre não apenas o aparecimento de estados estacionários como ainda da dinâmica que localmente os caracteriza.

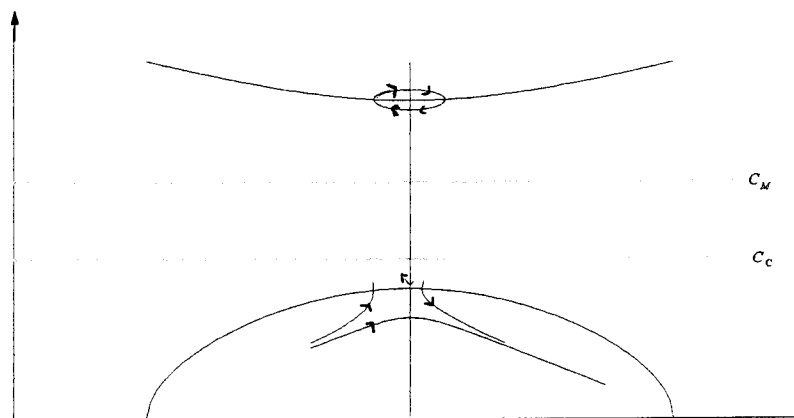
Proposição III.9 - *Seja $\delta = 0$. Então*

- a) *Para $C^* < C_C$ o estado estacionário, se existir, é hiperbólico e do tipo "ponto sela"*
- b) *Para $C^* > C_M$ o estado estacionário, se existir, é não-hiperbólico, estruturalmente instável e do tipo "centro"*

Dem. a) neste caso, se existir um estado estacionário os valores próprios vêm dados por $\phi_i^2 = \pm[-\det(J)]^{1/2}$. Como vimos na proposição anterior, para $C^* < C_C$, o determinante é negativo pelo que teremos um par de valores próprios reais, iguais mas de sinal contrário.

b) Se existir um estado estacionário, os valores próprios não têm parte real já que o $\det(J)$ é positivo. Por esse motivo, será um ponto de equilíbrio não-hiperbólico e os valores próprios são ambos números imaginários de sinal contrário: $\phi_i^2 = \pm im\{\phi_i^2\} = \pm i\Delta^{1/2}$ dando assim origem ao aparecimento de "centros" ou de "ciclos Limite" em torno do estado estacionário. δ é um parâmetro bifurcante, já que uma ligeira alteração do seu valor provoca a alteração da estrutura topológica do campo vectorial que está associada ao ponto de equilíbrio. A bifurcação a que dá origem dá pelo nome de Bifurcação de Hopf.

A fig. III.12, completa a demonstração.



◇

Para $C^* < C_C$, o estado estacionário, se existir, mantém a estrutura topológica de tipo ponto sela e o equilíbrio dá-se para níveis de stock de activos ambientais idênticos ao que se conseguia no modelo com função perturbação linear.

Porém, quando o equilíbrio se localiza no segmento estritamente convexo de $dA/dt=0$, o estado estacionário modifica a sua estrutura dinâmica local de "foco instável" para um "centro". O sistema passa a evoluir como se estivesse em "órbita" em torno do estado estacionário. A economia e o sistema natural interagem de tal modo que estão em permanente e perpétuo movimento cíclico. Períodos de elevado consumo e riqueza ambiental sucedem-se a períodos penúria ambiental e de escassez de alimentos, num ciclo verdadeiramente perpétuo. Qualquer perturbação exógena (que não na taxa de desconto) apenas afastam ou aproximam estas órbitas do seu centro atrator. E, o que se revela ainda mais dramático, se a sociedade se revelar impaciente face ao futuro, por muito ténue que seja essa impaciência, provocará, inevitavelmente e a prazo, a total destruição da sua fonte de alimento e, conseqüentemente, de si própria.

III.3 - Acumulação de Capital Natural num contexto em que os activos ambientais são fonte directa de Bem-Estar

Na Secção anterior procurámos analisar de modo rápido e simplificado o processo de crescimento económico de uma economia em que os activos ambientais eram encarados apenas nas suas funções de fornecedores de recursos (no caso, apenas para consumo) e de assimiladores dos desperdícios gerados, num enquadramento geral de ausência de produção. Nesta secção pretendemos manter a estrutura geral que serviu de base a esse modelo mas à qual acrescentaremos a capacidade que os activos ambientais têm de fornecer Bem-Estar directo a que fizemos referência no cap. I.

Em geral, os trabalhos que abordam o processo de crescimento económico com a consideração explícita do efeito bem estar fazem-no num contexto diferente daquele que nos preocupa aqui. Tratam-se, em regra, de análises que procuram avaliar o impacto sobre o crescimento económico de uma economia que depende de um recurso natural não-renovável e cuja extracção afecta a capacidade do recurso ambiental onde está instalado, de desempenhar a sua função de fornecimento directo de bem-estar. O problema consiste na determinação das condições em que é óptimo preservar permanentemente activos ambientais nos quais se encontram recursos naturais não-renováveis com potencialidades produtivas tradicionais mas cuja utilização conduz à sua inutilização enquanto fonte directa de bem-estar⁽¹⁾.

A atribuição de valores recreativos, estéticos, científicos, etc, faz aumentar o custo de oportunidade associado à extracção do recurso natural neles contido, comparativamente ao caso em que aqueles valores não são tomados em consideração. O preço inicial do recurso será mais elevado mas, a presença daqueles valores associados ao bem-estar assegurar-lhe-á um evolução temporal mais lenta. Consequentemente, quer o nível de consumo quer a taxa de extracção do recurso, tenderão a ser mais reduzidas do que na ausência do efeito bem-estar. Em certo sentido, o padrão de consumo que está associado às condições de óptimo, representa uma transferência de consumo do presente para o futuro.

Em resumo, mais do que assegurar a disponibilização de um potencial produtivo para as gerações futuras, o importante consiste em assegurar um fluxo de bem-estar proveniente de recursos ambientais não explorados do ponto de vista produtivo e num contexto em que neles existem recursos naturais não-renováveis dos quais o crescimento depende.

(1) Veja-se, por exemplo, Krutilla, J.V. (1967), Fisher, A., J. V. Krutilla, & Cicchetti (1972), Fisher, A. & J. V. Krutilla, (1974), Fisher, A. & J. V. Krutilla, (1975), Krautkraemer, J. (1985) e (1986).

A nossa análise partilha do princípio geral de que os activos ambientais possuem a capacidade de afectar e contribuir directamente para o bem-estar mas encara essa influência sobre o crescimento num contexto em que o stock de activos ambientais têm capacidade para se autoregenerarem. A presença no modelo do stock de activos ambientais, $A(t)$, com uma dinâmica de regeneração própria, significa que, em princípio, é possível manter, indefinidamente, um determinado nível de stock de activos ambientais. O perigo de extinção de $A(t)$ não é uma hipótese explicitamente assumida no modelo muito embora seja uma possibilidade potencial assim como não é uma preocupação nossa a existência de rivalidade nos usos potenciais do stock de activos ambientais no sentido de que da sua afectação à produção resulta, inevitavelmente, quer o impedimento da sua utilização pelo seu valor estético, científico, recreativo, etc, quer ao total esgotamento do recurso natural nele existente.

O nosso propósito consiste em analisar as consequências sobre o potencial e do padrão de crescimento económico de uma economia que assume e encara o stock de activos ambientais como um importante contribuinte para o seu bem estar, a par das restantes duas funções. Manteremos a estrutura inicial do modelo sem produção para, como tivemos ocasião de referir, estabelecer-mos os princípios básicos associados ao problema.

Começaremos por estabelecer o que designaremos por *Regra de Ouro do Crescimento Sustentável* ou seja o nível de equilíbrio de longo prazo que gera o mais elevado nível de utilidade que pode ser mantido indefinidamente num contexto em que aos bens ambientais são reconhecidos valores intrínsecos suficientemente importantes para os tornar argumento na função utilidade⁽¹⁾. Trata-se de uma extensão para o domínio das relações entre a economia e o ambiente do conceito de *Regra de Ouro do Crescimento Económico* avançado por Phelps (1961) e que consiste na adopção de num padrão de crescimento económico que origina o mais elevado nível de consumo per cápita que é possível manter indefinidamente⁽²⁾. Com termos ocasião de verificar, esta regra não gera, porém, um caminho óptimo de crescimento económico (a não ser que a economia já se encontre no estado estacionário) mas apenas um estado estacionário, um "estado terminal" de longo prazo cujo alcance pode ser efectuado por diferentes caminhos.

O segundo desenvolvimento que faremos nesta secção prende-se então com a determinação e qualificação do crescimento económico usando o tradicional critério utilitarista. Interessa-nos verificar

(1) Numa comunicação recentemente apresentada à VIª Conferência da European Association of Environmental and Resource Economists, G. Heal (1996) usa este conceito de Regra de Ouro no mesmo sentido e com o mesmo conteúdo pelo qual é usado neste trabalho. A sua preocupação, tal como a nossa, consiste no estabelecimento de uma configuração de equilíbrio de longo prazo entre o sistema económico e natural, compatível com o princípio de sustentabilidade a que já fizemos referência no capítulo II.

(2) Note-se a semelhança deste conceito e a ideia de Sustentabilidade tal como a abordámos no cap. II.

a existência de um estado estacionário e de um caminho óptimo que para ele se dirija, a sua coincidência (ou não) com o estado estacionário resultante da Regra de Ouro e, finalmente, inferir sobre a sua sustentabilidade a longo prazo.

III.3.1 - A Regra de Ouro do crescimento sustentável.

Considere-se, então, uma sociedade cuja avaliação que em cada momento t faz do estado da economia depende não apenas do nível de consumo corrente $C(t)$ como ainda do stock de activos ambientais de que pode dispôr, $A(t)$. Formalmente, a *Utilidade Instantânea*

$$[\text{III.40}] \quad U = U[C(t), A(t)]$$

evidencia as tradicionais regularidades matemáticas de continuidade, concavidade e duplamente diferenciável já enunciadas na hipótese U.1 do cap. I e que se resumiam de seguida:

$$[\text{III.41}] \quad U_C < 0 \quad ; \quad U_{CC} > 0$$

$$[\text{III.42}] \quad U_A < 0 \quad ; \quad U_{AA} > 0$$

$$[\text{III.43}] \quad U_{AA}U_{CC} - U_{CA}^2 > 0$$

$$\lim_{C \rightarrow 0} U_C(\cdot) = \infty \quad \lim_{C \rightarrow \infty} U_C(\cdot) = 0$$

[III.44]

$$\lim_{A \rightarrow 0} U_A(\cdot) = \infty \quad \lim_{A \rightarrow \infty} U_A(\cdot) = 0$$

As duas primeiras condições em conjugação com [III.44] traduzem a tradicional hipótese de que os benefícios líquidos provenientes do consumo corrente de bens ordinários e dos activos ambientais é

positivo muito embora decrescam à medida que se atingem níveis de consumo desses bens mais elevados. Viver numa zona residencial arborizada é sem dúvida agradável e mais atractivo do que viver no meio de um emaranhado de prédios urbanos impessoais. No entanto, é difícil imaginar que se retira o máximo benefício (ou Bem-Estar) quando se vive em plena selva tropical rodeado por um dos mais ricos e puros activos ambientais de que é possível dispôr. Por outro lado, [3.4] significa que o impacto marginal do stock de activos ambientais aumenta com o aumento do próprio nível de A .

Esta formulação contém em si duas características que convirá realçar. Em primeiro lugar, $U(\cdot)$ não evidencia nenhum limite superior. O nível de bem estar é crescente sempre com níveis crescentes de qualquer dos argumentos. Não tinha de ser assim. $U(\cdot)$ podia evidenciar um limite, sobretudo no que ao stock de activos ambientais diz respeito.

Repare-se que U_A é, à semelhança de U_C , sempre positivo, qualquer que seja o nível dos activos ambientais. No entanto é possível que a partir de determinado nível desses activos, a sociedade se revele "saturada" (por exemplo, pode considerar que já existe demasiada florestação). Para valores acima desse nível, $A(t)$ é entendido como impeditivo de uma "boa qualidade de vida" (pense-se no exemplo de zonas que devido a medidas de protecção e conservação, vêm crescer a população de determinadas espécies que começam a perturbar a vida dos habitantes dessas regiões). Neste caso, U_A tenderia a ser negativa. A taxa marginal de substituição entre A e C começaria por ser negativa, passaria a nula para, finalmente assumir valores positivos. Não é esta a nossa opção neste trabalho por razões que se prendem, fundamentalmente, com a natureza e complexidade da estrutura analítica do modelo.

No entanto, é possível tomar em consideração alguns dos aspectos que focámos no parágrafo anterior pela libertação de U_{CA} de qualquer sinal definido. A concavidade global de $U(\cdot)$ não impõe qualquer sinal para U_{CA} . Em princípio será de esperar que $U_{CA} > 0$ ou seja, o valor marginal do consumo aumenta com o incremento da qualidade ambiental. Um almoço num parque natural, junto a um rio ou no sopé de uma montanha é mais agradável do que se ele decorrer num ambiente poluído. Em muitos, porém, casos é possível verificar uma relação nula ou até negativa entre os benefícios associados a certos tipos de consumo e a estrutura ambiental em que ele tem lugar (pelo que se teria $U_{CA} = 0$ no primeiro caso e, $U_{CA} < 0$ no segundo). Daqui decorre que qualquer formulação que pretenda tomar em consideração esta dependência, não deve impôr qualquer restrição ao sinal de U_{CA} muito embora se recorra amiude ao caso em que $U_{CA} = 0$, pela simplificação analítica que permite. Quanto a nós, deixaremos em aberto nesta secção o sinal desta derivada cruzada.

Em todo o caso, qualquer que seja a hipótese assumida, a concavidade global da função utilidade em ambos os argumentos, independentemente do sinal de U_{CA} , modeliza a disponibilidade revelada pela sociedade em prescindir do consumo de bens ordinários para poder dispôr de uma unidade adicional de activos ambientais e manter o seu nível de utilidade intacto. Dito de outro modo, aceita-se a existência de um trade-off entre o consumo de bens ordinários e a disponibilidade de activos ambientais.

O problema que esta sociedade procura solucionar é então o de obter a combinação de C e A que permita conseguir indefinidamente o mais elevado nível de bem-estar. Todavia este objectivo está condicionado pela dinâmica própria aos activos ambientais mesmo quando afectada pela presença do consumo. Formalmente:

$$[III.45] \quad \dot{A}(t) = N[A(t)] - p[C(t)]$$

Obviamente que qualquer solução de longo prazo que satisfaça o critério social de bem-estar e, simultaneamente, respeite a restrição imposta pela natureza só é viável indefinidamente quando é atingido uma combinação de consumo e de activos ambientais de tal ordem que a perturbação causada pelo primeiro iguala a taxa natural de regeneração do stock de activos ambientais. Formalmente, isso significa que $A(t)$ apenas está em repouso quando $\dot{A}(t) = N[A(t)] - p[C(t)] = 0$, ou seja,

$$[III.46] \quad N[A(t)] = p[C(t)]$$

Para efeitos desta secção iremos assumir, sem qualquer perda de generalidade, que a função perturbação $p[C(t)]$ verifica as hipótese P.1 ou seja, $p[C(t)]$ é uma função linear relativamente ao consumo,

$$[III.47] \quad p[C(t)] = \pi C(t)$$

Clarificadas as hipóteses que servem de base ao problema, este resume-se a

$$\begin{aligned} & \text{Max } U(C,A) \\ \text{[III.48]} \quad & \text{s.a.} \\ & N[A(t)] = p[C(t)] \\ & C, A > 0 \end{aligned}$$

o que permite estabelecer a seguinte proposição:

Proposição III.10 - (*Regra de Ouro do Crescimento Sustentável*). Seja $U(C,A)$ uma função globalmente côncava em ambos os argumentos, $p(C)$ uma função linear em C e $N(A)$ uma função estritamente côncava para $A \in [A_m, \bar{A}]$. O nível de consumo $C(t)$ e de stock de activos ambientais $A(t)$ que garante o mais elevado valor para a utilidade instantânea (C^*, A^*) , é obtido quando a taxa à qual a sociedade está disposta a trocar consumo por activos ambientais iguala a taxa segundo a qual a natureza é capaz de efectuar essa troca. Formalmente, a solução é dada por:

$$\text{[III.49]} \quad \frac{N_A(A)}{\pi} = -\frac{U_A(\cdot)}{U_C(\cdot)}$$

Dem. A demonstração é imediata e decorre da maximização do Lagrangeano associado ao problema [III.48], cuja condição de primeira ordem para um máximo é a equação [III.49]. Graficamente, o nível de equilíbrio proporcionado pela Regra de Ouro corresponde ao ponto de tangência entre a curva de indiferença e a curva $N(A)/\pi$. A fig. [III.13] completa a demonstração.

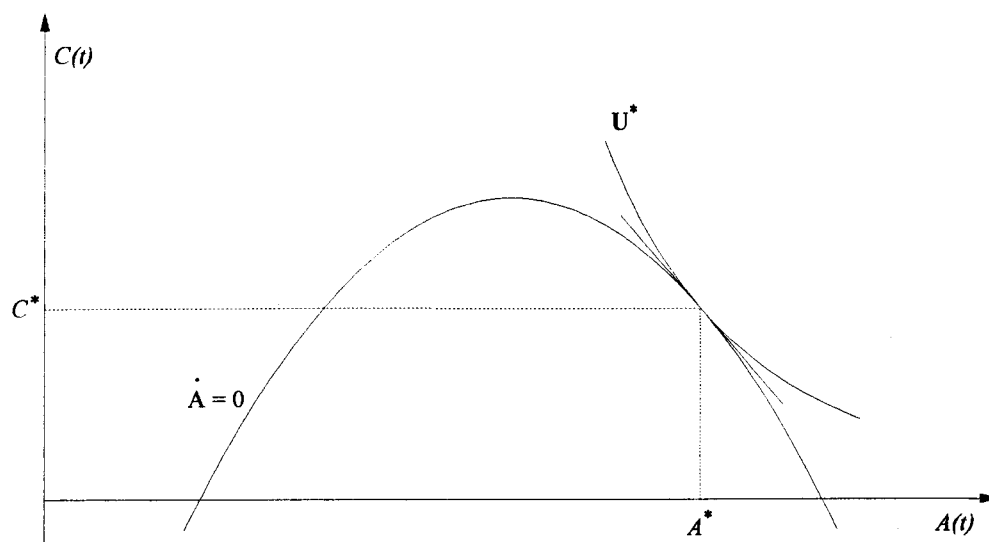


Fig. III.13 - Regra de Ouro do Crescimento Sustentável: a taxa à qual a sociedade está disposta a trocar consumo por activos ambientais deve igualar a taxa segundo a qual a natureza é capaz de proceder a essa troca

◇

O trade-off entre consumo e activos ambientais que o critério social de avaliação sobre o estado da economia deixa transparecer, impõe, pela própria definição, que a Taxa Marginal de Substituição entre Consumo e Activos Ambientais seja negativa ($-U_A/U_C < 0$) pelo que o equilíbrio de longo prazo dar-se-á, sempre, para níveis de stock de activos ambientais para os quais a sua produtividade marginal é já negativa, o que apenas ocorre quando $A \in]A_M, \bar{A}]$. Isto significa também que a presença do efeito bem-estar resulta num valor do stock de activos ambientais de equilíbrio superior ao que se obtinha no modelo em que esse efeito era ignorado. Quanto ao consumo de equilíbrio, ele é inequivocamente inferior na regra de ouro⁽¹⁾. A presença de valores estéticos, recreativos, etc a afectar o índice de bem-estar, impõe, por isso, que a sociedade aceite um equilíbrio de longo prazo caracterizado por um consumo mais reduzido e um nível de stock de activos ambientais mais elevado do que na ausência do efeito bem-estar.

Como é visível na fig. III.13, (C^*, A^*) não define, porém, nenhum caminho óptimo de crescimento económico para a colectividade, a não ser, obviamente, que esta já se encontre sobre a regra de ouro. A solução é apenas um formato de longo prazo, um estado estacionário onde C e A estão em repouso. Se a economia partir de uma combinação (C, A) diferente da regra de ouro, a deslocação para (C^*, A^*) pode assumir qualquer padrão, uns eficientes outros não, uns sustentáveis outros não. Mas este é um

(1) A ausência de efeito bem-estar transforma a condição [III.49] numa igualdade a zero. Deste modo $A^* = A_M$ e ao qual corresponde o valor mais levado de consumo que garante $dA/dt=0$.

aspecto que não pode ser deduzido a partir da formulação que efectuámos, já que se trata, sobretudo, de um exercício de estática.

Finalmente, não queríamos terminar este tema sem antes tecer alguns comentários sobre a regra de ouro e o princípio Rawlsiano de equidade intergeracional. Este princípio de equidade exige que, em cada momento, se maximize o menor valor de $U_i(C,A)$, e em que i , (com $i = 1, \dots, n$) representa os diferentes grupos populacionais nos quais a sociedade se encontra estruturada. Dito de outro modo, e usando a argumentação de Solow (1974), o critério de Rawls quando aplicado à sustentabilidade, exige que cada geração deixa à sua sucessora um stock de activos ambientais igual aquele que herdou das suas sucessoras. Qualquer acto de poupança praticado por uma determinada geração, empobrece-a relativamente às suas sucessoras (para não falar já das que a antecederam), o que é rejeitado pelo próprio princípio em si mesmo. Cada geração deve permanecer indefinidamente na configuração que herdou da sua antecessora que, por seu turno, corresponde à configuração inicial. Consequentemente, nenhuma acumulação de activos ambientais é admitida (a não ser a que seja necessária para compensar o crescimento populacional). O critério Rawlsiano amarra cada geração ao acidente histórico das condições iniciais que enfrenta e não legitima qualquer acto de poupança com vista ao futuro.

Em termos formais, suponha-se que uma determinada geração receba da sua antecessora A_0 unidades de activos ambientais. O critério Rawlsiano exige que, inevitavelmente essa geração tenha um volume de consumo dado por $C_0 = \frac{N[A_0]}{\pi}$, única forma de não alterar o stock de activos ambientais que herdou. Cada geração subsequente vê-se obrigada a seguir a mesma regra. Nenhuma geração pode aspirar a ter um nível de consumo diferente de C_0 sob pena de legar às suas sucessoras um nível de A diferente daquele que herdou. São as condições iniciais que determinam a solução para o problema da equidade intergeracional colocado pelo critério de Rawls. Uma sociedade pobre, permanecerá pobre indefinidamente. Como é fácil de verificar, apenas por mero acaso o nível de equilíbrio do critério de Rawls coincide com a solução da regra de ouro. A fig. III.14 sumaria o que acabámos de dizer.

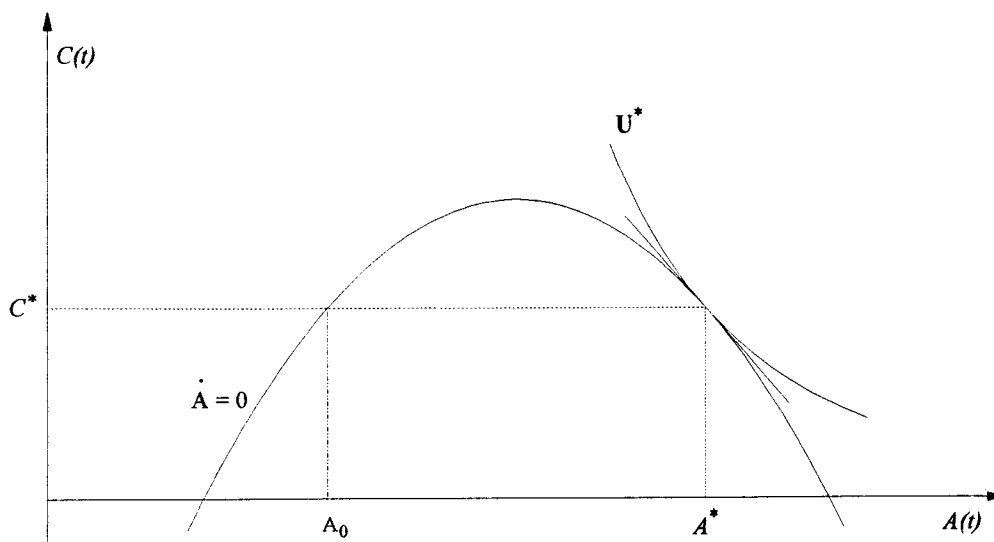


Fig. III.14 - Se cada geração receber da sua sucessora a economia com a combinação inicial (C^*, A_0) , o critério Rawsiano não permite qualquer acto de poupança que conduza a sociedade para a combinação da Regra de Ouro mas apenas que permaneça indefinidamente com a configuração que herdou.

III.3.2 - Crescimento Económico Sustentável: a visão utilitarista

Como tivemos ocasião de referir, a regra de ouro é, em essencial, um exercício de estática e, por isso, não é possível deduzir qualquer "caminho" óptimo em direcção ao estado estacionário. O exercício que agora faremos, procura assim determinar a existência por um lado de um estado estacionário coincidente ou não com a regra de ouro e, por outro, de um caminho óptimo sustentável de entre os vários possíveis. O problema consiste na determinação de um caminho que maximize o valor actual dos benefícios provenientes do consumo e do stock de activos ambientais, na condição de que seja respeitada a dinâmica própria a estes últimos. Formalmente, trata-se de

$$\text{Max} \int_0^{\infty} U(C, A)e^{-\delta t} dt$$

s.a

$$\dot{A} = N(A) - \pi C$$

[III.50]

$$C(0) = C_0$$

$$A(0) = A_0$$

com $C_0 > 0$; $A_0 > 0$; $\pi > 0$ e onde todas as variáveis e parâmetros assumem o significado já antes enunciado.

As condições necessárias para a resolução deste problema são geradas pelo Hamiltoniano Corrente

$$[III.51] \quad H(C, A, \beta, t) = U(C, A) + \lambda[N(A) - \pi C]$$

onde C é a Variável de Controle, A a Variável de Estado, t o tempo e $\beta = [\lambda, \pi]$, com $\beta \in \mathfrak{R}_+ \times \mathfrak{R}_+$, o vector dos parâmetros que o podem perturbar exogenamente.

A maximização do Hamiltoniano exige, como condição de 1ª ordem, que em cada momento, o preço sombra do stock de activos ambientais iguale a utilidade marginal proveniente do consumo, ponderada pela taxa à qual a regeneração dos activos ambientais é perturbada, π . A existência de um trade-off entre activos ambientais e consumo de bens ordinários significa que níveis adicionais de activos ambientais só são possíveis com o sacrifício de consumo presente. Daí que, no caminho óptimo, o preço sombra dos activos deva corresponder ao benefício marginal proveniente ao consumo de bens ordinários que é sacrificado de modo a proporcionar níveis adicionais de activos ambientais. Formalmente,

$$[III.52] \quad \frac{\partial H(\cdot)}{\partial C} = 0 \quad : \quad \frac{U_C(\cdot)}{\pi} = \lambda$$

Definição: (Solução Fechada) - Designa-se "solução Fechada" para uma determinada variável presente no Hamiltoniano corrente, ao seu valor óptimo dado pela condição de primeira ordem quando expresso como função de todos os seus determinantes

Deste modo, podemos estabelecer a seguinte proposição:

Proposição III.11 - (Solução fechada para o consumo) Considere-se a função utilidade instantânea como uma função globalmente côncava relativamente aos seus argumentos. A solução ótima para ao consumo virá expressa como função decrescente quer do preço-sombra do processo de acumulação de activos ambientais quer da taxa de perturbação do seu ritmo natural de regeneração e como função crescente do próprio nível de stock de activos ambientais.

$$[\text{III.53}] \quad \hat{C} = U_c^{-1}(\pi\lambda, A) = \hat{c}(\pi\lambda, A)$$

com

$$[\text{III.54}] \quad \frac{\partial \hat{c}(\pi\lambda, A)}{\partial \lambda} = \hat{c}_\lambda = \frac{\pi}{U_{cc}} < 0$$

$$[\text{III.55}] \quad \frac{\partial \hat{c}(\pi\lambda, A)}{\partial \pi} = \hat{c}_\pi = \frac{\lambda}{U_{cc}} < 0$$

e

$$[\text{III.56}] \quad \frac{\partial \hat{c}(\pi\lambda, A)}{\partial A} = \hat{c}_A = -\frac{U_{cA}}{U_{cc}} > 0$$

Dem. Diferenciando totalmente [III.52], usando o conceito de "Elasticidade da Utilidade Marginal" definido como

$$[\text{III.57}] \quad \sigma(c) = -\frac{U_{cc}(\cdot)}{U_c(\cdot)} C \quad \text{e} \quad \sigma(A) = \frac{U_{cA}(\cdot)}{U_c(\cdot)} A$$

ambos positivos e aplicando o Teorema da Função Implícita (possível pela concavidade de $U(\cdot)$). obtém-se, facilmente, [III.54], [III.55] e [III.56] que podem ser reescritas do seguinte modo:

$$[\text{III.54-a}] \quad \hat{c}_\lambda = \frac{\pi}{U_{cc}} < 0$$

$$[\text{III.55-b}] \quad \hat{c}_\pi = -\frac{C}{\pi\sigma(c)} < 0$$

e

$$[\text{III.56-c}] \quad \hat{c}_A = \frac{\sigma(A)}{\sigma(c)} \frac{C}{A} > 0$$

◇

Estas relações definem três efeitos fundamentais. Em primeiro lugar, qualquer alteração no preço intertemporal de A conduz a uma modificação no consumo de sinal contrário. Quando o preço sombra de A aumenta (diminui), o custo de oportunidade associado ao consumo tenderá a também a aumentar, induzindo, por isso, a uma contracção no consumo de bens ordinários. O mesmo fenómeno ocorre quando aumenta a perturbação sobre a dinâmica de regeneração de A . A maior pressão sobre o stock de activos ambientais, aumenta o custo de oportunidade de C que induz a uma redução desta variável.

Finalmente, o efeito resultante de modificações exógenas em A . A única forma de manter inalterado o preço intertemporal de A perante uma perturbação do stock de activos ambientais, é conseguir uma variação no consumo de bens ordinários no mesmo sentido. No caso em que $U(\cdot)$ não é aditivamente separável, qualquer aumento exógeno de A faz aumentar o benefício marginal do consumo que apenas pode ser anulado se este variar no mesmo sentido e no montante necessário para compensar aquela perturbação (no caso particular de $U(\cdot)$ evidenciar Rendimentos Constantes à Escala -caso em que se tem $\sigma(c) = \sigma(A)$ - a variação necessária de C para compensar a modificação exógena de A deve ser exactamente no mesmo montante)⁽¹⁾.

Substituindo agora [III.53] no Hamiltoniano [III.51], obtemos um novo Hamiltoniano Corrente Modificado (HCM)

$$[\text{III.58}] \quad \bar{H}(\cdot) = U[\hat{c}(A, \pi\lambda), A] + \lambda[N(A) - \pi\hat{c}(A, \lambda)]$$

(1) Obviamente que se $U(C, A)$ for aditivamente separável este efeito não se faz sentir uma vez que os benefícios marginais de C (ou mesmo de A) não são afectados pela presença de A (ou de C).

Cujas equações canónicas dão origem ao seguinte Sistema Dinâmico Hamiltoniano Modificado (SDHM)

$$\begin{aligned} \dot{A} &= N(A) - \pi \hat{c}(A, \pi \lambda) \\ \text{[III.59]} \quad \dot{\lambda} &= (\delta - N_A) \lambda - U_A[\hat{c}(A, \pi \lambda), A] \end{aligned}$$

e sendo a condição de transversalidade dada por $\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \lambda(t) = 0$.

A primeira equação reproduz para o plano (λ, A) a taxa de regeneração dos activos ambientais. A segunda equação diferencial estabelece o padrão evolutivo do preço sombra do processo de acumulação de activos ambientais e, dada a sua importância, merece ser analisada com mais cuidado. Para o fazermos, resolvamo-la em ordem a $\dot{\lambda}/\lambda$ de modo a obter

$$\text{[III.60]} \quad \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} + N_A + \frac{U_A}{\lambda} = \delta$$

que indica que durante o caminho óptimo, se existir, a taxa global de remuneração dos activos ambientais (dada pela soma entre a taxa de variação do preço sombra $(\dot{\lambda}/\lambda)$ com o valor marginal da sua contribuição para o bem-estar $(\frac{U_A}{\lambda})$ e a "taxa de juro natural", N_A) deve igualar a taxa de impaciência da sociedade. Por isso, comparativamente ao modelo com ausência de efeito bem-estar, para cada nível de A e dada uma mesma taxa de impaciência, o preço sombra evolue agora a um ritmo mais lento e, conseqüentemente, o consumo pode evoluir a uma taxa mais elevada desde que a sua contribuição média para o valor marginal de A seja superior à sua contribuição marginal. Para vermos isso, diferenciemos totalmente [III.52] para, usando [III.57], obtermos, finalmente

$$\text{[III.61]} \quad \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma(C)} \left[(N_A - \delta) + \frac{U_{AC}}{U_C} N(A) - \pi \frac{C}{U_C} \left(U_{AC} - \frac{U_A}{C} \right) \right]$$

A concavidade de $U(\cdot)$, face a ambos os argumentos e a positividade de $N(A)$ para $A_m < A < \bar{A}$ impõe que a taxa de crescimento do consumo seja inequivocamente superior com a presença do efeito bem estar sempre que $U_{AC} < \frac{U_A}{C}$ (1). E, muito embora não possamos demonstrar analiticamente, este resultado permite induzir que qualquer que seja o valor inicial de A , o nível de consumo inicial que viabiliza a trajectória óptima é inferior ao necessário na ausência de efeito bem-estar. Isto significa também que a presença do efeito bem-estar permite que a taxa de variação dos activos ambientais seja superior à que se conseguia no caso em que A estava ausente do critério de avaliação social do bem-estar.

Vejamos agora o que é possível dizer sobre a existência de estados de equilíbrio de longo prazo. Para o fazermos, usemos [III.52] e transformemos o sistema canónico [III.59] no seu equivalente

$$\begin{aligned} \dot{A} &= N(A) - \pi C \\ \text{[III.62]} \quad \dot{C} &= \frac{U_C}{U_{CC}} \left\{ (\delta - N_A) - \pi \frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_C} \dot{A} \right\} = \frac{C}{\sigma(C)} \left\{ \pi \frac{U_A}{U_C} + \frac{U_{CA}}{U_C} \dot{A} - (\delta - N_A) \right\} \end{aligned}$$

Proposição III.12 - *Seja $U(C,A)$ uma função côncava relativamente aos dois argumentos e $N(A)$ uma função estritamente côncava no intervalo $A_m \leq A \leq \bar{A}$. Para $\delta \geq 0$, o problema enunciado em [III.50] pode ter zero, uma ou duas soluções estacionárias. Existindo, os valores de equilíbrio de longo prazo para C e A devem satisfazer o seguinte sistema de equações*

$$\text{[III.63]} \quad C = \frac{N(A)}{\pi}$$

$$\text{[III.64]} \quad \frac{U_A}{U_C} = \frac{(\delta - N_A)}{\pi} \quad \Rightarrow \quad C = \chi(A, \delta, \varepsilon_C / \varepsilon_A) = \frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_A} \frac{(\delta - N_A)}{\pi} A$$

(1) Recorde-se que com ausência de efeito bem-estar, a taxa de crescimento do consumo vem dada pela expressão

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma(C)} [N_A - \delta]$$

onde $\varepsilon_C = U_C(\cdot) \frac{C}{U(\cdot)}$ e $\varepsilon_A = U_A(\cdot) \frac{A}{U(\cdot)}$ representam as elasticidades da utilidade face, respectivamente, ao consumo e ao stock de capital natural.

Dem. Por definição, o estado estacionário ocorre quando $\dot{C} = \dot{A} = 0$ donde, usando a noção de elasticidade, é fácil verificar que [III.62] dá origem a [III.63] e [III.64] onde o consumo surge como função do stock de activos ambientais. A primeira das duas equações reproduz o já nosso conhecido nível de consumo necessário de modo a que o stock de activos ambientais permaneça em repouso. A segunda, equação indica as combinações de consumo e activos ambientais de modo a que, não apenas o consumo permaneça inalterado, como ainda o próprio nível de activos ambientais. A existência (ou não) de estados estacionários (únicos ou múltiplos) deve, por isso, ser analisada a partir do estudo pormenorizado de cada uma das duas funções.

Em virtude das propriedades de $N(A)$, [III.63] é estritamente côncava no mesmo intervalo de $N(A)$. Todavia, o comportamento de $\chi(\cdot)$ é mais complexo mas pode ser estudado a partir da sua derivada em ordem a $A^{(1)}$.

$$[III.65] \quad \left. \frac{\partial C}{\partial A} \right|_{\dot{C}=0} \Big|_{A=0} = \chi_A(\cdot) = \frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_A \pi} [(\delta - N_A) - AN_{AA}]$$

Esta expressão pode assumir valores negativos, nulos ou positivos, tudo dependendo da relação entre o termo $(\delta - N_A)$ e AN_{AA} . Assim, podemos afirmar que

(1) A análise sobre a existência de estados estacionários poderia ser conduzida a partir exclusivamente da curva $\dot{C} = 0$:

$$C|_{\dot{C}=0} = \chi(\cdot) = \omega [A(\delta - N_A) - \sigma(A)N(A)]$$

com

$$\omega = \frac{\varepsilon_C}{\pi(\varepsilon_A - \varepsilon_C \sigma(A))} > 0$$

uma constante positiva desde que $\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_C} > \sigma(A)$, ou, dito de outro modo, desde que $\frac{U_A}{C} > U_{AC}$. A opção nesta fase pela

curva $\dot{C}|_{A=0} = 0$ no estudo desenvolvido deve-se apenas à simplificação que ela permite. Evidentemente os resultados são qualitativamente idênticos qualquer que seja a função escolhida. As duas curvas interceptam-se sempre sobre a curva $\dot{A} = 0$. Onde $\chi(\cdot)|_{\dot{C}=0}$ gerar um estado estacionário, [III.64] gera também uma solução estacionária.

$$\chi_A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad (\delta - N_A) \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A N_{AA}$$

Recorde-se contudo que $N_{AA} < 0 \forall A > 0$, pelo que χ_A será sempre positiva e $\chi(\cdot)$ será uma função crescente em A , desde que $(\delta - N_A) > 0$ o que é claramente exigido por [III.64]. Por outro lado, para uma determinada taxa de impaciência da sociedade, $\chi(\cdot)$ tem zeros para $A = 0$ e para $A_\delta > 0: \delta = N_A(A_\delta)$, donde se pode concluir que, para $A \geq A_\delta \Rightarrow (\delta - N_A) \geq 0$ ao passo que para $0 < A < A_\delta$ se terá $(\delta - N_A) < 0$. Ou seja, $\chi(\cdot)$ terá inequivocamente um segmento positivo e crescente à direita de A_δ e será esse segmento que tenderá a cruzar a curva $\dot{A} = 0$ sempre de baixo para cima em um ou em dois pontos. Todavia, os valores dos parâmetros que afectam a equação, podem ser de tal ordem que $\chi(\cdot)$ não consiga interceptar a curva $\dot{A} = 0$ em nenhum ponto e, por isso, o problema inicial não gera qualquer estado estacionário. A fig. III.15 completa a demonstração.

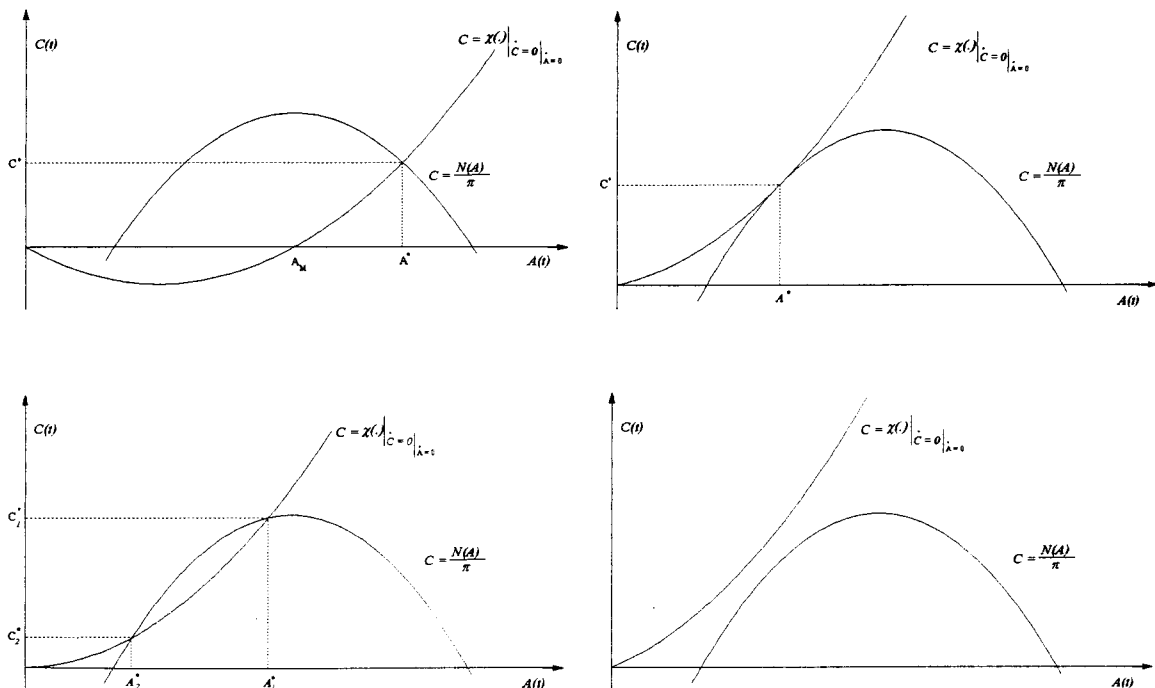


Fig. III.15 - A existência de um Threshold Effect na função de regeneração natural pode dar origem a zero, uma ou duas soluções estacionárias de longo prazo.

◇

A proposição anterior suscita dois aspectos interessantes que não são imediatamente visíveis e, em ambos os casos a taxa de desconto joga um papel importante. Em primeiro lugar, a impossibilidade de se garantir à partida a existência de um único estado estacionário. Esta impossibilidade é, porém, apenas aparente uma vez que, salvaguardadas determinadas condições a explicitar mais adiante, é possível assegurar a existência de apenas uma única solução estacionária.

É a taxa de impaciência da sociedade que determina a posição de $\chi(\cdot)$ e, com isso, ela adquire uma importância fundamental para a obtenção de um dois ou mesmo nenhum estado de equilíbrio de longo prazo. Com efeito, repare-se que

$$\chi_{\delta}(\cdot) = \frac{\varepsilon_C}{\pi \varepsilon_A} A > 0$$

o que significa que qualquer variação na taxa de desconto permite ao consumo variar no mesmo sentido de modo a assegurar que, para um mesmo nível de stock de activos ambientais, se verifique $\dot{C} = 0 \Big|_{A=0}$. Aumentos em δ , fazem deslocar paralelamente e para cima a curva $\dot{C} = 0 \Big|_{A=0}$. Deste modo, existe uma dada taxa de desconto que designaremos por δ_1 de tal forma que para $0 \leq \delta < \delta_1$ o modelo gera apenas um único estado estacionário.

Como já dissemos anteriormente, $\dot{C} = 0 \Big|_{A=0}$ tem zeros para $A = 0$ e para $A = A_{\delta} : N_A = \delta$. Assim, sempre que a taxa de desconto seja de tal ordem que $A_m < A_{\delta} \leq A_M$, o modelo gera inequivocamente uma única solução estacionária. Apenas quando $\delta \geq \delta_1 : [\delta_1 - N_A(A_m)] = 0$, o modelo começa a gerar duas soluções estacionárias. Porém, a concavidade estrita da função regeneração e a existência de um valor crítico para A , pode fazer com que, para elevados valores da taxa de desconto, o modelo gere um único estado estacionário no ponto de tangência entre $\dot{C} = 0 \Big|_{A=0}$ e $\dot{A} = 0$ ou mesmo não existir de todo qualquer estado estacionário.

O segundo aspecto que queremos abordar diz respeito à comparação do estado estacionário com a regra de ouro. Recorde-se que esta exige que

$$-\frac{U_A(\cdot)}{U_C(\cdot)} = \frac{N_A(A)}{\pi}$$

e que, agora, o estado estacionário exige que

$$-\frac{U_A(\cdot)}{U_C(\cdot)} = \frac{(N_A(A) - \delta)}{\pi}$$

Inequivocamente, a presença de uma taxa de desconto não nula obriga a um aumento (em valor absoluto) da taxa marginal de substituição entre C e A comparativamente ao que a regra de ouro exigia. Para conseguir uma unidade adicional de A a sociedade dispõe-se agora a prescindir de uma maior volume de C . O nível de activos ambientais de equilíbrio é agora inferior e, no caso da taxa de impaciência se encontrar no intervalo necessário para que o modelo gere apenas uma única solução estacionária, o valor do consumo correspondente ao estado estacionário, é, pelo contrário superior ao que resultaria na regra de ouro. Por esse motivo A é agora relativamente mais escasso e, por isso, mais valorizado.

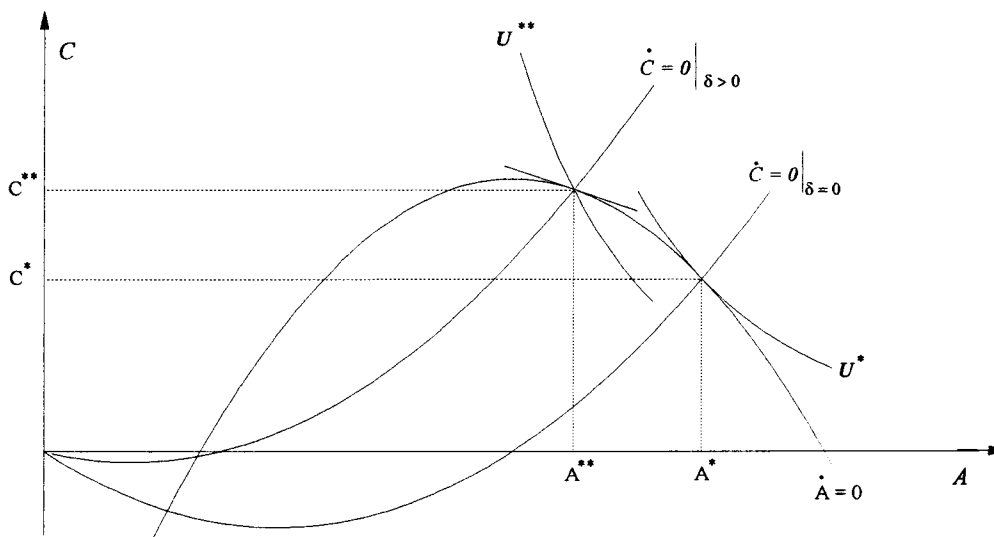


Fig. III.16 - Soluções estacionárias para dois valores diferentes de δ . Quando $\delta = 0$ a solução de equilíbrio coincide com a Regra de Ouro. À medida que aumenta a taxa de desconto, a solução estacionária exige níveis menores de A e, até certo momento, maiores de C .

Por outro lado, não existe coincidência entre a taxa à qual a sociedade aceita trocar C por A e a Taxa à qual a natureza permite que essa troca se efectue. N_A/π é agora menor (em termos absolutos) do que pretendido pela sociedade. É a taxa de desconto que está na origem deste desencontro, obrigando, por isso a uma sobre exploração dos activos ambientais e, conseqüentemente, a um aumento do nível de consumo de equilíbrio, tornando assim relativamente escasso o stock de activos ambientais e, por isso, socialmente mais valioso (em termos de C).

Conseqüentemente, o índice de bem-estar proporcionado pelo estado estacionário é inferior ao resultante da regra de ouro. A presença de uma taxa de impaciência não nula, é assim responsável por uma redução no bem-estar desta sociedade. Apenas quando esta sociedade é indiferente à passagem do tempo (Caso em que $\delta = 0$) - ou quando revela perfeita solidariedade face às gerações futuras- o equilíbrio de longo prazo coincide com a regra de ouro.

III.3.2.1 - Estabilidade estrutural

Tal como nos casos anteriores, a estabilidade estrutural será estudada a partir da linearização do sistema canónico [III.59], composto por duas equações diferenciais, não lineares e com apenas uma variável de estado (1 grau de liberdade), cujo Jacobiano vem dado por

$$[III.66] \quad J = \begin{bmatrix} N_A - \pi \hat{c}_A & \pi \hat{c}_\lambda \\ -\{\lambda N_{AA} + U_{AA} + U_{AC} \hat{c}_A\} & (\delta - N_A) - U_{AC} \hat{c}_\lambda \end{bmatrix}$$

que, depois de avaliado no ponto de equilíbrio⁽¹⁾ e utilizando [III.54] e [III.56], pode ser transformado do seguinte modo

(1) A avaliação no ponto de equilíbrio exige que $\dot{A} = \dot{C} = 0$ o que corresponde à verificação da seguinte identidade

$$\frac{U_A}{U_C} = \frac{(\delta - N_A)}{\pi}$$

$$[\text{III.66-a}] \quad J = \begin{bmatrix} \delta - \pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) & -\frac{\pi}{U_{CC}} \\ -\left\{ \lambda N_{AA} + \frac{1}{U_{CC}} [U_{CC} U_{AA} - (U_{CA})^2] \right\} & \pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) \end{bmatrix}$$

e cuja equação característica gera o seguinte par de valores próprios

$$[\text{III.67}] \quad \phi_i^2 = \frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - |J|}$$

com

$$[\text{III.68}] \quad |J| = \det(J) = \left[\delta - \pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) \right] \pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) - \left\{ \frac{\pi^2}{U_{CC}} \left[\lambda N_{AA} + \frac{1}{U_{CC}} [U_{CC} U_{AA} - (U_{CA})^2] \right] \right\}$$

Proposição III.13 - *Seja $0 \leq \delta < \delta_1$ e $\pi > 0$. Então, o problema [III.50] gera apenas uma única solução estacionária que será hiperbólica e com topologia típica de "ponto sela".*

Dem. A existência de apenas um único estado estacionário já foi objecto de demonstração anterior pelo que não a retomaremos aqui.

O facto de o ponto de equilíbrio ser hiperbólico resulta imediatamente das raízes características associadas ao Jacobiano [III.66-a]. Para um valor positivo da taxa de desconto, as raízes têm, claramente, parte real não nula.

No caso de $\delta = 0$, então os valores virão dados exclusivamente pela expressão

$$\phi_i^2 = \pm \sqrt{-\det(J)}$$

sendo, por isso, necessário que o determinante seja negativo de modo a que J gere um par de valores próprio iguais, de sinal contrário e reais, o que é assegurado em virtude da concavidade das funções envolvidas. Com efeito, neste caso

$$\det(J)|_{\delta=0} = - \left\{ \left[\pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) \right]^2 + \frac{\pi^2}{U_{CC}} \left[\lambda N_{AA} \left[U_{AA} U_{CC} - (U_{CA})^2 \right] \right] \right\} < 0$$

O ponto de equilíbrio terá uma estrutura dinâmica típica de "ponto sela" desde que $\text{Tra}(J) = \delta \geq 0$ e $\det(J) < 0^{(1)}$. No caso em que a taxa de impaciência é nula, vimos anteriormente que o $\det(J)$ é claramente negativo pelo que o estado estacionário é um ponto sela.

Para $0 < \delta < \delta_1$ o $\det(J)$ é também negativo para valores suficientemente pequenos de δ_1 . Na verdade, o $\det(J)$ pode ser reescrito do seguinte modo

$$\det(J) = \delta \pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) - \left[\pi \left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) \right]^2 - \left\{ \frac{\pi^2}{U_{CC}} \left[\lambda N_{AA} + \frac{1}{U_{CC}} \left[U_{CC} U_{AA} - (U_{CA})^2 \right] \right] \right\}$$

Cada uma das três parcela é claramente positiva em face da positividade de δ e π e da concavidade de $U(.)$. Assim sendo, para que o determinante seja negativo será necessário que na primeira parcela,

(1) Veja-se, por exemplo, TU, P (1994), Perku, L (1991) ou ainda Hale, J & H. Koçak (1991).

$\delta\pi\left(\frac{U_A}{U_C} - \frac{U_{CA}}{U_{CC}}\right)$, δ seja suficientemente pequeno para que a positividade deste termo não compense e anule os restantes termos do determinante⁽¹⁾.

A análise da dinâmica associada ao equilíbrio será completada com o recurso ao estudo qualitativo a partir do diagrama de fases associado ao problema. As duas curvas relevantes no plano (C,A) , são $\dot{C} = 0$ e $\dot{A} = 0$ do sistema canónico [III.62] que definem 4 zonas com dinâmicas diferentes e que podem ser caracterizadas a partir do estudo do comportamento de cada uma das variáveis que entram neste problema. Assim a dinâmica de A é determinada a partir da posição de qualquer par (C,A) relativamente ao necessário para garantir a constância de A : $\dot{A} = 0 : C = N(A)/\pi$.

Esquemáticamente

$$\dot{A} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \text{ sse } C(t) \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} \frac{N[A(t)]}{\pi}, \quad \forall t$$

Por outro lado o comportamento dinâmico de $C(t)$ é determinado pela posição que em cada momento o par (C,A) tiver relativamente à curva $\dot{C} = 0$ dada pela expressão [III.62]. Assim

$$\dot{C} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \text{ sse } C(t) \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} \frac{\varepsilon_C}{\pi(\varepsilon_A - \varepsilon_C \sigma(A))} \left\{ A(t) [\delta - N_A[A(t)]] - \sigma(A) N[A(t)] \right\}, \forall t$$

Os dois gráficos da fig. III.17 completam a demonstração

(1) Outro modo de verificar a negatividade de $\det(J)$ consiste em introduzir na primeira parcela de [III.68] a condição de equilíbrio [III.64], tomando esta parcela o seguinte aspecto: $\left(N_A + \pi \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right) \left[(\delta - N_A) - \pi \frac{U_{CA}}{U_{CC}} \right]$. Deste modo, para

$A^* \geq A_M$, $N_A \leq 0$, pelo que esta parcela será inequivocamente negativa. Porém a mesma certeza já não é possível ter quando o valor de equilíbrio para o stock de activos ambientais se regista para valores inferiores a A_M .

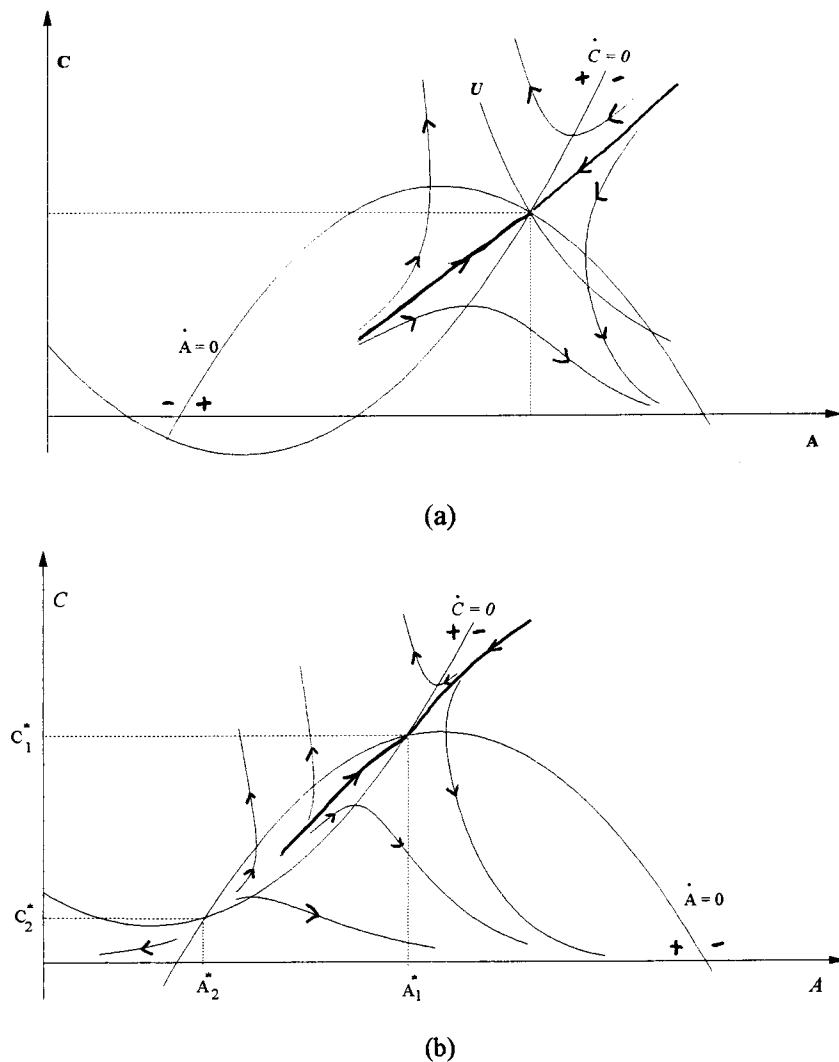


Fig. III.17 - Estado de equilíbrio -único em (a) e duplo em (b)- e respectiva estrutura dinâmica. Em (b) apesar de existirem dois estados estacionários apenas (C_1^*, A_1^*) é "atractor" no sentido do ponto sela. Inversamente, (C_2^*, A_2^*) é um estado estacionário "repulsivo" em direcção ao qual nenhuma trajectória $\{C(t), A(t)\}_{t \rightarrow \infty}$ se dirigirá.

◇

Convirá ter presente que o estudo que acabámos de efectuar assume como um dos seus postulados que $U_{CA} = U_{AC} > 0$. Todavia, quais as consequências de se considerar que $U_{CA} = U_{AC} = 0$?

No caso de $U(\cdot)$ ser aditivamente separável o $\det(J)$ viria

$$\det(J) = \left(\delta - \pi \frac{U_A}{U_C} \right) \pi \frac{U_A}{U_C} - \left[\frac{\pi^2}{U_{CC}} (\lambda N_{AA} + U_{AA}) \right]$$

ou, uma vez que em equilíbrio se terá $\delta - \pi \frac{U_A}{U_C} = N_A$

$$\det(J) = N_A(\delta - N_A) - \left[\frac{\pi^2}{U_{CC}} (\lambda N_{AA} + U_{AA}) \right]$$

Quando $A^* \geq A_M$ ter-se-á, seguramente $N_A \leq 0$ e $(\delta - N_A) \geq 0$ pelo que o determinante é inequivocamente negativo. Deste modo, o estado estacionário terá uma estrutura topológica do tipo ponto sela. Porém, quando $A^* < A_M$, o determinante continuará negativo para valores suficientemente pequenos de d para que o termo δN_A não possa anular a negatividade das restantes parcelas do determinante.

III.4 - Conclusão

O capítulo procura analisar as consequências sobre o crescimento económico num contexto de ausência de produção de bens ordinários e acumulação de stock de capital económico em que os activos ambientais são explicitamente tomados em consideração nos modelos. O princípio básico subjacente consiste em aceitar que o sistema económico interage com o sistema natural

Numa primeira fase, esta inter-relação entre os dois sistemas faz-se apenas por via do fornecimento de inputs para o consumo e a consequente perturbação da função regenerativa, própria aos activos ambientais.

Quanto a perturbação é linear face ao consumo, é possível encontrar um único estado estacionário onde consumo e stock de activos ambientais permanecem indefinidamente em repouso. Sendo uma estrutura dinâmica típica de ponto sela, existe apenas um único caminho óptimo que para ele se dirige com a característica de ser eficiente (no sentido de Pareto) e sustentável no sentido em viabiliza uma trajectória pelo menos não decrescente para o bem-estar e para o stock de activos ambientais. Nenhum outro "caminho" possui esta característica. O modelo mostra ainda que não é necessário a constância do stock de activos ambientais (defendida por muitos autores como condição para a sustentabilidade)

para que a economia registre uma trajetória de crescimento económico sustentável quer do ponto de vista económico quer ambiental.

Todavia o estado estacionário de longo prazo verifica-se sempre para um nível de activos ambientais inferior ao nível a que está associado a mais elevada taxa de regeneração, a não ser que a sociedade adopte uma taxa de desconto nula.

Quando a perturbação da função regeneração é não linear, o quadro global descrito anterior não se altera significativamente quando o nível de consumo é ainda de tal modo reduzido que a perturbação que ocasiona é crescente. No entanto, o modelo gera estados estacionários múltiplos com característica topológicas diferentes. Para estados de equilíbrio situados na fase em que a função é já decrescente com o consumo, a estrutura dinâmica assume a forma de uma espiral não-estável e nenhum caminho se dirigirá para o estado estacionário. Este é o único "caminho" possível para esta economia caso, obviamente as condições de partida com ele coincidam. Quando tal não sucede, os dois sistemas tenderão para a extinção mútua.

Apenas quando a sociedade se revela paciente face ao futuro, (caso em que $\delta = 0$), o estado estacionário (se existir) na zona descendente da função perturbação, tem topologicamente a característica de "Ciclos Limite". Qualquer que seja o valor de partida, as trajetórias são concêntricas face ao estado estacionário. A períodos de elevado consumo e de riqueza ambiental sucederão períodos de escassez de activos ambientais e, conseqüentemente de baixo consumo. O interessante é que a economia não consegue sair do ciclo de pobreza, riqueza, pobreza, etc em que esta situação a coloca. Qualquer perturbação exógena fá-la apenas "saltar" para outra "órbita" mais longe ou mais perto do estado estacionário consoante o sentido da perturbação mas sem que se consiga libertar no ciclo em que está envolvida.

A presença de uma função perturbação estritamente côncava, muito embora com um segmento inicial convexo, coloca algumas questões interessantes, umas formais outras mais de conteúdo. Em primeiro lugar, os estudos empíricos que mostram uma relação em forma de U-invertido indicam que se trata mais de um "resultado" do que uma hipótese de partida. Pelo contrário, o nosso trabalho, assume a sua existência como uma hipótese de trabalho. Interessou-nos analisar em que medida esta relação exogenamente assumida, influenciava o padrão global de crescimento económico usando o critério utilitarista de equidade intergeracional. Tal como referimos, os resultados apontam para duas situações distintas que nos fazem pensar sobre o optimismo suscitado pela Curva Ambiental de Kuznets.

Em primeiro lugar, apenas na fase crescente de $P(C)$ o estado estacionário pode ser alcançado por uma trajetória de crescimento económico que para além de óptima é ainda sustentável (apesar da reduzida probabilidade de isso suceder) se a economia se encontrar numa posição inicial coincidente com ele. Se, para um dado volume de capital natural, o valor do consumo for suficientemente elevado de modo a que a função perturbação é já decrescente em C , a única forma que a sociedade tem de não sucumbir é ter a sorte de já se encontrar sobre o equilíbrio de longo prazo ou desistir de provocar a assimetria intertemporal entre as gerações presentes e futuras.

Em segundo lugar, a forma específica da função perturbação levanta uma questão que não foi explicitamente considerada na modelização efectuada. Tal como ele se apresenta formulada, a função terá um zero para um valor elevado de consumo. É duvidoso que, na prática, se obtenham níveis de perturbação nulos sobre a dinâmica regenerativa do stock de activos ambientais. As leis da termodinâmica são suficientes para nos lembrar do irrealismo dessa presunção. O mais natural é que o segmento decrescente da função perturbação não se dirija para zero mas para um determinado limite. Como tivemos ocasião de referir, sem que o tivéssemos demonstrado, os resultados que se obteriam nesta hipótese, são idênticos aos que obtivemos ignorando a existência de um limite inferior.

Questão, seguramente, diferente tenderia a ser a hipótese de uma função globalmente côncava, mas com um segmento inicial estritamente côncavo seguido de outro estritamente convexo. A validade de uma função perturbação em forma de N , está hoje a ser testada empiricamente, não havendo, de momento, nenhuma evidência clara e segura sobre a sua congruência. De resto a forma de $P(C)$ (em forma de U -invertido, de N ou mesmo linear) é, antes de mais, uma questão eminentemente empírica cuja influência sobre o processo e o padrão de crescimento económico nunca foi objecto de qualquer estudo teórico. É justamente nesta direcção que pretendemos proceder a futuros desenvolvimentos deste trabalho.

A presença do efeito bem-estar introduz nuances importantes na temática central do estudo. Em primeiro lugar, permite estabelecer o que designámos de "regra de Ouro" do Crescimento Sustentável perfeitamente consistente com os princípios tradicionais da teoria económica. A sociedade deve aspirar a valorizar o stock de activos ambientais em termos de consumo de bens ordinários à taxa que a natureza permite que essa valorização se efectue. O resultado consiste num nível de activos ambientais superior ao que se obtém na ausência de A a afectar a utilidade e um benefício social que é o mais elevado que é permitido com os parâmetros envolvidos.

Porém a regra de ouro não define um "caminho" de equilíbrio, mas apenas uma configuração de longo prazo para a sociedade e, nesse sentido, trata-se de uma abordagem incompleta, estática. Nada é

possível dizer sobre a evolução da sociedade nem sobre o "caminho" que melhor serve o critério utilitarista de bem-estar intergeracional (ou qualquer outro). Se a sua situação concreta divergir da exigida pela regra de ouro, nada se pode dizer sobre a sua evolução com vista ao alcance do estado estacionário.

Foi no sentido de obviar a estes aspectos que o modelo inicial foi desenvolvido na secção final deste capítulo e transformado num problema de controle óptimo. Como seria de esperar, apenas quando a taxa de desconto é nula, o modelo gera uma solução estacionária coincidente com a regra de ouro. Dadas as propriedades dinâmicas do sistema canónico associado ao problema, é possível encontrar um caminho óptimo que, embora único, se dirige para o equilíbrio de longo prazo correspondente á regra de ouro se os valores iniciais do consumo e do stock de activos ambientais forem os adequados. Se os valores de partida não coincidirem com os necessários para que a economia se encontre sobre a trajectória óptimo (e sustentável), o melhor que se pode dizer é que a economia passará algum tempo na vizinhança do estado estacionário para, mais cedo ou mais tarde, dele se afastar e dirigindo-se ou para a total extinção de activos ambientais e a conseqüente impossibilidade de subsistir qualquer nível de consumo ou, para um equilíbrio de longo prazo em que o consumo será nulo mes em que o nível de stock de activos ambientais ao nível da capacidade máxima de suporte. Dada a reduzida probabilidade da economia se encontra sobre o caminho óptimo e simultaneamente sustentável, em geral a trajectória de crescimento económico não é sustentável

Logo que a sociedade revele alguma impaciência face ao futuro (ou seja menos solidária para com as gerações sucessoras) o stock global de activos ambientais de equilíbrio reduz-se relativamente á regra de ouro e, obviamente, o nível de consumo que lhe corresponde, será maior e o benefício social global que está associado ao estado estacionário tenderá a diminuir. É a presença de uma taxa de desconto não nula que provoca um desajustamento entre a taxa segundo a qual a sociedade está disposta a aumentar o consumo prescindindo de uma parte da sua dotação em A e a taxa segundo a qual a natureza permite que essa troca se efectue. A escassez relativa de A face a C , torna-o, por isso, mais valioso relativamente ao consumo

Por outro lado, e comparativamente ao caso em que o stock de activos ambientais estava ausente do critério social de avaliação do estado da economia, o preço sombra do stock de activos ambientais tende a evoluir de forma mais lenta e, com isso, a permitir que o consumo evolua mais rapidamente. Consequentemente, e para um mesmo nível inicial de activos ambientais, o consumo inicial que viabiliza o caminho óptimo poderá ser agora inferior. O padrão óptimo de evolução em direcção ao estado estacionário $\{C^*, A^*\}_{t \rightarrow \infty}$ caracteriza-se, por isso, por uma transferência de consumo do presente para o futuro.

A opção efectuada nesta última secção em utilizar uma função perturbação linear justifica-se pela simplificação analítica que permite. Os resultados que se obteriam caso a função perturbação fosse em forma de U-invertido seriam apenas uma repetição dos alcançados no caso de ausência de efeito bem-estar atribuído ao stock de activos ambientais. A única alteração estrutural no modelo ocorre apenas na curva $\dot{A} = 0$ cujas características analíticas e significado são idênticas à analisadas na secção III.2.2. Todo o que dissemos nesta secção é então aplicável integralmente ao modelo da secção III.3.

Finalmente, os resultados finais são invariantes caso se assuma $U_{CA} = U_{AC} > 0$ ou, de forma mais restritiva, $U_{CA} = U_{AC} = 0$

Capítulo IV

Crescimento Económico Sustentável com Efeito Bem-Estar e Efeito Produtividade

IV.1 - Introdução

A análise efectuada no capítulo anterior ignora o processo de produção e de acumulação de capital, vectores essenciais ao sistema económico e, nessa medida, é uma simplificação à luz da qual os resultados devem ser interpretados⁽¹⁾. Tal como tivemos ocasião de referir, tratou-se de uma abordagem introdutória com o objectivo de clarificar e precisar conceitos que irão agora ser utilizados e compreendidos em toda a sua extensão. O presente capítulo alarga o quadro geral da análise ao incluir na arquitectura modelar, não apenas o processo produtivo como ainda de acumulação de capital económico. A par da dinâmica regenerativa já presente anteriormente, o modelo que agora nos propomos desenvolver, introduz a dinâmica própria ao sistema económico por via do investimento.

São estas duas dinâmicas que irão interagir entre si por meio quer da influência que o stock de activos ambientais provocam no sistema económico quer, inversamente, pelos impactos que este exerce sobre o sistema natural.

(1) No entanto, como veremos, um dos resultados então obtido, tem validade no contexto deste capítulo em que consideramos explicitamente o efeito produtividade dos activos ambientais.

Quanto ao primeiro tipo de influência, ele exerce-se em dois níveis. Em primeiro lugar, na influência sobre a o critério de avaliação social sobre o estado da economia. À semelhança do consumo, também ao stock de activos ambientais é reconhecida a capacidade de influenciar positivamente o Bem-Estar.

Em segundo lugar, na influência que o stock de activos ambientais exerce sobre o processo produtivo. Tal como vimos no capítulo I, a hipótese que assumiremos agora consiste em considerar o stock de activos ambientais como um factor produtivo a par do stock de capital económico. O factor trabalho será ignorado na função de produção já que desejamos concentrar a nossa atenção no efeito produtividade atribuído aos activos ambientais e nas suas consequências sobre o potencial de crescimento económico⁽¹⁾.

A inclusão do "stock" e activos ambientais na função de produção em vez do "fluxo" de bens e serviços que aquele proporciona, significa que não estamos a considerar deliberadamente o problema tradicional da gestão, uso e extracção óptima de recursos naturais (renovável ou não-renovável) com utilidade produtiva. O nosso interesse reside na importância dos activos ambientais quer enquanto factores produtivos quer enquanto possuidores de valor intrínseco.

Muitos activos ambientais não têm qualquer valor instrumental para o homem quer enquanto fonte de Bem-Estar quer enquanto factor de produção. Porém a complexa teia de interacções que caracterizam os ecossistemas (cadeias alimentares, competição e cooperação entre espécies, ciclos energéticos, etc.) asseguram que esses activos sem valor instrumental directo para o homem, são todavia vitais para a existência de outra espécies, estas sim directamente importantes e valiosas para o processo económico de produção e consumo e para o Bem-Estar.

Em termos formais, existem duas possibilidades de introduzir estes dois efeitos no modelo e ambas passam pela transformação da função utilidade e da função de produção. A primeira consiste em subdividir o stock de activos ambientais em dois agregados distintos consoante a sua influência seja predominantemente sobre o Bem-Estar, A_u , ou sobre a produção, A_p . Devido à complexidade do sistema natural, os activos ambientais são frequentemente multifuncionais sendo, por isso, muitas vezes difícil separar-los com rigor pelas funções que predominantemente desempenham. Por muito "elegante" e atractiva que se afigure esta opção, o teste com a realidade aconselha a que independentemente da função predominante que desempenham, o stock de activos ambientais seja tratado como um único agregado afectando quer a produção quer o bem-estar.

(1) Uma forma alternativa de encarar este supressão explícita do factor trabalho na função de produção, será considerar K como uma variável que inclui quer o stock de capital "construído" quer o capital humano. Em todo o caso, permanece clara a intenção de isolar no modelo apenas o efeito produtividade com origem no stock de activos ambientais e a sua interrelação com o stock de capital.

Por outro lado, é usual encontrarem-se trabalhos na literatura especializada em que o efeito produtividade é introduzido na função de produção por via de uma variável "fluxo" com o objectivo de captar o efeito proveniente dos serviços produtivos que se podem obter a partir do stock de activos ambientais. O resultado é uma função de produção cujos argumentos "stock" (capital e trabalho) coexistem com argumentos "fluxo". E, em geral tratam-se de análises que encaram o crescimento de uma economia dependente de um recurso natural não renovável e para o qual se procura determinar a taxa óptima de extracção ou uso daquele tipo de activos por forma a garantir uma trajectória convergente para o estado estacionário.

Como já tivemos ocasião de referir, não é esta a nossa perspectiva neste trabalho, assim como não iremos adoptar a hipótese da separação do stock global de activos ambientais em dois agregados distintos, consoante a relevância das funções que desempenham. A nossa opção consiste em aceitar o stock global de activos ambientais como determinante quer do bem-estar (o que já fizemos no capítulo anterior) quer da produção que, neste último caso, significa, resumidamente, que quanto melhor for a qualidade ambiental, mais produtiva tenderá a ser uma economia.

O segundo elo de interdependência entre os dois sistemas que pretendemos endogenizar no modelo, tem origem no sistema económico, dirige-se ao sistema natural e procura reflectir o efeito perturbador do sistema económico sobre o sistema natural através da actividade produtiva. É certo que o consumo e o investimento também exercem efeitos perturbadores sobre a qualidade ambiental. Todavia a escolha da produção como fonte perturbadora sintetiza o efeito daquelas actividades económicas.

O resultado destas interacções é um modelo simples na sua estrutura mas bastante complexo do ponto de vista formal e analítico. Trata-se de um modelo de controle óptimo com duas variáveis de estado e gerando um sistema canónico de 4 equações diferenciais não lineares com a "virtude" de colocar sérios problemas não só à determinação de um estado estacionário e das condições que o viabilizam como ainda e sobretudo, à caracterização da dinâmica geral que lhe está associada.

Como referem alguns autores (Guckenheimer & Holmes 1983-1993), sistemas de equações diferenciais de dimensão superior a 3 são sérios candidatos a fazerem emergir atractores caóticos (veja-se também Tu (1991-1994) e Hale & Koçak (1991)) ao mesmo tempo que contrariamente ao que sucede com sistemas dinâmicos de dimensão dois ou inferior, as trajectórias em direcção ao estado estacionário podem não ser monótonas mas revelarem antes comportamentos oscilatórios.

Por outro lado, o conhecimento sobre a dinâmica de ajustamento de Sistemas Dinâmicos Hamiltonianos Modificados é ainda incompleto, estando apenas estudados alguns casos particulares de

funções com determinadas características analíticas⁽¹⁾. Algumas dessas condições são verificadas com o modelo que desenvolveremos neste capítulo pelo que utilizaremos alguns desses resultados para caracterizar a dinâmica local do estado estacionário que encontraremos⁽²⁾. Alguns desses estudos (sobretudo Brito, 1994) fazem mesmo uma caracterização completa e global da topologia associada ao estado estacionário, nomeadamente no que se refere a pontos de bifurcação e a degenerescências, que permitem ter uma ideia mais completa do comportamento topológico do sistema quando sujeito a perturbações exógenas dos parâmetros que o afectam. No entanto, e dada a complexidade das relações e expressões envolvidas, não faremos esse tipo de análise. De resto, para que ela fosse viável, exigiria a adopção de hipóteses simplificadoras sobre as relações funcionais que, ao (e para além de) desvirtuarem a coerência inicial do modelo pouco significado conferiam aos resultados.

IV.2 - Estrutura básica do modelo

Considere-se então uma sociedade que, em cada momento t , a avaliação social que faz sobre do estado da sua economia é determinada pelo volume de bens ordinários que consome, $C(t)$ e, *simultaneamente*, pelo stock de activos ambientais que pode dispôr, $A(t)$ (ou, se preferir, pela qualidade ambiental que usufrui). Formalmente,

$$[IV.1] \quad U[C(t), A(t)]$$

é a função Utilidade Instantânea com as propriedades já referenciadas anteriormente (de continuidade, concavidade, duplamente diferenciável, utilidades marginais positivas mas decrescentes) e que manteremos neste capítulo com apenas uma única modificação relativa ao efeito sobre os benefícios marginais do consumo em face de modificações no nível de activos ambientais. Na verdade, vamos assumir neste capítulo que

$$U_{AC} = U_{CA} = 0$$

(1) Veja-se, por exemplo, Hale & Koçak (1991), Kuchenheimer & Holmes (1983-1993), Dockner (1985), Brito (1994).

(2) Faremos também, do ponto de vista da caracterização da topologia do estado estacionário, um extensão, modesta, do trabalho de Dockner (1985) para o caso de raízes complexas e que o autor não contempla.

ou seja, $U(.)$ é formalmente, uma função aditivamente separável e significa que o benefício marginal proveniente do consumo é encarado como independente do contexto ambiental em que ocorre. Pelo que dissemos no capítulo anterior, esta é uma hipótese de conteúdo simplificador já que é possível encontrar exemplos de como melhorias na qualidade ambiental contribuem para o valor do consumo. A opção por uma função utilidade com estas características encontra justificação na necessidade de simplificar a estrutura analítica do modelo proposto, já de si bastante complexo, como teremos ocasião de constatar. Em todo o caso, esta simplificação não é incompatível com a hipótese tradicional da existência de um trade-off entre o consumo de bens ordinários e a disponibilidade de activos ambientais.

A economia produz um único bem homogéneo, $Y(t)$ que pode ser consumido, $C(t)$, ou investido, $\dot{K}(t)$, na criação de novo capital económico, $K(t)$. Para a sua produção, o sistema económico utiliza como inputs produtivos apenas o stock de capital económico e o stock de activos ambientais, $A(t)$. Formalmente,

$$[IV.2] \quad Y(t) = f[K(t), A(t)]$$

racionaliza o processo tecnológico usado por esta economia e que, em termos analíticos, evidencia as regularidades matemáticas já enunciadas na **Hipótese Y1** do Cap. I e que se recordam rapidamente:

- i. $F(.) > 0$ quando todos os argumentos são Não-Nulos
- ii. $\lim_{i \rightarrow 0} F(.) = 0$, com $i = K, A$, quando pelo menos um dos seus argumentos é nulo
- iii. $\lim_{i \rightarrow \infty} F(.) = \infty$, com $i = K, A$, ou seja, a função não é limitada superiormente.
- iv. $\frac{\partial F(.)}{\partial i} = F_i > 0 \in]0, \infty[$, com $i = K, A$.
- v. Verifica as tradicionais condições de Inada, ou seja, $\lim_{i \rightarrow 0} F_i(.) = +\infty$ e $\lim_{i \rightarrow +\infty} F_i(.) = 0$ com $i = K, A$.
- vi. $\frac{\partial^2 F(.)}{\partial i^2} = F_{ii} \in (-\infty, 0]$, com $i = K, A$.
- vii. $\frac{\partial^2 F(.)}{\partial i \partial j} = F_{ij} \in [0, +\infty)$ com $i, j = K, A$ e $i \neq j$
- viii. $f_{KK}f_{AA} - f_{KA}^2 > 0$

Em resumo, a função de produção é contínua, côncava, duplamente diferenciável, com produtividades marginais positivas mas evoluindo a taxas decrescentes para níveis crescentes de utilização dos inputs produtivos. Qualquer input é essencial à produção e as possibilidades técnicas de substituição entre eles são assumidas explicitamente. A produtividade marginal de cada um dos factores é afectada positivamente quando unidades adicionais de qualquer dos outros inputs são afectas ao processo produtivo e, finalmente, o impacto marginal dos activos ambientais sobre a produção aumenta com aumentos na qualidade ambiental.

Adicionalmente, assume-se ainda que estamos em presença de uma função linearmente homogénea de grau 1 de tal modo que a soma das elasticidade da produção face a ambos os factores produtivos é unitária: $\varepsilon_{YK} + \varepsilon_{YA} = 1$.

O processo de acumulação de capital económico é dado pela tradicional diferença entre o volume de bens produzidos na economia e a parcela destes que é destinada ao consumo final. Formalmente:

$$[IV.3] \quad \dot{K}(t) = f[K(t), A(t)] - C(t)$$

No que diz respeito ao sistema natural, o stock global de activos ambientais é composto quer pelos recursos naturais renováveis, não-renováveis e semi-renováveis (ou ambientais) de que falámos no capítulo I. Formalmente,

$$[IV.4] \quad A(t) = R(t) + S(t) + E(t)$$

e cuja dinâmica regenerativa e assimilativa é exclusivamente determinada pela combinação do padrão de comportamento dinâmico atribuído aos Recursos Renováveis e dos Recursos Semi-Renováveis (ou Ambientais) e que se assume depender do stock global de activos ambientais, $A(t)$. Formalmente:

$$[IV.5] \quad \dot{A}(t) = \dot{R}(t) + \dot{S}(t) = r[A(t)] + s[A(t)] = N[A(t)]$$

e onde $N[A(t)]$ evidencia as propriedades assumidas nas **Hipótese A.2** do Cap. I e que se sumariam do seguinte modo: A função de produção natural evidencia um *Threshold effect* para um nível crítico de $A = A_m$ e é estritamente côncava acima dele. Ente este nível crítico e a capacidade máxima de suporte, \bar{A} o ritmo de regeneração é sempre positivo mas não é monótono. $\exists A_M: A(t) = A_M \Rightarrow N_A = 0$. Para $A(t) < A_M \Rightarrow N_A > 0$. A partir deste nível, e à medida que $A(t)$ se aproxima da Capacidade de Suporte, o crescimento desacelera até se anular por completo: para $A(t) > A_M \Rightarrow N_A < 0$.

A ligação ao sistema económico é feita justamente pela dimensão física de que falámos no início deste trabalho. O sistema económico necessita quer dos tradicionais recursos naturais com utilidade produtiva directa quer ainda de condições ambientais favoráveis (recursos ambientais) para que a produção bens e serviços possa ter lugar. A nossa hipótese consistem em considerar que o fluxo de recursos renováveis $Q(t)$, de recursos não-renováveis $H(t)$ e recursos semi-renováveis $L(t)$ de que o sistema económico necessita depende do nível de produção, Y . Formalmente:

$$[\text{IV.6}] \quad Q(t) = q[Y(t)] \quad \text{com} \quad q_y > 0$$

$$[\text{IV.7}] \quad H(t) = h[Y(t)] \quad \text{com} \quad h_y > 0$$

$$[\text{IV.8}] \quad L(t) = l[Y(t)] \quad \text{com} \quad l_y > 0$$

Deste modo a taxa de *regeneração líquida* do stock global de activos ambientais virá dada por

$$[\text{IV.9}] \quad \dot{A}(t) = N[A(t)] - q[Y(t)] - h[Y(t)] - l[Y(t)]$$

Por outro lado, esta taxa de regeneração é também afectada pelos desperdícios que em cada momento t são gerados pelo sistema económico, $W(t)$, que se admite dependerem positivamente do nível de produção

$$[\text{IV.10}] \quad W(t) = w[Y(t)] \quad \text{com} \quad w_y > 0$$

Deste modo a taxa líquida de regeneração do stock de activos ambientais virá dada por:

$$[\text{IV.11}] \quad \frac{dA(t)}{dt} = N[A(t)] - \{q[Y(t)] + h[Y(t)] + l[Y(t)]\}$$

ou, de forma mais compacta:

$$[\text{V.11-a}] \quad \frac{dA(t)}{dt} = N[A(t)] - p[Y(t)]$$

e em que se assume que $p[Y(t)]$ evidencia as propriedades enunciadas na **Hipótese P1** do cap. I. Ou seja, a função perturbação é uma função linear relativamente a Y. Formalmente:

$$[\text{IV.12}] \quad p[Y(t)] = \pi Y(t) = \pi f[K(t), A(t)]$$

sendo que, finalmente, a taxa de regeneração líquida do sistema natural vem dada por

$$[\text{IV.13}] \quad \dot{A} = N(A) - \pi f(K, A)$$

Esta formulação, podemos encontrar as combinações de stock de capital económico e de stock de activos ambientais necessárias para que este último permaneça em repouso. Fazendo $\dot{A} = 0$ podemos expressar K como função de A:

$$[\text{IV.14}] \quad f(K, A) = \frac{N(A)}{\pi} \Rightarrow K = \kappa(A, \pi) \geq 0 \quad \forall A_m \leq A \leq \bar{A} \wedge \forall K \geq 0$$

cujo comportamento pode ser estudado por via da sua derivada em ordem a A . Fazendo uso da noção de elasticidade podemos então escrever que

$$[IV.15] \quad \frac{dK}{dA} = \kappa_A(A, \pi) = \frac{N_A - \pi f_A}{\pi f_K} = \frac{\kappa(A, \pi)}{A} \frac{\varepsilon_{NA} - \varepsilon_{YA}}{\varepsilon_{YK}}$$

Sendo ε_{YA} , ε_{YK} e ε_{NA} as elasticidade, respectivamente, da produção face ao stock de capital económico, ao stock de activos ambientais e da função regenerativa face ao stock de activos ambientais. Deste modo, e para os intervalos definidos em [IV.14] e sabendo que ε_{YA} e ε_{YK} são constantes positivas, o sinal de $\kappa_A(A, \pi)$ depende *a)* do sinal de ε_{NA} e, *b)* da relação desta grandeza com ε_{YA} . Por outro lado, por definição, $\varepsilon_{NA} = N_A \frac{A}{N(A)}$ pelo que, devido às propriedades de $N(A)$ se pode escrever que

$$[IV.16] \quad A = \begin{cases} A_m \\ A_M \\ \bar{A} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_A > 0 \wedge N(A) = 0 \\ N_A = 0 \wedge N(A) > 0 \\ N_A < 0 \wedge N(A) = 0 \end{cases} \text{ pelo que } \varepsilon_{NA} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

No entanto com $\varepsilon_{YA} > 0 \wedge \varepsilon_{YK} > 0$, $\exists A_e < A_M: A = A_e \Rightarrow \varepsilon_{NA} = \varepsilon_{YA} \cdot \kappa_A(A, \pi) = 0$. Donde se poder concluir que

$$[IV.17] \quad A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A_e \Rightarrow \kappa_A(A, \pi) \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0$$

A fig. V.1 mostra uma das possibilidades para esta função. Note-se que o segmento da função relevante é aquele em que $A_m \leq A \leq \bar{A}$. Para valores diferentes de stock de capital económico, a

condução de manutenção do stock de activos ambientais exige que a função de produção assuma valores negativos, o que é inaceitável do ponto de vista económico.

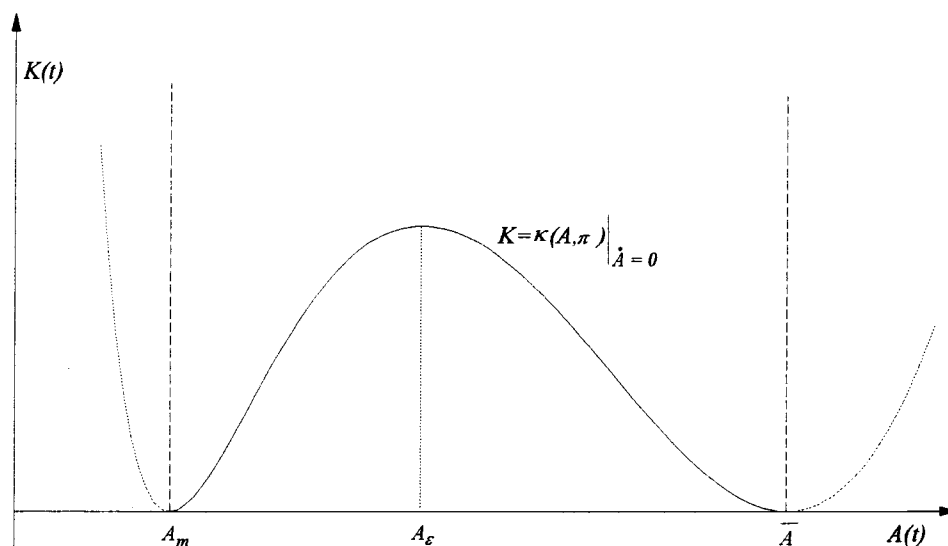


Fig. IV.1 - Combinações de K e A que permitem a constância do stock de activos ambientais.

Qualquer ponto localizado sobre $K = \kappa(A, \pi)$ representa a combinação de K e A que assegura a constância do stock de activos ambientais. Um par de valores de K e A diferente do necessário para garantir a constância do stock de activos ambientais, provoca reacções em A que dependem da posição relativa desse ponto face a $K = \kappa(A, \pi)$.

Suponha-se o par (K_1, A_1) situado sobre $\dot{A} = 0$ e o par (K_2, A_1) com $K_2 > K_1$. Neste caso, $f(K_2, A_1) > f(K_1, A_1) = \frac{N(A_1)}{\pi}$ e, por isso, A tenderá a diminuir. O "excesso" de capital provoca um "excesso" de produção cujos efeitos perturbadores sobre os activos ambientais são superiores à taxa de regeneração próprias destes últimos. Em consequência, os activos ambientais terão tendência para diminuir continuamente. É claro que A começa a reduzir-se e esse movimento tenderá a anular parte da subida da produção causada pelo excesso de stock de capital. Mas o reequilíbrio nunca se restabelecerá se $A_1 < A_\epsilon$ porque A ao diminuir, provocará uma redução da taxa de regeneração própria dos activos ambientais que é proporcionalmente maior do que o seu efeito sobre a produção (recorde-se que nesta zona se tem $\epsilon_{NA} > \epsilon_{YA}$).

Pelo contrário, quando para um dado nível de activos ambientais, o valor do stock da capital é inferior ao necessário para garantir $\dot{A} = 0$, o stock de activos ambientais terá tendência para aumentar uma vez que o valor da produção e a perturbação sobre a dinâmica regenerativa que ela proporciona é insuficiente para anular totalmente a taxa de regeneração líquida.

Em resumo, qualquer ponto localizado acima (abaixo) de $\dot{A} = 0$, representa um excesso (insuficiência) de produção (e, implicitamente, de perturbação sobre os activos ambientais) sobre a dinâmica regenerativa de $A(t)$ e, por isso, estes terão tendência para diminuir (aumentar).

Por outro lado, é interessante notar como o stock de activos ambientais e o stock de capital se ajustam mutuamente de modo a que, perante uma alteração exógena, se proceda ao restabelecimento do equilíbrio ($\dot{A} = 0$). Ou seja, estamos interessados agora em analisar os movimentos de K e A ao longo de $\dot{A} = 0$ e não, como anteriormente, na dinâmica associada a pontos fora de $\dot{A} = 0$. Como a fig. V.1 deixa transparecer, o comportamento de K e A de modo a garantir a constância do stock de activos ambientais, difere consoante as dotações ambientais que a sociedade dispõe.

Considere-se, em primeiro lugar, qualquer ponto (K_1, A_1) sobre $\dot{A} = 0$ de tal modo que $A_1 < A_c$. Quando, exogenamente, o stock de capital aumenta, para aquele nível de activos ambientais, o volume de produção e a consequente perturbação sobre a qualidade ambiental, excede a taxa natural de regeneração associada a A_1 . O restabelecimento do equilíbrio ($\dot{A} = 0$) apenas será conseguindo com A a evoluir no mesmo sentido que K um vez que só com um valor de $N(A)$ superior será possível compensar o desequilíbrio provocado pelo excesso de produção. É verdade que a subida de A estimula ainda mais a produção mas como, nesta fase se tem $\varepsilon_{NA} > \varepsilon_{YA}$, o efeito líquido da subida de A tende a favorecer o impacto sobre a taxa natural de regeneração, $N(A)$. O ajustamento termina apenas quando o stock de activos ambientais tiver atingido um valor tal que permita a verificação da igualdade $\frac{N_A}{\pi} - f_A = f_K$.

Porém, quando $A > A_c$ qualquer alteração em $A(t)$ tem um impacto proporcionalmente maior sobre o volume de produção do que sobre a taxa natural de regeneração (recorde-se que nesta zona se tem $\varepsilon_{NA} < \varepsilon_{YA}$). Daí que perante o mesmo aumento exógeno do stock de capital e o mesmo desequilíbrio sobre a taxa de regeneração líquida, o stock de activos ambientais deve agora *diminuir* (em vez de aumentar como no caso anterior) de modo a que seja possível repor a igualdade entre a taxa natural de regeneração e a perturbação causada pela produção. Repare-se que a diminuição de A anula parte do estímulo sobre a produção provocado pelo aumento exógeno do stock de capital. Mas, ao mesmo tempo, afecta a taxa natural de regeneração. No entanto, mesmo no caso em que $A_c < A < A_M$, ou

seja, numa zona em que $N(A)$ varia no mesmo sentido que A , o stock de activos ambientais terá de diminuir visto que, como tivemos ocasião de referir no início do parágrafo, o efeito sobre a produção é proporcionalmente superior ao exercido sobre $N(A)$. De novo, a tendência para que A se ajusta apenas termina quando o stock de activos ambientais tiver atingido um valor tal que permita a verificação da igualdade $\frac{N_A}{\pi} - f_A = f_K$. Contrariamente ao que sucede no caso anterior, $K(t)$ e $A(t)$ evidenciam nesta região uma relação de substituição entre si no ajustamento que ambos devem evidenciar de modo a reporem a constância do stock de activos ambientais.

Finalmente, esta relação entre K e A de modo a assegurar a constância do stock de activos ambientais, fornece ainda uma outra indicação que só pode ser imediatamente perceptível quando a combinamos com [IV.3]. Com efeito, esta última fornece uma indicação de como o consumo e a produção se devem combinar de modo a viabilizar o "repouso" do stock de capital. Na ausência de depreciação do stock de capita, o investimento é nulo desde que o nível de consumo iguale o valor da produção

$$[IV.18] \quad f[K(t), A(t)] = C(t)$$

Para um dado valor de activos ambientais, qualquer nível de consumo que não respeite esta igualdade induz, por isso, alterações (positivas ou negativas) no stock de capital económico. Se o consumo for insuficiente face ao necessário para promover a constância de K , ($f(K, A) > C$) a tendência será para o crescimento do stock de capital ($\dot{K} > 0$) que perdurará enquanto não atingido um valor para K (ou A) compatível com a necessidade de o manter em "repouso" ao longo do tempo.

Ora, como vimos anteriormente, $\dot{A} = 0$ exige que $\frac{N[A(t)]}{\pi} = f[K(t), A(t)]$ donde se poder escrever que $\dot{A} \Big|_{K=0} = 0$ quando

$$[IV.19] \quad C(t) = f[K(t), A(t)] = \frac{N[A(t)]}{\pi} \Big|_{\dot{A} \Big|_{K=0} = 0}$$

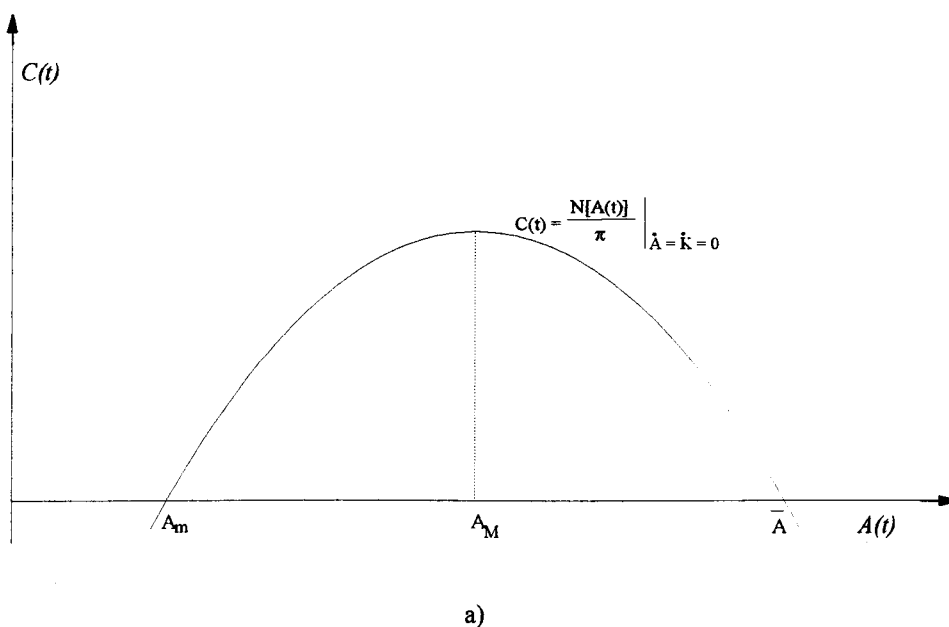
Ou seja, qualquer par de valores que satisfaça $K = \kappa(A, \pi)$ permite não apenas a verificação de $\dot{A} = 0$ como, *simultaneamente* define o valor do consumo que assegura a constância do stock de

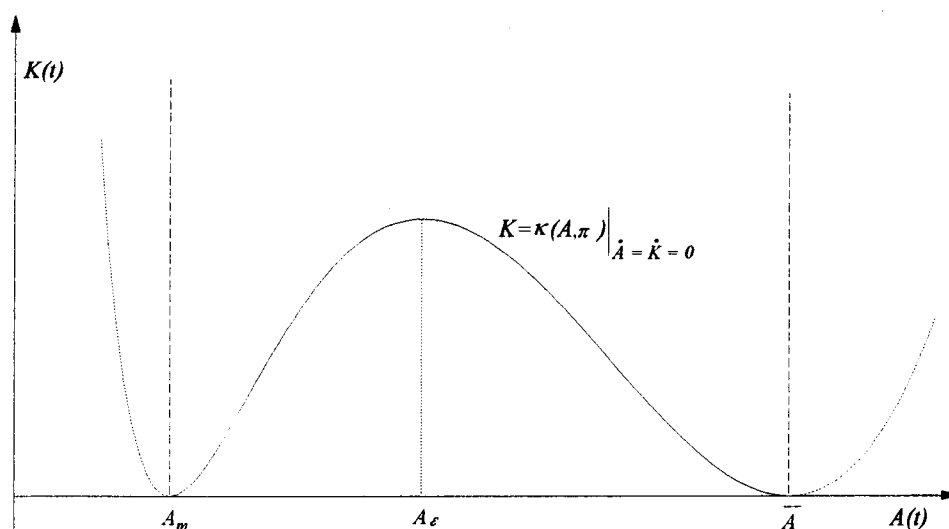
capital. De modo semelhante, no plano (C,A) , [IV.19] define as combinações de C e A que garantem a constância do stock global de activos desta economia:

$$[IV.20] \quad C(t) = \frac{N[A(t)]}{\pi} \Big|_{\substack{\dot{A} \\ \dot{K}=0}}$$

Conhecido o valor de C e A que satisfaça a igualdade [IV.20], o valor de K compatível com um nível nulo de investimento é imediatamente obtido por via de [IV.18] ou [IV.14]. Se, num dado momento $t = t_1$, e para um determinado nível de activos ambientais, o valor do consumo for inferior (superior) ao necessário para provocar a constância do stock de activos ambientais, ou seja, $\frac{N[A(t_1)]}{\pi} > C(t_1)$ (ou $\frac{N[A(t_1)]}{\pi} < C(t_1)$), é fácil verificar que estes terão tendência para aumentar (diminuir).

Os gráficos da fig. IV.2, reproduzem o essencial do que temos vindo a dizer. Repare-se como [IV.20] reedita o modo como C e A se devem combinar de modo a assegurar a constância destes últimos, que encontramos no modelo do capítulo anterior sem produção e acumulação de capital, possível apenas porque se ignora agora a possibilidade de K se depreciar.





b)

Fig. IV.2 - a) - Combinações de Consumo e stock de activos ambientais que garantem, em *simultâneo*, a constância do stock de activos ambientais, A , e do stock de capital económico, K e b) - Combinações de stock de capital e de activos ambientais que asseguram, em *simultâneo*, a constância do stock de activos ambientais, e do stock de capital económico.

Estamos agora em condições de formular o problema geral que nos motiva neste capítulo. A sociedade deseja maximizar o valor actual dos benefícios intertemporais provenientes do consumo corrente e das dotações de activos ambientais, mas com a condição de respeitar as restrições impostas quer pela dinâmica própria ao sistema económico e ao sistema natural, quer pelas interacções que entre os dois sistemas se estabelecem. Formalmente, o problema que esta sociedade enfrenta (ou a agência de planeamento) consiste em escolher as trajectórias temporais para o consumo, stock de capital e stock de activos ambientais numa economia em interacção com o sistema natural que a envolve, de modo a conseguir o máximo benefício intertemporal, segundo o critério utilitarista de equidade intergeracional. Esquemáticamente⁽¹⁾

$$[IV.21] \quad \text{Max}_C \int_0^{\infty} U(C, A) e^{-\delta t} dt$$

s.a

(1) Para efeitos de simplificação das notações, foi suprimido o "tempo - t" de todas as variáveis. Sempre que a sua importância o justifique, incluiremos esta variável nos resultados.

$$\begin{aligned}
 \dot{K} &= f(K, A) - C \\
 \dot{A} &= N(A) - \pi f(K, A) \\
 \text{[IV.22]} \quad K(0) &= K_0 \\
 A(0) &= A_0 \\
 C(0) &= C_0 \\
 K(0), A(0), C(0) &> 0
 \end{aligned}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) \geq 0 \quad \lim_{t \rightarrow \infty} C(t) \geq 0 \quad \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \geq 0$$

Assim formulado, trata-se de novo, de um problema típico de Controle Ótimo, com duas variáveis de estado, $K(t)$ e $A(t)$, duas variáveis de co-estado a elas associadas, μ e λ , e uma variável de controle $C(t)$ e cuja solução é obtida a partir do seguinte Hamiltoniano Corrente que lhe está associado:

$$\text{[IV.23]} \quad H(C, K, A, \delta, \lambda, \mu) = U(C, A) + \lambda[f(K, A) - C] + \mu[N(A) - \pi f(K, A)]$$

Cuja maximização exige como condição de primeira ordem que

$$\text{[IV.24]} \quad \frac{\partial H(\dots)}{\partial C} = 0 \quad U_C(\cdot) = \lambda^{(1)}$$

donde, pelo Teorema da Função Implícita, a "solução fechada" para o consumo virá dada pela expressão

$$\text{[IV.25]} \quad \hat{C} = \hat{c}(\lambda) < 0$$

com

$$\text{[IV.26]} \quad \hat{c}_\lambda = \frac{1}{U_{CC}} < 0$$

(1) A condição de segunda ordem está imediatamente satisfeita em face das propriedades admitidas para $U(\cdot)$.

A equação [V.24] traduz a condição de óptimo usual aos modelos de crescimento económico: ao longo do caminho óptimo o preço-sombra do processo de acumulação do stock de capital deve igual a utilidade marginal corrente. Cada unidade adicional de capital deve ser avaliada pelo sacrifício que a sociedade terá de incorrer no seu consumo presente de modo a que essa unidade adicional de capital se possa concretizar.

Mas, dadas as propriedades assumidas para a função utilidade instantânea, nomeadamente pelo facto de ser uma função aditivamente separáveis nos seus argumentos, a solução fechada para o consumo apenas depende do preço-sombra do processo de acumulação de capital. O valor óptimo para o consumo não vem, por isso, expresso em função do stock de activos ambientais

A maximização do Hamiltoniano corrente exige ainda a satisfação do seguinte Sistema Dinâmico Hamiltoniano Modificado:

$$[IV.27] \quad \dot{K} = \frac{\partial H(\cdot)}{\partial \lambda} = f(K, A) - c(\lambda)$$

$$[IV.28] \quad \dot{A} = \frac{\partial H(\cdot)}{\partial \mu} = N(A) - \pi f(K, A)$$

$$[IV.29] \quad \dot{\lambda} = \delta \lambda - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial K} = (\delta - f_K) \lambda + \mu \pi f_K = \delta \lambda - (\lambda - \pi \mu) f_K$$

$$[IV.30] \quad \dot{\mu} = \delta \mu - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial A} = [\delta - (N_A - \pi f_A)] \mu - \lambda f_A - U_A = (\delta - N_A) \mu - (\lambda - \pi \mu) f_A - U_A$$

que forma um sistema de 4 equações diferenciais não lineares com duas variáveis de estado.

As duas primeiras equações reproduzem o padrão dinâmico, próprio quer ao stock de capital quer ao stock de activos ambientais. As duas últimas equações descrevem a dinâmica dos preços-sombra associados aos processo de acumulação dos dois tipos de activos desta economia e merecem uma análise mais pormenorizada. Tal como é usual nos modelos de crescimento económico, estas duas equações indicam que a taxa global de remuneração dos activos em causa (que inclui não apenas os ganhos de capital como a taxa de juro própria e específica do activo) deve igualar a taxa de impaciência da sociedade.

$$[\text{IV.29-a}] \quad \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} + \left(1 - \pi \frac{\mu}{\lambda}\right) f_K(\cdot) = \delta$$

$$[\text{IV.30-a}] \quad \frac{\dot{\mu}}{\mu} + N_A(\cdot) + \frac{U_A(\cdot)}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu} - \pi\right) f_A(\cdot) = \delta$$

No que diz respeito ao stock de capital, é visível como para uma dada taxa de desconto, a taxa de variação do preço-sombra associado ao seu processo de acumulação, é agora maior devido ao efeito perturbador da produção sobre a dinâmica regenerativa dos activos ambientais. Na verdade reescrevendo [IV.29] de modo a gerar:

$$[\text{IV.31}] \quad \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \delta - f_K(\cdot) + \pi \frac{\mu}{\lambda} f_K(\cdot)$$

é fácil verificar que a ausência de qualquer efeito perturbador da produção sobre a taxa natural de regeneração ($\pi = 0$) faz com que o preço-sombra de $K(t)$ evolua ao longo do caminho óptimo, se existir, a uma taxa dada pela diferença entre a taxa de desconto e a produtividade marginal do stock de capital, $\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \delta - f_K(\cdot)$. Porém a presença de um valor não nulo para a taxa de perturbação dos activos ambientais, faz com que o valor marginal do stock de capital passe a evoluir a uma taxa claramente superior.

A única forma de diferir consumos no tempo é através da acumulação de capital já que isso permite à sociedade aumentar o seu potencial produtivo futuro e, com isso, o seu consumo. Deste modo, o estado estacionário apenas ocorre quando for atingido um nível de capital cuja produtividade marginal (ou taxa de retorno do capital) iguale a taxa segundo a qual a sociedade valoriza subjectivamente consumo futuros apenas porque ocorrem no futuro.

O modelo que estamos a desenvolver reproduz, no essencial, este princípio de acumulação mas com a adaptação resultante da lógica interactiva entre o sistema económico e o sistema natural. Com efeito, repare-se que em equilíbrio [IV.31] se transforma em:

$$[IV.32] \quad \delta = \left(1 - \pi \frac{\mu}{\lambda}\right) f_k$$

e onde $\left(1 - \pi \frac{\mu}{\lambda}\right)$ representa o efeito líquido de qualquer unidade adicional de capital sobre a taxa de variação do valor marginal do stock de capital ($\dot{\lambda}/\lambda$). Qualquer unidade adicional de capital é agora valorizado não só directamente pelo sacrifício que exige ao consumo presente (o que faz subir $\dot{\lambda}/\lambda$) como ainda pelo impacto que exerce sobre a dinâmica regenerativa do stock de activos ambientais e, concomitantemente, sobre o índice de bem-estar.

Quando em equilíbrio e para a mesma taxa de impaciência da sociedade, a produtividade marginal do capital deve ser superior à exigida sem o efeito produtividade dos activos ambientais e, por isso, para qualquer nível de activos ambientais, o valor do stock de capital correspondente ao estado estacionário deverá, agora, ser menor. Repare-se, com efeito que a não negatividade óbvia da taxa de desconto exige que

$$[IV.33] \quad \left(1 - \pi \frac{\mu}{\lambda}\right) \geq 0$$

o que significa que

$$[IV.34] \quad \frac{\lambda}{\mu} \geq \pi$$

e se tenha necessariamente

$$[IV.35] \quad 0 \leq \left(1 - \pi \frac{\mu}{\lambda}\right) \leq 1$$

Em consequência, o consumo tenderá a evoluir a uma taxa mais reduzida do que sucederia se a produção não afectasse a qualidade ambiental. Com efeito, diferenciando [IV.24] em ordem ao tempo e igualando o resultado a [IV.29] obtemos

$$[IV.36] \quad \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma(C)} \left[(f_K(\cdot) - \delta) - \pi \frac{\mu}{\lambda} f_K(\cdot) \right]$$

$$\text{com } \sigma(C) = -\frac{U_{CC}(\cdot)}{U_C(\cdot)} C > 0 \quad \text{e} \quad f_K(\cdot) > \delta$$

No que diz respeito à taxa de variação do valor marginal do stock de activos ambientais, verificamos que o efeito produtividade reforça o efeito bem-estar no processo de conferir aqueles activos uma taxa de remuneração própria e cuja consequência consiste na redução da taxa óptima de crescimento do preço-sombra a eles associado.

A presença destes activos na função de produção confere-lhes uma taxa de remuneração adicional aquela que já lhes conhecíamos (N_A) e, por isso,, para uma dada taxa de impaciência da sociedade, o valor marginal dos activos ambientais evolue agora a uma taxa mais lenta do que ocorria na ausência de efeito produtividade.

$$[IV.37] \quad \frac{\dot{\mu}}{\mu} = \left[\delta - (N_A(\cdot) - \pi f_A(\cdot)) \right] - \frac{\lambda}{\mu} f_A(\cdot) - \frac{U_A(\cdot)}{\mu}$$

Repare-se como este efeito influencia $\frac{\dot{\mu}}{\mu}$ de duas formas opostas: por um lado f_A reduz directamente $\frac{\dot{\mu}}{\mu}$ e, por outro, exerce um efeito compensador em virtude do impacto que a produção tem sobre a taxa natural de regeneração. De resto, $(N_A - \pi f_A)$ espelha a taxa de remuneração líquida dos activos ambientais em resultado de qualquer modificação exógena nestes activos. A "taxa de juro natural" é

parcialmente anulada pelo efeito "perverso" resultante do aumento da produção que aquela variação exógena causa.

IV.3 - Existência de um estado estacionário

O Sistema Dinâmico Hamiltoniano Modificado e as hipóteses formuladas para cada uma das funções envolvidas neste modelo permitem enunciar a seguinte proposição:

PROPOSIÇÃO IV.1 - Se a) a "Função de Produção Natural" $N(A)$ for exibir um "Threshold effect" em $A = A_m$ e for estritamente côncava acima dele, b) a Função Utilidade Instantânea $U(C,A)$ for côncava em ambos os argumentos e c) a Função de Produção $f(K,A)$ for também côncava em ambos os argumentos, e para $N_A < \delta < f_K$, então pode haver zero, uma ou duas soluções estacionárias, $(C^\infty, K^\infty, A^\infty)$, associadas a valores positivos de C , A e K . Essas soluções exigem a verificação do seguinte sistema de equações;

$$[IV.38] \quad C = \chi(A, \beta) = \frac{\varepsilon_{UC}}{\varepsilon_{UA}} A \left\{ \frac{(\delta - N_A(\cdot))}{\pi} - \frac{\delta}{\pi f_K[\varphi(A), A]} [\delta - (N_A(\cdot) - \pi f_A[\varphi(A), A])] \right\}$$

$$[IV.39] \quad C = \eta(A, \pi) = \frac{N(A)}{\pi}$$

e onde β é o vector dos parâmetros que afectam $\chi(\cdot)$.

Dem. Por definição, o estado estacionário ocorre quando todas as variáveis envolvidas no modelo estão em "repouso"; $\dot{K} = \dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$. Dada a complexidade desta demonstração, iremos proceder por etapas começando por lembrar que, para que o stock de activos ambientais e o stock de capital

estejam, *simultaneamente*, em "repouso" é necessário que $\dot{A} = \dot{K} = 0$, o que significa que podemos expressar o consumo como função do nível de stock de activos ambientais e obter, assim, [IV.39]:

$$C = f(K, A) = \frac{N(A)}{\pi} = \eta(A, \pi)$$

Como tivemos ocasião de verificar em, [IV.19], para que o stock de activos ambientais esteja em equilíbrio de longo prazo, $\dot{A} = 0$ é necessário que $f(K, A) = \frac{N(A)}{\pi}$ o que permite expressar K como função de A :

$$[IV.14] \quad f(K, A) = \frac{N(A)}{\pi} \quad \Rightarrow \quad K = \kappa(A, \pi)$$

Por outro lado, o estado estacionário exige também que $\dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$ Daqui resulta que de [IV.29] se terá

$$[IV.40] \quad \frac{\mu^\infty}{\lambda^\infty} = \frac{I}{\pi} \left(1 - \frac{\delta}{f_K(K, A)} \right)$$

Do mesmo modo, igualando a zero a equação [V.30] e usando a condição de 1ª ordem para um máximo dada por [IV.24], ter-se-á:

$$[IV.41] \quad \frac{\mu^\infty}{\lambda^\infty} = \frac{f_A(K, A) + \frac{U_A(A)}{U_C(C)}}{\delta - (N_A(A) - \pi f_A(K, A))}$$

Igualando agora estas duas expressões obtemos

$$[IV.42] \quad \dot{\lambda} \Big|_{\mu=0} = 0 \Rightarrow \frac{U_A(A)}{U_C(C)} + \delta \frac{f_A(K, A)}{f_K(K, A)} = \left(\frac{\delta - N_A(A)}{\pi} \right) \left(1 - \frac{\delta}{f_K(K, A)} \right)$$

Fazendo agora uso da noção de elasticidade, $\frac{U_A(A)}{U_C(C)} = \frac{\varepsilon_{UA}}{\varepsilon_{UC}} \frac{C}{A}$, utilizando [IV.14] e resolvendo em ordem a C obtemos finalmente [IV.38] onde o consumo surge apenas como função do stock de activos ambientais

$$\dot{\lambda} \Big|_{\mu=A=0} = 0 \Rightarrow C = \chi(A, \beta) = \frac{\varepsilon_{UC}}{\varepsilon_{UA}} A \left\{ \frac{(\delta - N_A(\cdot))}{\pi} - \frac{\delta}{\pi f_K[\kappa(A, \pi), A]} \left[\delta - (N_A(\cdot) - \pi f_A[\kappa(A, \pi), A]) \right] \right\}$$

Qualquer valor de C e A que satisfaça esta equação garante simultaneamente, $\dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$. Assim, se existir pelo menos um par (C^*, A^*) que satisfaça simultaneamente [IV.38] e [IV.39], então esse par garante também a verificação de $\dot{K} = 0$ (e, em simultâneo, $\dot{A} = 0$) e que corresponderá ao estado estacionário que procuramos; $\dot{K} = \dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$.

Torna-se agora necessário demonstrar é possível encontrara pelo menos um par (C, A) que assegure a existência de um estado estacionário. Para o fazermos, comecemos por caracterizar cada uma das equações relevantes para esse efeito.

O comportamento de $\dot{K} \Big|_{A=0} = 0$ (equação [IV.39]) pode ser esquematizado do seguinte modo:

$$[IV.43] \quad \frac{dC}{dA} = \eta_A(A, \pi) = \frac{N_A(\cdot)}{\pi}$$

Ou seja, $C = \eta(A, \pi) = \frac{N(A)}{\pi}$ reproduz as características já nossas conhecidas para $N(A)$.

Formalmente

$$[IV.42] \quad \dot{\lambda} \Big|_{\mu=0} = 0 \Rightarrow \frac{U_A(A)}{U_C(C)} + \delta \frac{f_A(K, A)}{f_K(K, A)} = \left(\frac{\delta - N_A(A)}{\pi} \right) \left(1 - \frac{\delta}{f_K(K, A)} \right)$$

Fazendo agora uso da noção de elasticidade, $\frac{U_A(A)}{U_C(C)} = \frac{\varepsilon_{UA}}{\varepsilon_{UC}} \frac{C}{A}$, utilizando [IV.14] e resolvendo em ordem a C obtemos finalmente [IV.38] onde o consumo surge apenas como função do stock de activos ambientais

$$\dot{\lambda} \Big|_{\mu=A=0} = 0 \Rightarrow C = \chi(A, \beta) = \frac{\varepsilon_{UC}}{\varepsilon_{UA}} A \left\{ \frac{(\delta - N_A(\cdot))}{\pi} - \frac{\delta}{\pi f_K[\kappa(A, \pi), A]} [\delta - (N_A(\cdot) - \pi f_A[\kappa(A, \pi), A])] \right\}$$

Qualquer valor de C e A que satisfaça esta equação garante simultaneamente, $\dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$. Assim, se existir pelo menos um par (C^*, A^*) que satisfaça simultaneamente [IV.38] e [IV.39], então esse par garante também a verificação de $\dot{K} = 0$ (e, em simultâneo, $\dot{A} = 0$) e que corresponderá ao estado estacionário que procuramos; $\dot{K} = \dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$.

Torna-se agora necessário demonstrar é possível encontrara pelo menos um par (C, A) que assegure a existência de um estado estacionário. Para o fazermos, comecemos por caracterizar cada uma das equações relevantes para esse efeito.

O comportamento de $\dot{K} \Big|_{A=0} = 0$ (equação [IV.39]) pode ser esquematizado do seguinte modo:

$$[IV.43] \quad \frac{dC}{dA} = \eta_A(A, \pi) = \frac{N_A(\cdot)}{\pi}$$

Ou seja, $C = \eta(A, \pi) = \frac{N(A)}{\pi}$ reproduz as características já nossas conhecidas para $N(A)$.

Formalmente

$$[IV.44] \quad \eta_A(A, \pi) \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} A_M$$

sendo, por isso, estritamente côncava acima de $A = A_m$ e não negativa no intervalo $A \in [A_m, \bar{A}]$,

No que diz respeito a $\dot{\lambda} \Big|_{\mu=A=0} = 0$ (equação [IV.38]) o seu comportamento aproximado pode ser obtido a partir da sua derivada em ordem a A . Assim;

$$[IV.45] \quad \chi_A(A, \beta) = \frac{\varepsilon_{UC}}{\varepsilon_{UA}} \left\{ -\frac{N_{AA}}{\pi} \left(1 - \frac{\delta}{f_K} \right) A - \right. \\ \left. -\frac{1}{\pi} \left[\frac{\delta}{\pi} \varepsilon_{YA} \frac{N(A)}{A} (\varepsilon_{NA} - 1) - (\delta - N_A) \right] - \right. \\ \left. - \left[\delta - (N_A - \pi f_A) \right] \frac{\delta}{\pi} \left[\frac{1}{\kappa(A, \pi)} \frac{N(A)}{\pi} \varepsilon_{YA} (1 - \varepsilon_{NA}) + \frac{\pi \kappa(A, \pi)}{\varepsilon_{YK} N(A)} \right] \right\}$$

O termo $-\frac{N_{AA}}{\pi} \left(1 - \frac{\delta}{f_K} \right) A$ é claramente positivo desde que $\delta < f_K$ (recorde-se, também, que $N_{AA} < 0 \forall A$). Na segunda parcela, o termo entre parênteses recto é negativo enquanto $N(A) > 0$ e desde que $\varepsilon_{NA} < 1$ e $N_A < \delta$. Nestas condições, os dois primeiros termos de $\chi_A(A, \beta)$ conferem-lhe, inequivocamente, um sinal positivo. Finalmente, enquanto $N(A) > 0$, o terceiro termo é claramente positivo pelo que, estando afectado pelo sinal negativo, pode anular a positividade dos dois primeiros membros de $\chi_A(A, \beta)$. Deste modo, $\chi_A(A, \beta)$ pode assumir valores negativos, nulos ou positivos, dependendo da relação que se estabelece entre os dois primeiros membros e o terceiro.

Para baixos valores de A , $\chi_A(A, \beta)$ é negativa e à medida que A cresce, $\chi_A(A, \beta)$ tenderá a ser nula e, finalmente, positiva. Assim sendo, $C = \chi(A, \beta)$ é inicialmente decrescente e posteriormente crescente em A . Repare-se que [IV.42] pode ser escrita do seguinte modo;

$$[IV.46] \quad \frac{1}{U_C} = \frac{\left(\frac{\delta - N_A(\cdot)}{\pi}\right) \left(1 - \frac{\delta}{f_K[\eta(A, \pi), A]}\right) - \delta \frac{f_A[\eta(A, \pi), A]}{f_K[\eta(A, \pi), A]}}{U_A(\cdot)}$$

Deste modo, sendo U_C uma função decrescente, $1/U_C$ tenderá a ser crescente pelo menos a partir de determinado nível de A .

Por outro lado, $\dot{\lambda} \Big|_{\mu=A=0} = 0 \Rightarrow C = \chi(A, \beta)$ é uma média ponderada entre $\frac{\delta - N_A}{\pi}$ e $-f_A$ sendo o ponderador igual a $\frac{\delta}{f_K}$ desde que $\delta < f_K$. Como média ponderada, apenas faz sentido se $C = \chi(A, \beta) > 0$.

A positividade $C = \chi(A, \beta)$ é garantida desde que, para $N_A < \delta$, se tenha um valor de A_χ : $A \geq A_\chi \Rightarrow \chi(A, \beta) \geq 0 \Rightarrow (\delta - N_A)(f_K - \delta) \geq \pi \delta f_A$.

Deste modo $C = \eta(A, \pi) = \frac{N(A)}{\pi}$ pode ser atravessada de baixo para cima por $\chi(A, \beta)$ num ou dois pontos. Os gráficos da fig. IV.3 completam a demonstração:

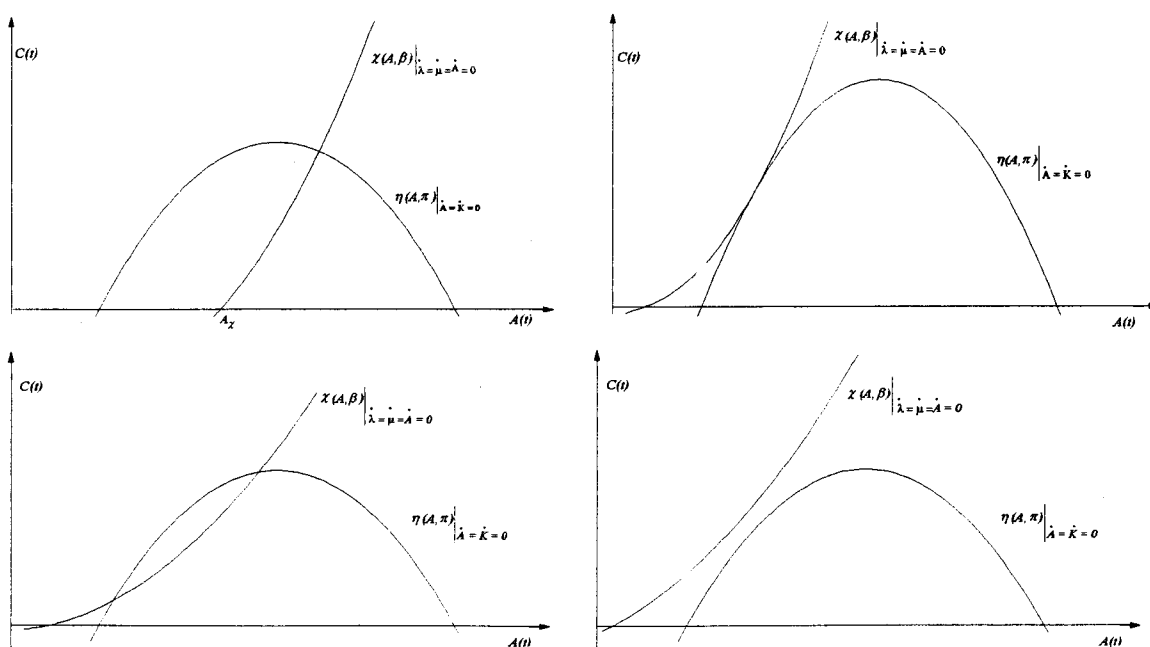


Fig. IV.3 - Existência de zero uma, duas ou zero soluções estacionárias.

◇

A equação [IV.42] fornece a chave para a compreensão do significado do estado estacionário. Para o fazermos rearranemos os termos de modo a obter

$$[IV.42-a] \quad \frac{U_A}{U_C} + \delta \frac{f_A}{f_K} = \left(\frac{\delta - N_A}{\pi f_K} \right) (f_K - \delta)$$

Ela representa a "regra" que caracteriza o estado estacionário. A soma das taxas pelas quais a sociedade está disposta a trocar o unidades de activos ambientais por stock de capital e, consequentemente, por consumo, deve respeitar a taxa segundo a qual a natureza aceita (ou pode) proceder a essa substituição, respeitada que deve ser a sua dinâmica própria de regeneração e a perturbação de que esta é alvo por via da produção. A presença do efeito produtividade atribuído aos activos ambientais, faz reduzir o valor social destes face ao consumo A importância de A para a produção traduz-se num valor de A correspondente ao estado estacionário mais elevado do que na ausência do efeito produtividade e, consequentemente, um valor do consumo de equilíbrio mais reduzido.

Por outro lado, a taxa de crescimento do consumo evolue, durante o caminho óptimo, se existir, a um ritmo mais lento do que sucederia se A não surgisse como argumento na função de produção. Com efeito, usando [IV.36] e [IV.41], a expressão para a taxa de crescimento do consumo virá

$$[IV.47] \quad \left. \frac{\dot{C}}{C} \right|_{\mu=0} = \frac{1}{\sigma(C)} \left\{ \frac{(f_K - \delta)(\delta - N_A) - \delta \pi f_A - \pi f_K \frac{U_A}{U_C}}{[\delta - (N_A - \pi f_A)]} \right\}$$

que será sempre positiva desde que

$$N_A < \delta < f_K$$

e

$$(f_k - \delta)(\delta - N_A) > \pi \left(\delta f_A + f_k \frac{U_A}{U_C} \right)$$

Um outro aspecto interessante que decorre daquela expressão para a taxa de variação do consumo e que, de resto, já havíamos referido anteriormente, consiste no facto de que o efeito produtividade reduz a taxa de crescimento do consumo comparativamente ao caso em que este efeito não é considerado⁽¹⁾. Do mesmo modo, o efeito bem-estar produz o mesmo efeito sobre o padrão evolutivo do consumo: O consumo evolue mais lentamente durante o caminho óptimo numa sociedade que encara os activos ambientais como fonte de bem-estar do que numa sociedade onde essa função não é considerada.

PROPOSIÇÃO IV.2. *A existência de zero, um ou dois estados estacionários no intervalo $[A_m, \bar{A}]$ é determinada pelo valor da taxa de Desconto δ .*

Dem.: A demonstração é directa e obtém-se por derivação de $\chi(A, \beta)$ em ordem a δ .

$$[IV.48] \quad \frac{\partial \chi(A, \beta)}{\partial \delta} = \chi_\delta = \frac{\epsilon_{UC}}{\epsilon_{UA}} A \left\{ \frac{1}{\pi} - \left[\frac{(2\delta - N_A)}{\pi f_k} + \frac{f_A}{f_k} \right] \right\} > 0$$

sempre que
$$\frac{1}{\pi} > \left\{ \frac{(2\delta - N_A)}{\pi f_k} + \frac{f_A}{f_k} \right\}.$$

O que significa que aumentos (diminuições) na taxa de impaciência da sociedade fazem deslocar paralelamente e para cima (para baixo) a curva $\chi(A, \beta)$. Dito de outro modo, um aumento (redução) da taxa pura de preferência pelo tempo δ , exige que, para um mesmo nível de activos ambientais, o valor

(1) Caso em que se teria:

$$\left. \frac{\dot{C}}{C} \right|_{\mu=0} = \frac{1}{\sigma(C)} \left\{ (f_k - \delta) - \frac{\pi f_k}{(\delta - N_A)} \frac{U_A}{U_C} \right\}$$

do consumo que garante $\dot{C} = \dot{A} = \dot{\mu} = 0$ (ou, equivalentemente, $\dot{\lambda} = \dot{A} = \dot{\mu} = 0$), deva aumentar (diminuir). A fig. IV.4 completa a demonstração

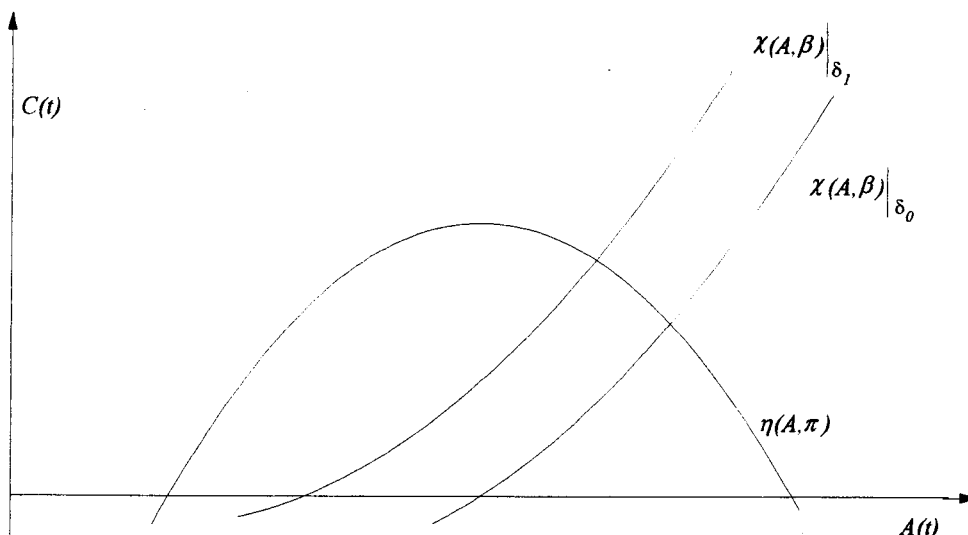


Fig. IV 4 - Aumentos da taxa de desconto fazem deslocar para cima a curva $\chi(\cdot)$.

◇

Para além do seu significado óbvio, esta proposição é ainda importante já que permite estabelecer o intervalo para a taxa de desconto no qual é possível assegurar a existência de apenas um único estado estacionário.

COROLÁRIO IV.1. $\exists \delta_1: \delta = \delta_1 \Rightarrow \delta_1 - N_A = 0$ para a qual, qualquer que seja a taxa de desconto situada no intervalo $[0, \delta_1]$ existe apenas um único estado estacionário no intervalo $[A_m, \bar{A}]$.

Dem. Com efeito, [IV.39] tem zeros para $A = 0$ e para $(\delta - N_A)(f_K - \delta) = \pi \delta f_A$. Fazendo uso da noção de elasticidade, podemos escrever que $(\delta - N_A)(f_K - \delta) = \delta \varepsilon_{YA} \frac{N(A)}{A}$ donde resulta que

$\delta = \delta_1 \cdot \delta_1 - N_A = 0$ o que apenas sucede quando, simultaneamente, se tiver $N(A) = 0$. Ora, esta simultaneidade só acontece quando $A = A_m$, tendo-se, por isso, $\delta_1 = N_A(A_m)$. A figura IV.5 mostra o que acabámos de dizer.

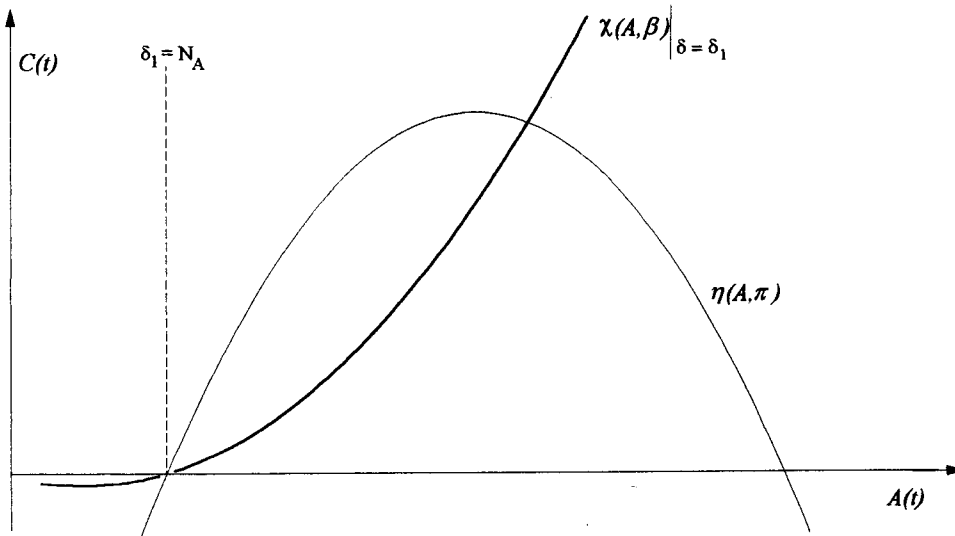


Fig. IV.5 - Valor da taxa de desconto abaixo do qual é possível existir apenas um único estado estacionário

◇

Proposição IV.3 - Para $\delta = 0$ o sistema canónico associado ao problema inicial, gera uma única solução estacionária que coincide com a solução encontrada para a regra de ouro.

Dem. Na verdade, para $\delta = 0$, ter-se-á de [IV.42]

[IV.49]
$$-\frac{U_A}{U_C} = \frac{N_A}{\pi}$$

O que corresponde, com efeito, à exigência da regra de ouro de igualdade entre a taxa marginal de substituição entre o stock de activos ambientais e o consumo com a produtividade marginal dos activos ambientais, ponderada pela taxa de perturbação π .

◇

Com $\delta: 0 < \delta \leq N_A(A_m)$, o estado estacionário é caracterizado por um par de equilíbrio (C^*, A^*) em que o nível de activos ambientais é menor do que o obtido na regra de ouro e um correspondente valor para o consumo que é maior do que o resultante daquela regra. A regra de ouro é, assim, uma configuração de longo prazo para a qual não há necessidade de, explicitamente, se entrar em linha de conta com o stock de capital. Qualquer capital económico é passível de ser acumulável desde que o horizonte temporal seja suficientemente longo.

A conjugação das duas últimas proposições com o corolário IV.1, permite ainda uma análise mais completa acerca das consequências sobre os valores das variáveis quando no estado de equilíbrio de longo prazo. Assim, é visível como aumentos na taxa de impaciência da sociedade fazem reduzir o valor de equilíbrio do stock de activos ambientais correspondente ao estado estacionário. O valor mais elevado para esta agregado é obtido quando a taxa de impaciência é nula. À medida que esta aumenta, A^* tenderá a diminuir.

Inversamente, e sobretudo quando $A_M < A^* < \bar{A}$, as taxas de impaciência mais elevadas corresponderão valores de consumo de equilíbrio também mais elevados. Isto só é possível desde que o stock de capital económico associado ao estado estacionário acompanhe o movimento do consumo. Ou seja, quando a sociedade tem mais dificuldade em diferir consumos no tempo (valorizando, por isso, muito mais o consumo presente), não só consegue ter níveis de consumo no estado estacionário mais elevados como, para que isso suceda, terá de ter um volume de capital económico que o permita.

Esta relação directa entre K^* (ou C^*) e a taxa de desconto que o modelo gera, contraria o resultando "standard" da teoria do crescimento segundo o qual, taxas de desconto mais elevadas exigiam volumes de capital no estado estacionário mais reduzido.

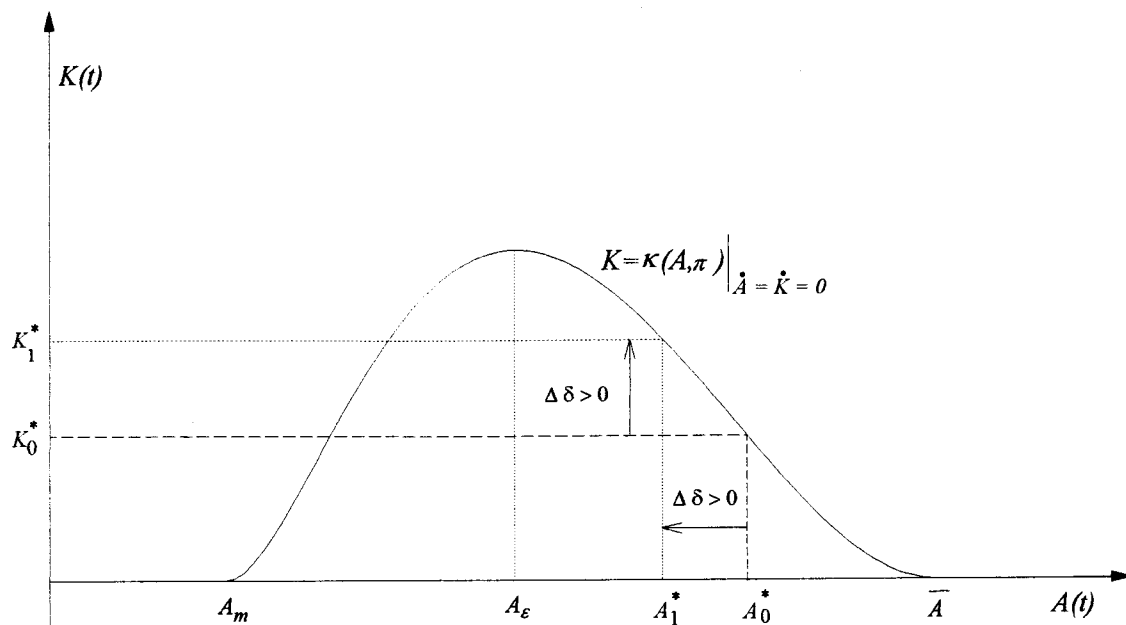


Fig. IV.6 - Valores de equilíbrio para K e A no plano (K, A) para dois valores diferentes da taxa de desconto. Em (K_1, A_1) a taxa de desconto que é maior do que a que consegue gerar (K_0, A_0)

A razão para este resultado pode ser encontrada na presença do stock de activos ambientais quer enquanto factor de produção quer, simultaneamente, enquanto fonte de bem-estar. Um elevado valor da taxa de desconto implica um desejo imediato de um elevado nível de consumo e, dada a relação deste com a taxa natural de regeneração (por via de $\dot{K} = \dot{A} = 0$) o stock de activos ambientais deverá diminuir o que terá de ser compensado com um aumento do stock de capital para que assim seja possível garantir um volume de produção compatível com o que é exigido em termos de consumo.

Proposição IV.4. *Para uma mesma taxa de desconto δ , o Estado Estacionário pode ocorrer quando o sistema natural evidencia "produtividade marginal" positiva, nula ou negativa. É a valoração relativa que a sociedade atribui aos activos ambientais para o seu bem estar que determina a localização do estado estacionário.*

Dem. Dada uma determinada taxa de desconto, torna-se fácil verificar que

$$[IV.50] \quad \chi_{\varepsilon_{UA}}(A, \beta) = -\frac{\chi(A, \beta)}{\varepsilon_{UA}} < 0 \quad \text{para} \quad \chi(A, \beta) > 0$$

e

$$[IV.51] \quad \chi_{\varepsilon_{UA}}(A, \beta) = -\frac{\chi(A, \beta)}{\varepsilon_{UA}} > 0 \quad \text{para} \quad \chi(A, \beta) < 0$$

Isto significa que para uma mesma taxa de desconto, qualquer aumento (redução) da "importância" de A sobre o bem estar fará deslocar a parte positiva de $\chi(A, \beta)$ para a direita e para baixo (esquerda e para cima) e a parte negativa, rodará para a esquerda (direita). Como a taxa de desconto está fixada, a intercepção de $\chi(A, \beta)$ com o eixo das abcissas manter-se-á inalterado e $\chi(A, \beta)$ rodará sobre esse ponto fixo. Deste modo, o estado estacionário correspondente a uma maior influência de A sobre o bem-estar caracterizar-se-á por um menor nível de consumo e por um maior nível de activos ambientais. A fig. IV.7 mostra três funções $\chi(A, \beta)$ às quais estão associados três valores diferentes para a elasticidade da utilidade face ao stock de activos ambientais, completando-se assim a demonstração.

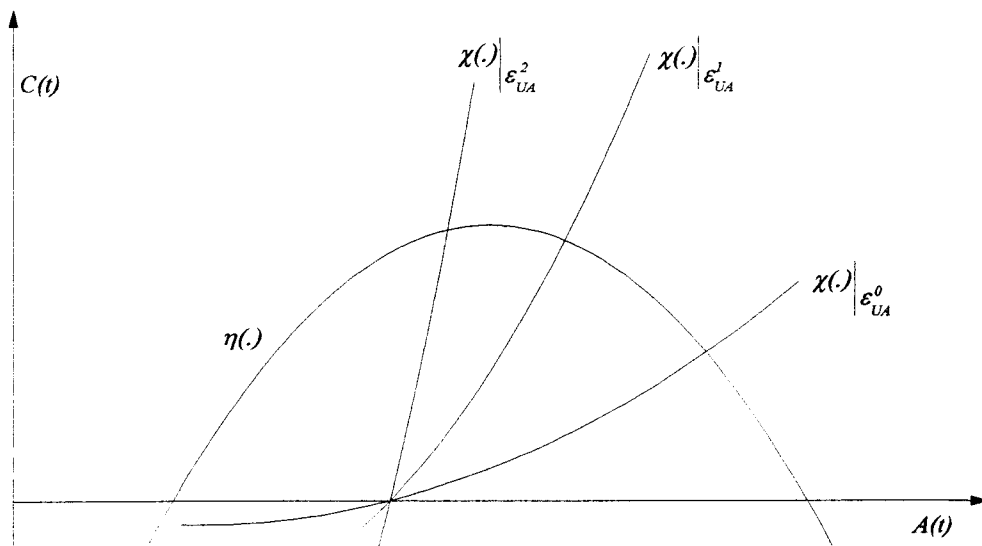


Fig. IV.7 - Quanto maior a importância atribuída ao capital natural no índice de bem-estar maior tenderá a ser volume de activos ambientais no equilíbrio de longo prazo. Na figura $\varepsilon_{UA}^2 < \varepsilon_{UA}^1 < \varepsilon_{UA}^0$

◇

IV.4 - Estabilidade estrutural

Como referimos no início, a dinâmica local que caracteriza o estado estacionário será aqui desenvolvida tendo por base estudos (alguns deles recentes) que procuram alargar o conhecimento sobre a dinâmica associada a sistemas Hamiltonianos de dimensão 4. Começamos por efectuar uma breve exposição da teoria geral usando para isso o trabalho de Dockner (1985) que estabelece as condições necessária e suficientes para que o sistema canónico linearizado gere apenas raízes reais de modo a que o estado estacionário possua as propriedades de ponto sela. Faremos, todavia, uma extensão deste trabalho deduzindo as condições necessárias e suficientes para que o estado estacionário possua propriedades de ponto sela mas agora para o caso em que os valores próprios associados ao Jacobiano seja raízes complexas⁽¹⁾.

Começamos por especificar o problema geral de controle óptimo com duas variáveis de estado (x e y), definido num horizonte temporal infinito, autónomo (com um factor de desconto afectando a função objectivo), sem restrições sobre as variáveis de controle, u e que pode ser perturbado por um conjunto de parâmetros representados aqui pelo vector β . Formalmente, trata-se, em geral, de

$$[IV.52] \quad \max_u \int_0^{\infty} F(u, x, y, \beta) e^{-\delta t} dt$$

s.a

$$[IV.53] \quad \dot{x} = f(x, y, u, \beta)$$

$$\dot{y} = g(x, y, u, \beta)$$

$$x(0) = x_0$$

$$y(0) = y_0$$

(1) Brito P. (1991), faz na sua tese de Doutoramento uma caracterização completa da dinâmica associada a sistemas Hamiltonianos como o que estamos aqui a usar. Nesse sentido os nossos resultados constituem apenas um dos casos que analisa, concretamente o caso que identifica como A (vide ob. cit., pág. 206).

onde, u é o vector das variáveis de controle : $u \in \mathfrak{R}^n$, $\beta \in \mathfrak{R}^m$, $F(\cdot)$, $f(\cdot)$ e $g(\cdot)$ são funções contínuas e definidas em \mathfrak{R} e $\delta > 0$ é a taxa de desconto.

A solução do problema pode ser feito pela aplicação do Princípio de Máximo de Pontryagin que consiste em encontrar um valor para as duas variáveis de co-estado λ e μ , associadas às duas equações diferenciais [IV.53], que maximizam o (valor-corrente) Hamiltoniano

$$[IV.54] \quad H(u, x, y, \beta, \lambda, \mu) = F(u, x, \beta) + \lambda f(x, y, u, \beta) + \mu g(x, y, u, \beta)$$

e garantem a existência de uma trajectória óptima $\{u^*, x^*, y^*\}_{t=0}^{\infty}$ e onde as condições necessárias geram o seguinte Sistema Dinâmico Hamiltoniano:

$$[IV.55] \quad \begin{aligned} \dot{x} &= H_\lambda \\ \dot{y} &= H_\mu \\ \dot{\lambda} &= \delta\lambda - H_x \\ \dot{\mu} &= \delta\mu - H_y \end{aligned}$$

com as seguintes condições de 1ª ordem

$$[IV.56] \quad \frac{\partial H}{\partial u} = 0 \Rightarrow H_u = F_u(\cdot) + \lambda f(\cdot)_u + \mu g_u(\cdot) = 0$$

e que, devido às propriedades de $F(\cdot)$, $f(\cdot)$ e $g(\cdot)$, fornece os níveis óptimos das variáveis de controle, u , como função de todas as variáveis que a determinam (solução fechada). Formalmente

$$[IV.57] \quad \hat{u}_i = \hat{u}_i(x, y, \lambda, \mu, \beta) \quad \text{com } i = 1, \dots, m$$

Introduzindo agora [IV.57] no Hamiltoniano inicial, obtemos o que na literatura se denomina o Hamiltoniano Modificado:

$$[IV.58] \quad \hat{H}(\cdot) = H[\hat{u}_i(x, y, \lambda, \mu, \beta), x, y, \lambda, \mu, \beta]$$

que é, obviamente equivalente ao Hamiltoniano inicial que dá origem a um sistema canónico também equivalente, denominado Sistema Dinâmico Hamiltoniano Modificado

A análise da estabilidade local baseia-se na linearização deste sistema em torno do ponto de equilíbrio $(\dot{x} = \dot{y} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0)$ gerando o seguinte sistema linearizado:

$$[IV.59] \quad \dot{D} = JD \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{\xi} \\ \dot{\eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & -A' + \delta I_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}$$

$$\text{onde } \xi = \begin{bmatrix} x - x^\infty \\ y - y^\infty \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \lambda - \lambda^\infty \\ \mu - \mu^\infty \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} H_{\lambda x} & H_{\lambda y} \\ H_{\mu x} & H_{\mu y} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} H_{\lambda \lambda} & H_{\lambda \mu} \\ H_{\mu \lambda} & H_{\mu \mu} \end{bmatrix}, \quad C = - \begin{bmatrix} H_{xx} & H_{xy} \\ H_{yx} & H_{yy} \end{bmatrix}$$

e, finalmente, I_2 , a matriz Identidade de ordem 2, sendo $J = \{J_{ij}\}_{i,j=1, \dots, 4}$, o Jacobiano obtido a partir do sistema inicial. Como J é uma matriz de dimensão (4×4) , os valores próprios ϕ que lhe estão associados são soluções do polinómio de quarto grau obtido a partir de $\det(J - \phi I_4) = 0$;

$$[IV.60] \quad \sum_{j=0}^4 (-1)^j M(4-j) \phi^j = 0$$

em que $M(h)$ denota o somatório de todos os menores principais de ordem h obtido a partir de J (por convenção, $M(0) = 1$).

$$[IV.61] \quad \phi^4 - M(1)\phi^3 + M(2)\phi^2 - M(3)\phi + M(4) = 0$$

Definindo agora

$$[IV.62] \quad Z = M(2) - \delta^2 = \frac{M(3)}{\delta} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \dot{x}}{\partial x} & \frac{\partial \dot{x}}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial \dot{\lambda}}{\partial x} & \frac{\partial \dot{\lambda}}{\partial \lambda} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{\partial \dot{y}}{\partial y} & \frac{\partial \dot{y}}{\partial \mu} \\ \frac{\partial \dot{\mu}}{\partial y} & \frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \mu} \end{vmatrix} + 2 \begin{vmatrix} \frac{\partial \dot{x}}{\partial y} & \frac{\partial \dot{x}}{\partial \mu} \\ \frac{\partial \dot{\lambda}}{\partial y} & \frac{\partial \dot{\lambda}}{\partial \mu} \end{vmatrix}$$

cada um dos menores principais pode ser escrito do seguinte modo:

$$M(1) = tr(J) = \sum_{i=1}^4 \phi_i = 2\delta$$

$$M(2) = \delta^2 + \delta(J_{33} + J_{44}) - 2(J_{34}J_{43} + J_{14}J_{41}) - J_{13}J_{31} - J_{24}J_{42} = \delta^2 + Z$$

$$M(3) = \delta[M(2) - \delta^2] = \delta Z$$

$$M(4) = det(J) = \Delta$$

e a equação característica de J virá

$$[IV.63] \quad \phi^4 - 2\delta\phi^3 + (\delta^2 + Z)\phi^2 - \delta Z\phi + \Delta = 0$$

que é equivalente à seguinte equação bi-quadrática em $\lambda - \frac{\delta}{2}$ ⁽¹⁾

(1) Vide Brito, P. (1991), pág. 198.

$$[\text{IV.64}] \quad \left(\phi - \frac{\delta}{4}\right)^4 + \left(Z - \frac{\delta^2}{2}\right)\left(\phi - \frac{\delta}{2}\right)^2 - \left(\frac{\delta}{2}\right)^2\left[Z - \left(\frac{\delta}{2}\right)^2\right] + \Delta = 0$$

usando agora a transformação $\varphi = \left(\phi - \frac{\delta}{2}\right)^2$ obtemos a seguinte quadrática em φ :

$$[\text{IV.65}] \quad \varphi^2 + \left(Z - \frac{\delta^2}{2}\right)\varphi - \left\{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2\left[Z - \left(\frac{\delta}{2}\right)^2\right] - \Delta\right\} = 0$$

Como consequência trivial, as raízes desta equação virão

$$[\text{IV.66}] \quad \varphi_{1,2} = \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta}$$

Tendo em conta a transformação que fizemos à pouco, podemos escrever que $\phi - \frac{\delta}{2} = \pm\sqrt{\varphi}$, donde os quatro valores próprios do jacobiano virão, finalmente

$$[\text{IV.67}] \quad \phi_{1,2,3,4} = \frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta}}$$

Estamos agora em condições de estabelecer o seguinte teorema:

Teorema IV.1- *Sendo $\Delta > 0$ e $Z < 0$, a solução estacionária possui as propriedades do ponto de sela. Se $Z^2 - 4\Delta \geq 0$ o Jacobiano do sistema canónico terá 4 raízes reais sendo duas positivas e duas negativas. Se $Z^2 - 4\Delta < 0$ o Jacobiano terá 4 raízes complexas conjugadas, sendo que duas terão parte real positiva e duas parte real negativa.*

Dem. Quando $Z^2 - 4\Delta \geq 0$ é fácil verificar que as raízes serão reais dado que com $Z < 0$ se terá necessariamente $\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta} > 0$. Por outro lado, como $\frac{\delta}{2} < \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta}}$, duas raízes serão positivas e duas negativas. Isto significa que estamos, de facto, em presença das propriedades que tipificam um ponto sela.

Quando $Z^2 - 4\Delta < 0$ teremos seguramente dois pares de raízes complexas

$$[IV.68] \quad \phi_{1,2} = \frac{\delta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} \pm \left(\frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta}\right)}i$$

$$[IV.69] \quad \phi_{3,4} = \frac{\delta}{2} - \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2} \pm \left(\frac{1}{2}\sqrt{Z^2 - 4\Delta}\right)}i$$

que escritas na forma polar tomam o seguinte aspecto

$$[IV.70] \quad \phi_{1,2} = \left(\frac{\delta}{2}\right) + r[\cos\theta \pm i\text{sen}\theta]^{\frac{1}{2}}$$

$$[IV.71] \quad \phi_{3,4} = \left(\frac{\delta}{2}\right) - r[\cos\theta \pm i\text{sen}\theta]^{\frac{1}{2}}$$

e onde se fez

$$[IV.72] \quad r = \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^4 - Z\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \Delta}$$

$$[IV.73] \quad \cos\theta = \frac{\left[\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2}\right]}{r}$$

e

$$[IV.74] \quad \text{sen}\theta = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{4\Delta - Z^2}}{r}$$

usando agora o Teorema de De Moivre, as raízes características do jacobiano podem se escritas do seguinte modo:

$$[IV.75] \quad \phi_{1,2} = \left(\frac{\delta}{2}\right) + r^{\frac{1}{2}} [\cos \frac{1}{2}\theta \pm i \operatorname{sen} \frac{1}{2}\theta]$$

$$[IV.76] \quad \phi_{3,4} = \left(\frac{\delta}{2}\right) - r^{\frac{1}{2}} [\cos \frac{1}{2}\theta \pm i \operatorname{sen} \frac{1}{2}\theta]$$

A parte real de $\phi_{1,2}$ é positiva dado que com $\cos \theta > 0$ se terá $\cos \frac{1}{2}\theta = \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} > 0$. Perante esta circunstância, as propriedades de ponto sela requerem agora que as partes reais de $\phi_{3,4}$ sejam negativas o que se verificará desde que $\left(\frac{\delta}{2}\right) < r^{\frac{1}{2}} \cos \frac{1}{2}\theta$

Usando de novo $\cos \frac{1}{2}\theta = \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} > 0$ podemos escrever que

$$[IV.77] \quad r^{\frac{1}{2}} \cos \frac{1}{2}\theta = r^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2}}{r} \right)}{1}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(r + \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2}}{r} \right)}$$

Porém, como $\Delta > 0$ e $Z < 0$ verificar-se-ão, seguramente as seguintes relações

$$[IV.78] \quad \sqrt{\frac{1}{2} \left(r + \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - \frac{Z}{2}}{r} \right)} > \sqrt{\frac{1}{2} \left(r + \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{r} \right)} > \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{r} + \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{r} \right)} = \frac{\delta}{2}$$

pelo que a parte real de $\phi_{3,4}$ é seguramente negativa e teremos, assim, as condições necessárias para as propriedades de ponto sela.

◇

Isto significa que existem duas "variedades" (manifolds) de dimensão dois (sendo uma estável, associada às raízes com parte real negativa e outra instável, associada às raízes com parte real positiva) tangente aos respectivos Espaços Lineares, respectivamente, Estável (E^s) e Instável (E^u) do sistema canónico e que contém o estado estacionário⁽¹⁾.

A variedade estável de dimensão dois (já que são dois os valores próprios com raízes negativas -ou com parte real negativa) tem a propriedade de que qualquer "caminho" que parta do seu interior, efectuará uma trajectória assintótica em direcção ao estado estacionário. Isto significa que se escolher convenientemente os valores iniciais das variáveis de co-estado e de estado, $\lambda(0) = \lambda[x(0), y(0)]$ e $\mu(0) = [x(0), y(0)]$, de tal modo que estes valores iniciais emanem da variedade estável, então há a garantia de que o caminho que percorrerão ao longo do tempo se dirigirá para o estado estacionário $(x^\infty, y^\infty, \lambda^\infty, \mu^\infty)$.

Se as raízes forem reais e restringindo a análise ao plano da variedade estável linearizada de dimensão dois, então o estado estacionário será caracterizado pela topologia típica de um nó-estável.

Se as raízes forem complexas, a trajectória desenvolvida pelas variáveis em direcção ao estado estacionário descreverá uma espiral (ou foco estável).

Com base nestes resultados passemos agora ao estudo da estabilidade estrutural que caracteriza o modelo que temos vindo a analisar e que, como vimos, pode ser efectuado exclusivamente a partir do Jacobiano, nomeadamente, do seu determinante e da constante Z .

No nosso caso, o jacobiano é dado por:

$$[IV.79] \quad J = \begin{bmatrix} f_K & f_A & -\hat{c}_\lambda & 0 \\ -\pi f_K & N_A - \pi f_A & 0 & 0 \\ -\omega f_{KK} & -\omega f_{KA} & \delta - f_K & \pi f_K \\ -\omega f_{AK} & -\Omega & -f_A & [\delta - (N_A - \pi f_A)] \end{bmatrix}$$

(1) Veja-se o Teorema de Variedade Estável (Stable Manifold Theorem), por exemplo, em Perko (1991-1993), pág. 107.

com

$$[IV.80] \quad \omega = \lambda - \pi\mu > 0 \quad \text{em virtude de [IV.35]}$$

e

$$[IV.81] \quad \Omega = \omega f_{AA} + \mu N_{AA} + U_{AA} < 0 \quad \text{em virtude das hipótese de concavidade das funções } f(\cdot), N(\cdot) \text{ e } U(\cdot).$$

e cujo determinante assume a seguinte forma:

$$[IV.82] \quad \det(J) = \Delta = \pi^2 f_K^2 \hat{c}_\lambda \Omega - \omega \pi f_K f_{KA} \delta + \omega 2 \pi f_K f_{KA} \hat{c}_\lambda (N_A - \pi f_A) - \\ - N_A \pi f_K \frac{U_A}{U_C} - \\ - \omega \hat{c}_\lambda f_{KK} (N_A - \pi f_A) [\delta - (N_A - \pi f_A)]$$

Dadas as propriedades de concavidade que caracterizam as funções envolvidas e para $A^\infty \geq A_M$, cada uma das parcelas de Δ toma os seguintes sinais:

$$i. \quad \pi^2 f_K^2 \hat{c}_\lambda \Omega > 0$$

$$ii. \quad \omega \pi f_K f_{KA} \delta > 0$$

$$iii. \quad \omega 2 \pi f_K f_{KA} \hat{c}_\lambda (N_A - \pi f_A) > 0 \quad \text{uma vez para } A^\infty \geq A_M \text{ se terá } N_A < 0 \text{ o que significa que } (N_A - \pi f_A) < 0.$$

$$iv. \quad N_A \pi f_K \frac{U_A}{U_C} < 0$$

$$v. \quad \omega \hat{c}_\lambda f_{KK} (N_A - \pi f_A) [\delta - (N_A - \pi f_A)] < 0 \quad \text{dado que } [\delta - (N_A - \pi f_A)] \text{ será sempre positivo em consequência do que se disse em iii.}$$

Daqui resulta que o sinal de Δ está dependente da dimensão relativa do segundo termo (positivo) face às restantes parcelas, estas conferindo inequivocamente um sinal positivo ao determinante. Para valores reduzidos da taxa de desconto, aquele segundo termo será suficientemente pequeno para permitir a positividade necessária a Δ .

Por outro lado, a constante Z assume o seguinte aspecto:

$$[IV.83] \quad Z = -f_K(f_K - \delta) - \omega \hat{c}_K f_{KK} + (N_A - \pi f_A)[\delta - (N_A - \pi f_A)] + 2\pi f_K f_A$$

e onde as três primeiras parcelas lhe conferem claramente o sinal negativo (recorde-se que pela proposição IV.1 o termo $f_K(f_K - \delta) > 0$). Se a negatividade destas parcelas não for compensada pela positividade da última parcela, Z respeita a negatividade exigida pelo teorema IV.1 e, desse modo, o estado estacionário possui propriedades de ponto sela.

No entanto, é torna fácil de constatar que não é possível definir claramente o sinal de $Z^2 - 4\Delta$. Pelo que dissemos no teorema IV.1, podemos dizer, contudo, que se o valor inicial dos preços-sombra associados à acumulação de stock de capital e do stock de activos ambientais for convenientemente escolhido, o modelo gera trajectórias que se dirigirão em direcção ao estado estacionário que, quando observadas sobre a variedade estável, assumem a forma bi-dimensional de um nó estável ou de foco estável consoante as raízes sejam, respectivamente, reais ou complexas.

Dito de outro modo, no caso de se ter $Z^2 - 4\Delta \leq 0$, o estado estacionário evidencia as propriedades de ponto sela sendo, por isso, localmente estável no sentido em que, para qualquer valor inicial do stock de capital e do stock de activos ambientais, existirão sempre preços sombra que, se escolhidos convenientemente, conduzirão o sistema em direcção ao estado estacionário. Se $(K(0), A(0)) < (K^*, A^*)$ (e, conseqüentemente, $C(0) < C^*$), o padrão evolutivo em direcção ao equilíbrio de longo prazo, caracterizar-se-á por uma trajectória crescente e monótona de K e A (e C), e, neste sentido, o caminho óptimo é sustentável quer do ponto de vista económico, ($\dot{U}(\cdot) \geq 0$) quer do ponto de vista ecológico ($\dot{A} \geq 0$). Uma vez atingido o estado estacionário, todos os stocks estarão em "repouso" e o índice de bem-estar será o mais elevado que é possível obter dados os parâmetros que afectam o sistema. Porém, se $Z^2 - 4\Delta > 0$, a monotonicidade da trajectória em direcção ao estado estacionário desaparecerá, e a evolução da economia em direcção ao equilíbrio de longo prazo realizar-se-á por ciclos.

V.4.1 O caso particular de $\delta = 0$

Já vimos anteriormente que quando a sociedade é indiferente à passagem do tempo na ponderação que faz dos benefícios futuros, o modelo gera uma solução estacionária consistente com a regra de ouro. O nosso propósito agora consiste em verificar como se caracteriza topologicamente esse estado estacionário. Quando $\delta = 0$, o sistema canónico assumirá o seguinte aspecto:

$$[IV.84] \quad \dot{K} = \frac{\partial H(\cdot)}{\partial \lambda} = f(K, A) - \hat{c}(\lambda)$$

$$[IV.85] \quad \dot{A} = \frac{\partial H(\cdot)}{\partial \mu} = N(A) - \pi f(K, A)$$

$$[IV.86] \quad \dot{\lambda} = \delta \lambda - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial K} = -(\lambda - \pi \mu) f_K$$

$$[IV.87] \quad \dot{\mu} = \delta \mu - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial A} = -(N_A - \pi f_A) \mu - \lambda f_A - U_A = -\mu N_A - (\lambda - \pi \mu) f_A - U_A$$

Proposição IV.5 - Para $\delta = 0$ existe uma única combinação (C^*, K^*, A^*) de tal modo que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (C, K, A) = (C^*, K^*, A^*)$$

exige como condição necessária e suficiente para a existência de um caminho $\{C^*, K^*, A^*\}_{\forall t}$ que se verifique

$$[IV.88] \quad -\frac{U_A}{U_C} = \frac{N_A}{\pi}$$

Dem. O estado estacionário exige que se tenha $\dot{K} = \dot{A} = \dot{\lambda} = \dot{\mu} = 0$. De [IV.86] tem-se

$$[\text{IV.89}] \quad -(\lambda - \pi\mu)f_K = 0$$

o que apenas se verificará quando $\frac{\lambda}{\mu} = \pi^{(1)}$. Deste modo, combinando [IV.86] e [IV.88], obtemos facilmente

$$[\text{IV.90}] \quad \dot{\lambda} \Big|_{\mu=0} = 0 \quad \Rightarrow \quad -\frac{U_A}{U_C} = \frac{N_A}{\pi}$$

Por outro lado, usando [IV.84] e [IV.85] obtemos imediatamente

$$[\text{V.91}] \quad C = \frac{N(A)}{\pi}^{(2)}$$

Finalmente, o conjunto de pares (C,A) que satisfaz [IV.90] é compacto pelo que a solução existe e é única. O stock de capital não é aqui a preocupação central na medida em que [IV.90] prefigura um padrão de equilíbrio de longo prazo e, neste contexto, qualquer volume de capital compatível com essa configuração é passível de ser acumulado.

◇

A estabilidade do estado estacionário é analisada com recurso quer ao determinante do jacobiano do sistema canónico, quer à constante Z . Assim, quando $\delta = 0$, estes assumem o seguinte aspecto:

(1) Obviamente que estamos a excluir qualquer possibilidade de $K = \infty$

(2) Obviamente que estamos a usar o sistema canónico sem a solução fechada para o consumo. O resultado seria idêntico caso em que se considerasse esta "solução fechada" mas, neste caso a solução surgiria explicitada no plano (λ,A) e não no plano (C,A) como a versão que apresentamos.

$$[V.92] \quad J = \begin{bmatrix} f_K & f_A & -\hat{c}_\lambda & 0 \\ -\pi f_K & N_A - \pi f_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -f_K & \pi f_K \\ 0 & -[\mu N_{AA} + U_{AA}] & -f_A & -(N_A - \pi f_A) \end{bmatrix}$$

cujo determinante é claramente positivo:

$$[V.93] \quad \det(J) = \Delta = \pi^2 f_K^2 \hat{c}_\lambda [\mu N_{AA} + U_{AA}] + (N_A f_K)^2 > 0$$

enquanto que a constante Z assume o seguinte aspecto:

$$[V.94] \quad Z = -f_K^2 - (N_A - \pi f_A)^2 + 2\pi f_K f_A$$

que será *negativa* se a positividade da última parcela não anular a negatividade que lhe conferem os dois primeiros termos (ou se se preferir, para valores suficientemente pequenos da taxa de perturbação da dinâmica regenerativa do stock de activos ambientais).

Tal como no caso em que $\delta > 0$, não é possível determinar com clareza o sinal de $Z^2 - 4\Delta$ pelo que, de novo, existem trajectórias que se dirigem ao estado estacionário mas com aproximações que poderão ser do tipo nó-estável ou de tipo espiral convergente.

IV.5 - Conclusão

O primeiro aspecto que sobressai do trabalho desenvolvido neste capítulo refere-se à possibilidade de uma economia que interage com o sistema natural e valoriza os activos ambientais quer pelo seu contributo para o bem-estar quer para a produtividade, poder evidenciar um padrão de crescimento

económico sustentável que culmina num estado de equilíbrio de longo prazo onde todas as variáveis estarão em repouso. Todavia, o número de estados estacionários que é possível gerar depende crucialmente apenas da taxa de desconto. Para valores da taxa de impaciência situados num intervalo bem determinado, é possível garantir a existência de apenas um único estado estacionário. Quando a taxa de desconto sai desse intervalo, a economia passa a poder gerar dois estado de equilíbrio de longo prazo ou mesmo a não existir qualquer solução estacionária.

A taxa de impaciência desempenha ainda um papel determinante no estabelecimento dos valores relativos das variáveis económicas e naturais do modelo. Como seria de esperar, uma maior valorização do consumo presente obriga a que o stock de activos ambientais no estado estacionário seja mais reduzido e, se este se localizar na zona em que a taxa natural de regeneração é decrescente com o nível de activos ambientais, o consumo tenderá a ser mais elevado.

Porém, contrariamente ao tradicional output dos modelos de crescimento económico, a elevação da taxa de impaciência pode exigir, na configuração de equilíbrio de longo prazo, um volume de stock de capital mais elevado, única forma de compensar a redução do stock de activos ambientais e assim viabilizar um volume de produção que assegure as necessidades de consumo.

Do ponto de vista estritamente económico, o modelo com interacção entre o sistema económico e o sistema natural, dá origem a dois resultados pouco agradáveis para o crescimento. Em primeiro lugar o volume de capital que está associado à solução de equilíbrio é claramente inferior ao exigido na literatura "clássica" sobre o crescimento económico que ignora as interacções entre os dois sistemas.

Grande parte da responsabilidade deste resultado deve-se ao princípio adoptado nesta dissertação segundo o qual uma economia será tanto mais produtiva quanto melhor for a qualidade ambiental que poder dispôr e que se traduz na presença do stock de activos ambientais na função de produção.

No entanto, este princípio exige dois pressupostos cuja validação empírica ainda está por fazer. Por um lado, os activos ambientais devem ser, pelo menos, tão produtivos quanto o stock de capital económico. Por outro, exige a viabilidade técnica de substituição entre aqueles dois tipos de activos (e que, de resto, é ela própria uma hipótese inicial do modelo).

Mas existe ainda um outro resultado pouco favorável para as teses do crescimento económico "clássico". A presença do efeito bem estar e do efeito produtividade afectam negativamente o ritmo de crescimento do consumo durante o caminho óptimo, tornando-o mais lento quando comparado com o seu padrão evolutivo num contexto de ausência de interacções com o sistema natural.

Compreende-se que assim seja, uma vez que a avaliação social sobre o estado da economia não depende exclusivamente do nível de consumo mas também da qualidade ambiental que a sociedade dispõe em cada momento. É o efeito bem-estar que desempenha aqui um papel determinante, "suavizando" a importância do consumo enquanto fonte exclusiva de bem-estar.

Quando a sociedade pondera consumos futuros à taxa zero desistindo, por isso, de provocar uma assimetria entre as gerações presentes e as futuras, a solução do modelo existe, é única e corresponde integralmente à regra de ouro encontrada no capítulo III: o nível de consumo e de activos ambientais deve ser de tal ordem que, com essa combinação de equilíbrio, a taxa segundo a qual a sociedade aceita reduzir o nível de activos ambientais para poder ter uma unidade adicional de consumo iguala a taxa à que a natureza permite que essa troca se efectue.

Tal como no capítulo III, é a presença de uma taxa de impaciência positiva que cria um desajustamento entre aquelas duas taxas que penaliza o stock de activos ambientais e obriga à sua "sobre utilização". O resultado é, como seria de esperar, a sua escassez relativa e, conseqüentemente, um aumento do seu valor relativamente ao consumo. Uma sociedade demasiado preocupada com o seu Bem-Estar presente impede-a de acumular capital ambiental e, com isso, de proporcionar maior qualidade ambiental às gerações suas sucessoras.

O segundo aspecto que consideramos importante diz respeito às trajectórias que a economia efectuará quando se encontrar numa situação de partida não coincidente com o estado estacionário. São dois os níveis em que podemos sumariar as principais conclusões.

Em primeiro lugar, as trajectórias em direcção à solução estacionária, quando existem, dependem crucialmente das *condições de iniciais*. Apenas quando verificadas, haverá a certeza de que a economia evolue em direcção ao estado de equilíbrio de longo prazo. Qualquer outra combinação que não coincida com aqueles valores iniciais não garante a convergência e até a evolução simultânea do sistema económico e do sistema natural em direcção à configuração de longo prazo.

Em segundo lugar, uma vez respeitados os valores iniciais que asseguram a existência caminhos óptimos convergentes, a trajectória descrita em direcção à solução estacionária não pôde ser claramente determinada, o que não impediu, porém, que seja possível garantir que essas aproximações se façam sob a forma de nó-estável ou sob a forma de espiral convergente.

Como tivemos ocasião de referir, não é indiferente que a aproximação se faça duma ou de outra forma. No primeiro caso, escolhidos os valores iniciais, o caminho óptimo é monótono e pode ser sustentável

no sentido definido no capítulo II. No segundo caso, o caminho existe, não é monótono mas desenvolve-se seguindo um padrão cíclico. Numas fases do ciclo será sustentável, noutras não. Muito embora convergente para o estado estacionário e de acordo com o critério definido no capítulo II, globalmente o caminho óptimo não é sustentável. Porém, uma vez alcançado este, a economia estará numa configuração sustentável a longo prazo. O crescimento económico é, neste caso, efectuado por ciclos cujos desvios face à solução estacionária são cada vez menores.

Finalmente, o terceiro aspecto que desejamos realçar diz respeito à influência das preferências da sociedade sobre a configuração de longo prazo. Dissemos atrás que a taxa de desconto determina não só o número como ainda a posição relativa dos estados estacionários. As preferências sociais não determinam o número de soluções estacionárias mas têm uma importância determinante nos valores que as variáveis assumirão no equilíbrio.

Para uma mesma taxa de desconto, o stock de activos ambientais de equilíbrio será tanto maior (menor) quanto maior (menor) for a importância que a sociedade lhes atribui a afectação do seu Bem-Estar. Uma sociedade que atribui pouca importância à qualidade ambiental enquanto determinante no seu índice de bem-estar (por opção ou por necessidade) arrisca-se a atingir um estado estacionário caracterizado por menor capital natural comparativamente a outra sociedade que atribua maior importância à componente ambiental na sua noção de Bem-Estar.

CAPÍTULO V

Conclusões, Comentários Finais e Perspectivas de Desenvolvimentos Futuros

A emergência do conceito de Desenvolvimento Sustentável deve muito às mudanças de percepção sobre a importância e influência das questões ambientais na vida da sociedade. A teoria económica não ficou imune a essas alterações de perspectiva e, aos poucos, tem procurado realizar uma abordagem mais compreensiva das relações entre a economia e o ambiente e que vai muito para além da tradicional abordagem da determinação das condições óptimas de gestão e extracção dos recursos naturais renováveis e/ou não-renováveis.

De resto a classificação usual dos activos ambientais entre recursos renováveis e não-renováveis é um indicador claro da forma restrita como a economia tem enfrentado as interacções entre o sistema económico e o sistema natural. Este é útil apenas porque fornece os recursos naturais necessários ao processo de produção, acumulação e consumo e porque funciona como um assimilador ilimitado que absorve convenientemente os subprodutos originados por aqueles processos. A ciência económica tem tirado pouco significado económico da dependência física entre o sistema económico e o sistema natural.

Os activos ambientais, desempenham funções para o sistema económico que vão para além do simples fornecimento de recursos necessários ao funcionamento e desenvolvimento do sistema económico-social. A ideia de um sistema económico e social isolado do contexto natural em que se insere é já tão velha quanto inadequada. Os bens e serviços ambientais fornecidos pelos activos ambientais como a capacidade de assimilação, a diversidade genética, o fornecimento de valores estéticos, culturais ou mesmo espirituais, podem ter um valor muito superior ao rendimento gerado pelo uso dos tradicionais

recursos naturais. O problema é que esse valor não pode ser deduzido, uma vez que estes bens e serviços ambientais não possuem um mercado a partir do qual seja possível obter o seu preço e assim inferir sobre a sua escassez. Porém a sua disponibilidade é um "valor social" assim como a sua perda pode ser considerada um "custo social". A sua manutenção para uso das gerações presentes e futuras é, nesta perspectiva, desejável do ponto de vista da sustentabilidade.

Esta dissertação é antes de mais um percurso solitário (e solidário com o orientador) numa zona de confluência entre a ciência económica e as ciências naturais que ainda não goza de um estatuto e aceitação por parte da generalidade dos economistas.

Entre o conjunto de economistas que dedicam o seu tempo e esforço ao estudo e à compreensão desta zona de interface, existem várias correntes, algumas das quais propondo novos paradigmas para a ciência económica. Não foi nem é este o nosso caso. Com esta dissertação pretendemos dizer que acreditamos que é necessário alargar as fronteiras da economia e contribuir, com isso, para o debate, as soluções e as enormes e interessantes questões suscitadas pela sustentabilidade, as relações entre o sistema económico e o sistema natural mas usando as "ferramentas" do paradigma económico prevalecente. De resto este ainda não se encontra totalmente testado nesta região de interesse e, por isso, parece-nos mais útil proceder a essa extensão do que tentar "refundar" a economia.

O capítulo I mostra como de um lado, a problemática ambiental nunca foi estranha à ciência económica. A "riqueza das nações" está inequivocamente relacionada com as dotações ambientais e não apenas de recursos, de um determinado espaço económico, constituindo a infraestrutura base sem a qual o sistema económico não se poderia ter desenvolvido. Mostrámos, por outro lado, que é possível pensar e formalizar no quadro da teoria económica as principais interações que caracterizam as relações entre a economia e o ambiente, sintetizadas em torno das três funções dos activos ambientais com relevância económica: fornecimento de recursos naturais (renováveis e não-renováveis), assimilação dos desperdícios gerados pela actividade económica e fornecimento directo de Bem-Estar.

Como dissemos, a única forma da economia contribuir para o debate sobre a sustentabilidade consiste em incluir explicitamente nas suas análises, na sua estrutura analítica e conceptual, elementos e ensinamentos oriundos das ciências naturais.

A sustentabilidade é um conceito sobre cujo significado não existe ainda uma ideia clara e geralmente aceite quer entre economistas quer entre especialistas de diferentes áreas científicas. À primeira vista, é difícil não concordar com o seu sentido e os seus objectivos. Afinal de contas, no limite é a própria vida sobre o planeta que está em causa. Porém, como sempre acontece nestes casos, não é o sentido

mais amplo e geral que transporta consigo mais informação e utilidade prática. A necessidade de o tornar operacional é principal desafio que se coloca hoje aos economistas do ambiente.

Como julgamos ter deixado claro no capítulo II, o conceito não é inteiramente estranho à economia. Originariamente, a sustentabilidade é um conceito ecológico que traduz uma espécie de "comportamento prudente" desenvolvido pelos predadores de modo a assegurar um "rendimento máximo sustentável" que garanta sua sobrevivência presente e futura. Em economia esta lógica de "comportamento prudente" foi introduzida por Hicks quando define rendimento como o máximo valor que poderá ser consumido durante um determinado período de tempo de modo a que no final desse período o seu detentor se encontre pelo menos na mesma situação que dispunha no início.

Como Ciência Social que é e centrada que está no homem, a sustentabilidade, para a economia diz respeito ao *Bem-Estar* (ou Utilidade) e pode ser sucintamente descrita como a *exigência de uma trajetória pelo menos não decrescente para aquele agregado*, qualquer que seja o indicador (ou indicadores) relevante (rendimento, a produção, o consumo, ou qualquer outro), *num contexto de restrições ambientais* mais ou menos rígidas (imposição de limites ao uso dos recursos, respeito e valorização dos activos ambientais enquanto fornecedores directos de Bem-Estar, exigências quanto à emissão de desperdícios, sobretudo no respeito pela capacidade de assimilação dos diferentes activos ambientais, etc). Daqui resulta a dimensão claramente intertemporal do conceito de sustentabilidade e onde se alicerça, de resto, o princípio enquadrador da equidade intergeracional.

É justamente este o contexto onde ganha sentido a questão central suscitada pela sustentabilidade: procura-se maximizar os benefícios provenientes do crescimento económico no respeito pelas condições impostas pela envolvente ambiental onde ele tem lugar. Dito de outro modo, é nesta zona de confluência entre a necessidade de assegurar uma performance económica que garanta o máximo Bem-Estar e o respeito pelas condições naturais que se enquadra a problemática do crescimento económico e onde centrámos o estudo desenvolvido nos capítulos III e IV.

Nos dois casos que analisámos e ainda que não fosse essa a nossa intenção inicial, confirmámos a ideia proposta por Daly em vários dos seus artigos segundo a qual a sustentabilidade a longo prazo é caracterizada por um estado estacionário no qual o sistema económico atinge uma "escala" que "encaixa" nos limites e equilíbrios termodinâmicos impostos e admissíveis pela natureza.

De forma não surpreendente, esse estado estacionário será caracterizado por um nível de activos ambientais tanto maior quanto mais paciente for a sociedade face à disponibilidade dos benefícios no tempo. No limite (ou seja, quando $\delta = 0$), as trocas exigidas pelo sistema económico na sua relação

com o sistema natural pautar-se-ão pelo respeito pela capacidade da natureza em proceder a essas trocas. Esta configuração de longo prazo garante a todas as gerações o mais elevado nível de bem estar que é possível assegurar, para um determinado valor dos parâmetros económicos e naturais.

Este resultado mostra a importância que assume para a sustentabilidade o modo como a sociedade pondera os benefícios que obtém em diferentes momentos no tempo. Já dissemos que um valor positivo para a taxa de desconto provoca uma assimetria entre as gerações presentes e futuras, especialmente aquelas que viverão num futuro longínquo. A perturbação provocada por um valor não nulo da taxa de desconto é particularmente acentuada no contexto dos temas ambientais de que estamos a falar, cujas consequências se farão sentir durante um horizonte temporal bastante grande (modificações climáticas, a resíduos nucleares, etc.) e onde um valor positivo para a taxa de desconto não é capaz de as ampliar suficientemente⁽¹⁾.

É, no entanto, importante salientar que o estado estacionário é um ponto de chegada que nada diz sobre o padrão evolutivo da economia a não ser que esta já se encontre sobre ele. Quando a economia parte de uma situação não coincidente com o estado estacionário, apenas haverá a garantia de que se dirigirá para a configuração de longo prazo se os valores iniciais das variáveis relevantes forem consistentes com os valores exigidos no caminho óptimo. Dito de outro modo, o *caminho óptimo* em direcção ao estado estacionário *depende das dotações iniciais de consumo e dos activos económicos e ambientais*.

Se os valores iniciais forem inferiores aos seus correspondentes na configuração de longo prazo, o caminho óptimo será sustentável no sentido em que durante todo o percurso, o Bem-Estar será sempre crescente. Quando a combinação dos valores iniciais não coincidir com a exigida para o caminho óptimo, não há nenhuma trajectória que, sendo apesar de tudo óptima, se encaminhe para o estado estacionário. O resultado será ou o colapso simultâneo dos dois sistemas quando o stock de activos ambientais atinge o limiar de segurança ou apenas o sistema natural conseguirá sobreviver, atingindo neste caso a sua capacidade máxima de suporte estando, neste caso, a actividade económica reduzida a zero.

(1) Como nota Heal, G (1996), uma das vias possíveis consiste em assumir que sendo certo que os indivíduos ponderam de forma diferente benefícios (ou custos) quando eles ocorrem em momentos diferentes no tempo, essa ponderação difere em função do horizonte temporal associado a àqueles benefícios (custos). Em particular, existem evidências suficientes para se poder afirmar que as decisões intertemporais dos indivíduos se baseiam em taxas de desconto que decrescem à medida que o horizonte temporal que têm de enfrentar é maior. Isto sugere a substituição da taxa de desconto constante nos modelos sobre crescimento e sustentabilidade por uma taxa de desconto que diminua com o horizonte temporal. Formalmente $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta(t) = 0$ o que significaria, no âmbito do nosso estudo, que o estado estacionário de longo prazo corresponderia *sempre* à Regra de Ouro.

A forma como se dá a aproximação à configuração de longo prazo depende dos parâmetros envolvidos e, em geral, é monótona já que o estado estacionário evidencia estabilidade local no sentido de Ponto Sela. Apenas no caso desenvolvido no capítulo IV a aproximação pode ser efectuada em forma de espiral, com períodos onde as variáveis económicas e o stock de activos ambientais variam no mesmo sentido, seguidos de períodos em que ambos variam em sentido inverso. Mas, ainda assim, a trajectória será convergente.

O trabalho desenvolvido mostra ainda um outro resultado que contraria a esperança representada pela Curva Ambiental de Kuznets. Quando a Função Perturbação é em forma de U-invertido, se o nível de consumo for suficientemente elevado, a única forma de garantir a compatibilização e sobrevivência de ambos os sistemas, consiste em a sociedade corrigir a "miopia" individual face ao futuro impondo uma taxa de desconto nula.

Do ponto de vista estritamente económico, os resultados são pouco animadores para as teses do crescimento económico já que revelam que a economia deve crescer a um ritmo mais lento se quiser dispor e legar aos seus sucessores uma melhor e duradoura qualidade ambiental. No estado estacionário o volume de volume de stock de capital tenderá também a ser inferior ao que se registaria num contexto de um sistema económico-ambiental não integrado.

É a importância atribuída aos padrões de qualidade ambiental e o modo como eles afectam quer a avaliação social que, em cada momento, se faz sobre o estado da economia, quer a produtividade e o impacto negativo da emissão de desperdícios sobre a taxa natural de regeneração que condicionam o crescimento da economia e a "condenam" a ritmos de evolução mais lentos e consistentes com as preocupações de equidade intergeracional, típicas da sustentabilidade.

Mas os modelos mostram também a medida da nossa ignorância face aos processo naturais, sobretudo no que diz respeito à função assimilação, à sua perturbação causada pelo sistema económico e a sua relação com o nível de actividade económica, seja ele o consumo ou a produção.

O capítulo III explora esta questão e é particularmente claro quanto a este último aspecto. A alteração qualitativa da função perturbação e os resultados que então obtivemos, deve alertar-nos para os limites do nosso conhecimento sobre o funcionamento da natureza e das interacções entre a economia e o ambiente as consequências e as ilações que desse facto poderemos retirar. Mas deve também constituir um estímulo para futuras investigações, sobretudo se levadas a cabo em cooperação com especialistas nas áreas das ciências da natureza.

Mais do que a resolução de um "problema" ou um ponto de chegada, esta dissertação representa antes uma oportunidade de pesquisa a ser explorada sendo várias os caminhos de investigação futura que ela suscita e que agruparemos em torno de dois grandes grupos: por um lado, estudos fundamentalmente orientados para a "análise teórica" dos problemas e, por outro, estudos dirigidos para o teste empírico de algumas hipóteses.

Uma primeira linha de investigação que este trabalho suscita diz respeito à análise dos efeitos de os investimentos na qualidade ambiental podem exercer sobre o padrão de crescimento, a configuração de longo prazo e a velocidade a que a economia se aproxima dessa configuração equilíbrio de longo prazo.

O investimento na qualidade ambiental melhora a capacidade dos ecossistemas em absorverem a poluição emitida e potenciam a capacidade regenerativa dos recursos renováveis em fornecerem os inputs produtivos necessários ao processo económico de produção. A questão interessante em análise reside em saber se, como defendem alguns autores (por exemplo, Smulders, 1995), a redução da "actual" pressão ambiental pode viabilizar não apenas uma maior intensidade (presente e futura) na utilização dos activos ambientais, muito embora ecologicamente sustentável, como ainda níveis futuros de poluição mais elevados e, conseqüentemente, maiores ritmos de crescimento económico.

Um modo de fazer esta extensão consiste em "encarregar" a autoridade central de proceder a esses investimentos o que, em termos de modelo, corresponderia a introduzir "despesa Pública" especialmente dirigida para a redução da pressão e conseqüente melhoria na qualidade ambiental sobre os resultados que obtivemos. Como vimos, o menor ritmo de crescimento económico deveu-se, por um lado, à presença do stock de activos ambientais quer na função de produção quer no índice de Bem-Estar e, por outro, à perturbação que a actividade económica exerce sobre a taxa natural de regeneração num contexto em que nenhuma "despesa pública" era efectuada para contrabalançar aquele efeito perturbador. É assim interessante saber que conseqüências será de esperar sobre o padrão de crescimento económico quando a entidade planeadora decide efectuar despesa pública concebidas para minimizar os impactos da poluição.

Por outro lado, a presença da externalidade negativa causada pela produção e a conseqüente desaceleração do processo de acumulação de capital, sugere que a entidade planeadora intervenha impondo uma taxa (pigouviana) no sentido de desincentivar a emissão de resíduos não tratados directamente para o ambiente. No contexto da macrodinâmica em que estamos a trabalhar, quais seriam as conseqüências da adopção de uma política desta natureza sobre a configuração de longo prazo, sobre a taxa de crescimento da economia e sobre o processo de acumulação de capital?

Pondo de lado a lógica da intervenção governamental, existe ainda um outro vector de análise que consiste em colocar a hipótese de coexistência de dois sectores produtivos distintos mas complementares entre si. De um lado um sector produtivo tradicional que produz um único e homogéneo bem que pode ser consumido ou utilizado para acumular capital, que usa trabalho, capital e recursos naturais mas que devido às leis da termodinâmica, emite subprodutos que contaminam o ambiente e afectam não apenas a qualidade ambiental mas ainda a sua capacidade de auto-regeneração. Por outro lado, um segundo sector que usando também capital e trabalho como inputs produtivos está, todavia, especialmente orientado para actividades de eliminação da poluição emitida pelo primeiro sector (reciclagem, tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais, tratamento de águas residuais, etc) por forma a manter o fluxo de poluição abaixo de um determinado nível fixado pela autoridade planeadora.

A manutenção do fluxo de poluição abaixo do limite estabelecido garante, à partida, a sustentabilidade ecológica (no pressuposto óbvio de que o parâmetro de referência é consistente com a sustentabilidade física) mas importa conhecer nestas condições qual a viabilidade e a característica do crescimento, os valores relativos das variáveis no estado estacionário, o tipo de aproximação ao equilíbrio de longo prazo, a dependência das condições iniciais, a sua consistência com a sustentabilidade económica, etc.

A segunda linha de investigação sugerida pelo trabalho desenvolvido nesta dissertação encontra no progresso técnico o elemento motivador. A evolução do sistema económico assim como das suas relações com o sistema natural baseia-se quer na utilização crescente (e conseqüente delapidação) do stock de activos ambientais quer, inegavelmente, na introdução de novas técnicas de produção.

Em alguns casos, é o impacto negativo das actividades económicas sobre os activos ambientais que se revela suficientemente motivador para gerar um processo de pesquisa no sentido de resolver os problemas criados. Noutros, porém, é o aparecimento de "restrições naturais" (por exemplo, lençóis de água em explorações mineiras) que as técnicas em uso não conseguem superar eficientemente que desencadeia o processo de invenção de uma nova técnica para ultrapassar aquelas restrições e que, posteriormente, se ramifica por todo o tecido empresarial. Este processo de inovação é contudo um processo dinâmico. As novas técnicas destinam-se a resolver problemas específicos num dado momento mas, a prazo, irão surgir novas restrições que desencadearão um novo ciclo de invenção/inovação.

É com este "pano de fundo" que adquire interesse a incorporação da lógica das interações entre o sistema económico e o sistema natural no contexto da teoria económica do crescimento endógeno. A questão, atraente, que esta via de análise suscita de imediato consiste em procurar saber se a não

rivalidade no uso do conhecimento e a conseqüente facilidade com que ele se dissemina por todo o sistema económico (o efeito externalidade) continua a permitir gerar crescimento equilibrado e permanente num quadro de respeito pelas condições de sustentabilidade e de limitação da expansão ambiental devido às leis da entropia.

Uma das possibilidades que surgem na abordagem a este tema, e ainda não tentada, consiste em proceder à extensão dos modelos de Lucas (1988), Romer (1990) e Rebelo (1991) de modo a neles incorporar quer os efeitos Bem-Estar e produtividade quer a dinâmica regenerativa do stock de activos ambientais, única forma de introduzir a condicionante representada pelas leis da entropia.

Por outro lado, a segunda via de análise no contexto da teoria do crescimento endógeno consiste em considerar que a acumulação de capital tem efeitos sobre o aumento da produtividade do stock de activos ambientais, uma externalidade que é internalizada ao longo do caminho óptimo. Deste modo, a produtividade dos activos ambientais depende do stock de capital acumulado o que significaria que esta acumulação é baseada no aparecimento de novas técnicas que permitem reduzir o fluxo de emissão de poluição por unidade de produto final.

O segundo grupo de temas para investigação suscitados por esta dissertação refere-se ao teste empírico de algumas hipótese subjacentes às formalizações teóricas. O primeiro tema que imediatamente nos surge como candidato a futuros trabalhos de investigação é, sem dúvida, a estimação de funções de produção (sectoriais ou agregadas) que testem não só a importância e magnitude do efeito produtividade atribuído aos activos ambientais, como ainda as possibilidades técnicas de substituição entre o stock de capital e o stock de activos ambientais assumidas nas generalidade das formulações. Finalmente, a importância que a forma específica quer da função regeneração quer a função perturbação têm para os resultados sugerem ainda uma linha de pesquisa que ajude a clarificar o tipo de relação que efectivamente se estabelece entre o sistema económico e o sistema natural. No que toca à segunda função, os trabalhos conhecidos apontam para uma descolagem entre o crescimento económico e a degradação ambiental a partir de determinado nível de rendimento. Mas desconhece-se se essa descolagem é permanente ou se, pelo contrário, a relação positiva entre a expansão económica e a degradação da qualidade ambiental tem tendência para se restabelecer. Neste caso, a função perturbação seria globalmente côncava com um segmento inicial estritamente côncavo seguindo de um segmento estritamente convexo ou, mais simplesmente, em forma de *N*.

Muito permanece por fazer na compreensão dos temas que inegavelmente ligam a economia às ciências naturais e em particular à ecologia e que transcende as suas próprias fronteiras. Com este

trabalho julgamos ter dado um contributo, ainda que modesto, para os passos que se tornam necessários dar nesse sentido.

ANEXO

ALGUMAS DEFINIÇÕES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

"Sustainable development - development that is likely to achieve lasting satisfaction of human needs and improvement of the quality of human life"

Robert Allen, 1980; *How to Save the World*, London: Kogan Page, pág 23.

"The concept of sustainable economic development as applied to the Third-World ... is therefore directly concerned with increasing the material standard of living of the poor at the grassroots level, which can be quantitatively measured in terms of increased food, real income, educational services, healthcare, sanitation and water supply, emergency stocks of food and cash, etc., and only indirectly concerned with economic growth at the aggregate, commonly national level. In general terms, the primary objective is reducing the absolute poverty of the world's poor through providing lasting and secure livelihoods that minimise resource depletion, environmental degradation, cultural disruption and social instability"

Edward Barbier, 1987; *The Concept of Sustainable Economic Development*, Environmental Conservation, Vol. 14, nº2, pp. 101-110.

"A major challenge of the coming decades is to learn how long-term large-scale interactions between environment and development can be better managed to increase the prospects for ecologically sustainable improvements in human well-being"

W. Clark & R. Munn, 1986; *Sustainable Development of the biosphere*, Cambridge University Press, pág. 5

"More difficult to define is sustainability. The common use of the word "sustainable" suggest an ability to maintain some activity in the face of stress - for example to sustain physical exercise, such as jogging or doing press-ups - and this seems to us also the most technically acceptable meaning. We thus define agricultural sustainability as the ability to maintain productivity, whether of a field or farm or nation, in the face of stress or shock"

G. Conway & E. Barbier, 1988; *After the Green Revolution: Sustainable and equitable Agricultural Development*, Futures, 20, nº 6, pág. 653.

"...sustainable society is one that lives within the self-perpetuation limits of its environment. That society ... is not a no-growth society It is, rather, a society that recognises the limits of growth ... and looks for alternative ways of growing"

James Coomer, 1979; *The nature of the Quest for a sustainable Society*, in J. Coomer (ed.), *Quest for Sustainable Society*, Oxford, Pergamon Press.

"Sustainable development is here defined as a pattern of social and structural economic transformations (i.e. 'development') which optimises the economic and societal benefits available in the present, without jeopardising the likely potential for similar benefits in the future. A primary goal of sustainable development is to achieve a reasonable (however defined) and equitably distributed level of economic well-being that can be perpetuated continually for many human generations. ... sustainable development implies using renewable natural resources in a manner which does not eliminate or degrade them, or otherwise diminish their usefulness for future generations. Sustainable development also implies depleting non-renewable energy resources at a slow rate so as to ensure the high probability of an orderly societal transition to renewable energy sources ..."

Robert Goodland & G. Ledoc, 1987; *Neo-classical Economics and Principles of Sustainable Development*, Ecological Modelling, Vol. 38

"...activities should be considered that would be aimed at maintaining over time a constant effective natural resource base. This concept was proposed by Page (1977) and implies not an unchanging resource base but a set of resource reserves, technologies and policy controls that maintain or expand the production possibilities of future generations."

Charles Howe, 1979; *Natural Resources Economics*, New York

"The basic idea is simple in the context of natural resources (excluding exhaustibles) and environment: the use made of these inputs to the development process should be sustainable through time If we now apply the idea to resources, sustainability ought to mean that a given stock of resources - trees, soil quality, water and so on - should not decline. ... sustainability might be redefined in term of a requirement that the use of resources today should not reduce real incomes in the future."

Anil Markandaya & David Pearce, 1988; *Natural Environments and the Social Rate of Discount*, Project Appraisal, Vol. 3, Nº 1.

"Thus we need to nail down the concept of sustainable development. I propose five increasingly comprehensive definitions. First, we can start at a local level and simply ask whether a region's agricultural and industrial practices can continue indefinitely. Will they destroy the local resource base and environment or, just as bad, the local people and their cultural system? Or will the resource base, environment technologies and culture evolve over time in a mutually reinforcing manner? This first definition ignores whether there might be subsidies to the region - whether material and energy inputs or social inputs such as the provision of new knowledge, technologies and institutional services are being supplied from outside the region.

Second, we can ask whether the region is dependent upon non-renewable inputs, both energy and materials, from beyond its boundaries. Or is the region dependent on renewable resources beyond its boundaries which are not being managed in a sustainable manner?

Third, we can become yet more sophisticated and ponder whether the region is in some sense culturally sustainable, whether it is contributing as much to the knowledge and institutional bases of other regions as it is culturally dependent upon others.

Fourth, we can also question the extend to which the region is contributing to global climate change, forcing other regions to change their behaviour, as well as whether it has options available to adapt to the climate change and surprises imposed upon it by others. From the global perspective, This fourth definition of sustainable development addresses the difficulties of going from hydrocarbon energy stocks to renewable energy sources while adapting to the complications of global climate change induced by the transitional net oxidation of hydrocarbons.

Fifth, and last, we can inquire of the cultural stability of all regions in combination, are they evolving along mutually compatible paths, or will they destroy each other through war?

These definitions become increasingly encompassing. All, however, address the sustainability of changing interactions between people and their environment over time."

Richard Norgaard, 1988; *Sustainable Development: a Co-Evolutionary View*, *Futures*, Vol. 20, n° 6.

"The sustainability criterion requires that the conditions necessary for equal access to the resource base be met for each generation"

David Pearce, 1987; *Foundations of an Ecological Economics*, *Ecological Modelling*, Vol. 38.

"Our standard definition of sustainable development will be non-declining per capita utility - because of its self-evident appeal as a criterion for intergenerational equity"

John Pezzey, 1989; *Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development*, World Bank, Environment Department, Working Paper n° 15, Washington.

"We take development to be a vector of desirable social objectives, and elements might include:

- increases in real income per capital
- improvements in health and nutritional status
- educational achievement
- access to resources
- a "fair" distribution of income
- increases in basic freedoms

...sustainable development is then a situation in which the development vector increases over time.

... We summarise the necessary conditions as a 'constancy of the natural capital stock'. More strictly, the requirement is for non-negative changes in the stock of natural resources and environmental quality"

David Pearce, Edward Barbier, Anil Markandaya, 1990; *Sustainable Development: Economics and Environment in the Third World*, London Environmental Economics Centre, University College London, pág. 4

"The core of the idea of sustainability, then, is the concept that current decisions should not impair prospects for maintaining or improving future living standards This implies that our economic systems should be managed so that we live off the dividend of our resources, maintaining and improving the asset base. This principle also has much in common with the ideal concept of income that accountants seek to determine: the greatest amount that can be consumed in the current period without reducing prospects for consumption in the future.

This does not mean that sustainable development demands the preservation of the current stock of natural resources or any particular mix of human, physical and natural assets. As development proceeds, the composition of the underlying asset base changes.

There is broad agreement that pursuing policies that imperil that welfare of future generations, who are unrepresented in any political or economic forum, is unfair.

...sustainable development is a development strategy that manages all assets, natural resources, and human resources, as well as financial and physical assets, for increasing long-term wealth and well-being. Sustainable development, as a goal rejects policies and practices

that support current standards by depleting the productive base, including natural resources, and that leaves future generations with poorer prospects and greater risks than our own."

Robert Repetto, 1986; *World Enough and Time*, New Haven, Yale University Press.

"The sustainability criterion suggests that, at a minimum, future generations should be left no worse off than current generations.

Rather than eliminating the positive discount rate, the present-value criterion should be complemented by other criteria, such as sustainability ... For example, we might choose to maximise present value subject to the constrain that future generations are not made worse off.

Tom Tietenberg, 1984; *Environmental and Natural Resource Economics*, Glenview 11., Scott, Foresman & Co.

Sustainable development has become an article of faith, a shibboleth: often used but little explained. Does it amount a strategy? Does it apply only to renewable resources? What does the term actually mean? In broad terms, the concept of sustainable development encompasses:

1. help for the very poor because they are left with no options than to destroy their environment;
2. the idea of self-reliant development, within natural resources constrains;
3. the idea of cost-effective development using different economic criteria to the traditional approach; that is to say development should not degrade environmental quality, nor should it reduce productivity an the long run;
4. the great issues of health control, appropriate technologies, food self-reliance, clean water and shelter for all;
5. the notion that people-centred initiatives are needed; human beings, in other words, are the resources in the concept."

Mustafa Tolba, (1987); *Sustainable Development - Constrains and Opportunities*, Butterworth, London.

"In principle, such an optional policy [sustainable growth] would seek to maintain an 'acceptable' rate of growth in per-capita real incomes without depleting the national capital asset stock or the natural environmental asset base. (pág. 12)

It makes no sense to talk about the sustainable use of non-renewable resources (even with substantial recycling effort and reuse rates). Any positive rate of exploitation will eventually lead to exhaustion of the finite stock. (pág. 13)

...In this mode ... conservation becomes the sole basis for defining a criterion with which to judge the desirability of alternative allocations of natural resources. (pág. 21)

Terry Turner, (1988); *Resources Conservation and Pollution Control: an Overview*, in Turner, R. T. (ed.), *Sustainable Environmental Management: Principles and Practice*, Belhaven Press, London.

"an economy with constant stocks of people and artefacts, maintained at some desired, sufficient levels by low rates of maintenance "throughput", that is, by lowest feasible flows of matter and energy from the first stage of production (depletion of low-entropy materials from the environment) to the last stage of consumption (pollution of the environment with high-entropy wastes and toxic materials"

Herman Daly, (1992); *Steady-State Economics*, Earthscan Publications Ltd, London.

BIBLIOGRAFIA

- AALBERS, R. (1995); *Sustainability both as an Economic and Ecological Concept*, Paper apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- AIRES, R.U. & A. V. Kneese (1969); *Production, Consumption and Externalities*, American Economic Review, LIX, pp. 282 - 297.
- AIRES, R.U. & A. V. Kneese (1989); *Externalities: Economics & Thermodynamics in Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, F. Archibugi and Nijkamp ed., pp. 89 - 118, Kluwer Academic Publishers.
- ALLEN, P. (1996); *Man and The Environment: The Complex Systems Approach*, Comunicação apresentada na LIº Colóquio Internacional da Associação de Econometria Aplicada, Lisboa.
- ARCHIGUGLI, F. & P. Nijkamp (ed.), (1989); *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Kluwer Academic Publishers, London.
- ARROW, K. (1962) *The Economic Implications of Learning By Doing*, Review of Economic Studies, XXIX, pp. 155 - 173.
- ARONSSON, T, P. Johansson & K. Löfgren (1995); *Investment Decisions, Future Consumption and Sustainability Under Optimal Growth*, Paper apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- AYRES, R. U. & A. V. Knesse (1969); *Production, Consumption and Externalities*, American Economic Review, 59, pp 282 - 297.
- BARBIER, E. B. (1987); *New Approaches in Environmental and Resources Economics: Towards an Economic of Sustainable Development*, IIED (International Institute for Environment and Development) and New Economics Foundation, London.
- BARBIER, E.B. (1989-a)); *Economics, Natural-Resource Scarcity and Development: Conventional and Alternative Views*, Earthcan Publications Limited, London.
- BARBIER, E. B. (1989-b)); *Alternative Approaches to Economic-Environmental Interactions*, Ecological Economics, , Vol. 2, pp. 7-26.
- BARBIER, E. (ed.) (1993); *Economics and Ecology; New Frontiers and Sustainable Development*, Chapman & Hall, London.

- BARBIER, E. & A. Markandaya (1990); *The Conditions for Achieving Environmentally Sustainable Development*, *European Economic Review*, 34 pp. 659 - 669.
- BARNETT, H. & C. Morse (1963); *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- BAUMOL, W. J. (1968); *On The Social Rate of Discount*, *The American Economic Review*, Vol. 58, pp. 788-802.
- BAUMOL, W. & W. Oates (1975-1993); *The Economy of Environmental Policy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- BECKER, R. & E. Burmeister, ed. (1991); *Growth Theory - Vol. I*, Edward Elgar Publishing, London.
- BECKER, R. & E. Burmeister, ed. (1991); *Growth Theory - Vol. II*, Edward Elgar Publishing, London.
- BECKER, R. & E. Burmeister, ed. (1991); *Growth Theory - Vol. III*, Edward Elgar Publishing, London.
- BELBUTE, J. (1995-a); *Crescimento Económico Ecologicamente Sustentável: Um modelo de Controle Ótimo com Duas Variáveis de Estado*, Comunicação apresentada no IIº Encontro de Economistas de Língua Portuguesa, Rio de Janeiro.
- BELBUTE, J. (1995-b); *Desenvolvimento Sustentável; Uma visão Integrada das Interações entre Economia e Ambiente*, Comunicação apresentada no IIº Encontro de Economistas de Língua Portuguesa, Rio de Janeiro.
- BELBUTE, J. & Branco (1992); *Transborder Cooperation: A Challenge for Development in Alentejo/Extremadura*, Comunicação apresentada na IVª Conferência Mundial da Regional Science Association International, Palma de Mallorca..
- BOULDING, K. E. (1966); *The Economics of The Coming Spaceship Earth* in *The Earthscan Reader in Environmental Economics*, A. Markandya & J. Richardson ed., London (1992).
- BOULDING, K. E. (1991); *What Do We Want to Sustain?: Environmentalism and Human Evaluation*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 22 - 31.
- BRAAT, L. & W. Lierop ed. (1987); *Economic-Ecological Modelling*, North-Holland, Amsterdam.
- BRADEN, J. B. & C. Kolstad (1992); *Measuring The Demand for Environmental Quality*, North-Holland, Amsterdam.
- BRAUN, M. (1993); *Differential Equations and Their Applications*, Springer-Verlag, New York.
- BRITO, P. (1994); *Taxa de Câmbio Real, Crescimento e Dívida Externa*, Dissertação de Doutoramento, ISEG, Lisboa.
- BROCK, W. & A. Malliaris (1989); *Differential Equations, Stability and Chaos in Dynamic Economics*, North-Holland, Amsterdam.

Bibliografia

- BROCK, W. & J. Scheinkman (1976); *Global Asymptotic Stability of Optimal Control Systems with Applications to The Theory of Economic Growth*, Journal of Economic Theory, 12 pp. 164 - 190.
- BROMLEY, D (1989); *Property Relations and Economic Development: The other land reform*, World Development, 17, pp 872.
- BRUNDTLAND, WCED, (1989) ; *O Nosso Futuro Comum*, Meribérica/Liber, Lisboa.
- De BRUYN, S. M. & J. M. Opshoor (1994); *Is The Economy Ecologising?*, Tinbergen Institute Discussion Paper, TI 94-65, Free University Amsterdam, Amsterdam.
- De BRUYN, S. M., J. Van Den Bergh and J. M. Opshoor (1995); *Empirical Investigations in Environmental-Economic Relationships: Reconsidering The Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves and The De-linking of Pollution from Economic Growth*, Tinbergen Institute Discussion Paper, TI 95-140, Free University Amsterdam, Amsterdam.
- BURT, O. R. (1964); *Optimal Use of Resources over Time*, Management Science, 2, pp 80 - 93.
- BURT, O. R. (1967); *Groundwater Management Under Quadratic Criterion Functions*, Water Resources Research, 3, pp. 673 - 682.
- BURT, O. R. (1970); *Groundwater Storage Control Under Institutional Restrictions*, Water Resources Research, 6, pp 1540 - 1548.
- BUTTER, F. & M. Hofkes (1994); *Sustainable Development with Extractive and Non-Extractive Use of The Environment in Production*, Comunicação apresentada na Vª Conferência da EAERE, Dublin.
- CASS, D. (1966); *Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation: A Turnpike Theorem*, Econometrica, 64, pp. 833 - 850.
- CASS, D. & K. Shell (1976-a); *Introduction to Hamiltonian Dynamics in Economics*, Journal of Economic Theory, 12, pp. 1 - 12.
- CASS, D. & K. Shell (1976-b); *The Structure and Stability of Competitive Dynamic Systems*, Journal of Economic Theory, 12, pp. 31 - 70.
- CESAR, H. & A. Zeeuw (1994); *Sustainability and The GreenHouse Effect: Robustness Analysis of The Assimilation Function*, Paper apresentado na Vª Conferência da E.A.E.R.A, Dublin, 1994.
- CHIANG, A. (1992); *Elements of Dynamic Optimisation*, McGraw-Hill International Editions
- CLARK C. W. (1976); *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley & Sons, New York.
- CLARK C. W., F. H. Clark & R. E. Munn, ed., (1979); *The Exploitation of Renewable Resource Stocks: Problems of Irreversible Investments*, Econometrica, 47, 1 pp. 25 - 47.
- CLARK C. W., & R. E. Munn, ed., (1986); *Sustainable Development of The Biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge.

Bibliografia

- CLAWSON, M. (1959); *Methods of Measuring The Demand for and Value of Outdoor Recreation*, Resources for The Future, RFF Reprint 10, Washington.
- CLEVELAND, C. (1991); *Natural Resource Scarcity and Economic Growth Revisited: Economic and Biophysical Perspectives*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 289 - 318.
- COASE, R. H. (1960); *The Problem of Social Cost*, Journal of Law and Economics, III, October, pp. 1 - 44.
- COLBY, M. E. (1990); *Ecology, Economics and Social Systems; The evolution of The relationship between environment management and Development*, Ph.D. Dissertation, University Microfilms International.
- CONRAD, J. M. & C. W. Clark (1987 - 1991); *Natural Resource Economics: Notes and Problems*, Cambridge University Press, New York.
- COSTANZA, R. ed. (1991); *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, Columbia University Press, New York.
- CROSBY, A. W. (1986); *Ecological Imperialism*, Cambridge University Press, Cambridge.
- CUMMINGS, R. G. (1971); *Optimum Exploitation of Groundwater Reserves with Saltwater Intrusion*, Water Resources Research, 7 pp 1515 - 1524.
- DALES, J. (1968); *Land, Water and Ownership*, Canadian Journal of Economics, I, 4.
- DALY, H. E.(1974); *The Economics of The Steady-State*, American Economic Review, 64, pp 14 - 21.
- DALY, H. E.(1989); *Steady-State and Growth Concepts for The next Century in Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, F. Archibugi & P. Nijkamp Ed., Kluwer Academic Publishers.
- DALY, H. (1991); *Elements of Environmental Macroeconomics*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 32 - 46.
- DALY, H. E.(1992a); *Steady-State Economics*, Earthscan Publications, Ltd., London.
- DALY, H. E.(1992b); *The Economic Growth Debate: what some economists have learned but many not*, in *The Earthscan Reader in Environmental Economics*, A. Markandya & J. Richardson ed., London (1992).
- DALY, H. E. (1992-c)); *Allocation, Distribution and Scale: Towards an Economics that is Efficient, Just and Sustainable*, Ecological Economics, Vol. 6, pp. 185-193.
- DASGUPTA, P & G. Heal (1974); *The Optimal Depletion of Exhaustible Resources*, Review of Economic Studies, Symposium on The Economics of Exhaustible Resources, pp 3 - 28.

Bibliografia

- DASGUPTA, P & G. Heal (1979); *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, Cambridge.
- DASGUPTA, P. & Stiglitz (1981); *Resource Depletion Under Technological Uncertainty*, *Econometrica*, 49, pp. 85 - 104.
- DASGUPTA, P. (1982); *The Control of Resources*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- DASGUPTA, P. (1993); *An Inquiry Into Well-Being and Destitution*, Oxford University Press, Oxford.
- DASGUPTA, P. (1996); *The Economics of The Environment*, Comunicação apresentada na VIIIª Conferência da EAERE, Lisboa.
- DAY, R. H. (1982); *Irregular Growth Cycles*, *American Economic Review*, 72, pp. 406 - 414.
- DAY, R. H. (1983); *The Emergence of Chaos from Classical Economic Growth*, *Quarterly Journal of Economics*, 98, pp. 200 - 213.
- DOSI, G. et al. ed. (1988); *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers Ltd. London.
- DOCKNER, E. (1985); *Local Stability Analysis in Optimal Control Problems With Two State Variables in Optimal Control Theory and Economic Analysis*, Feichtinger (ed.), Elsevier Science Publishers.
- DUNG, T. (1992); *Consumption, Production and Technological Progress: A Unified Entropic Approach*, *Ecological Economics*, 6, pp. 195 - 210.
- FABER, M. & J. Proops (1994); *Evolution, Time, Production and The Environment*, Sringer-Verlag, New York.
- FABER, M. & Proops (1991); *National Accounting, Time and The Environment: A Neo-Austrian Approach*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 214 - 233.
- FARZIN, Y. & O. Tahvonon (1995); *Global Carbon Cycle and The Optimal Time Path of Carbon Tax*, Comunicação apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- FEICHTINGER G. A. Novak & F. Wirl (1994); *Limit Cycles in Intertemporal Adjustment Models*, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, pp. 353 - 380.
- FEISTEIN, C. & S. Oren. (1983); *Local Stability Properties of The Modified Hamiltonian Dynamic System*, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 6 pp. 387 - 397.
- FISHER, A (1990); *Resource and Environmental Economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- FISHER, A., J. Krutilla & C. Cicchetti (1972); *The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis*, *American Economic Review*, LXII, 4, pp. 605 - 619.

Bibliografia

- FISHER, A. & J. Krutilla (1974); *Valuing Long-Run Ecological Consequences and Irreversibilities*, Journal of Environmental Economics and Management, 1, pp. 96 -108.
- FISHER, A. & J. Krutilla (1975); *Resource Conservation, Environmental Preservation and The Rate of Discount*, Quarterly Journal of Economics, 89 pp. 358 - 370.
- FISHER, A. & F. Peterson, (1972); *The Environment in Economics: A survey*, Journal of Economic Literature, XIV, 1, pp. 1 - 33.
- FORSTER, B. (1975); *Optimal Pollution with a Nonconstant Exponential Rate of Decay*, Journal of Environmental Economics and Management, 2, pp. 1 - 6.
- CAINS, R. (1976); *Existence of Solutions to Hamiltonian Dynamical Systems of Optimal Growth*, Journal of Economic Theory, 12, pp. 114 - 130.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971 - 1976); *The Entropy Law and The Economic Process*, Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- GORDON, R. L. (1954); *The Economic Theory of a Common Property Resource*, Journal of Political Economy, 62, pp 124 - 142.
- GORDON, R. L. (1967); *A Reinterpretation of The Pure Theory of Exhaustion*, Journal of Political Economy, 75, pp 274 - 286.
- GOULD, J (1972); *Extinction of a Fishery by Commercial Exploitation: A Note*, Journal of Political Economy, 80, 5, pp. 1031 - 1038.
- GRUVER, G. (1976); *Optimal Investment in Pollution Control Capital in a Neoclassical Growth Context*, Journal of Environmental Economics and Management, 3, pp. 165 - 177.
- GUCKENHEIMER, J. & P. Holmes (1983); *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields*, Springer-Verlag, New York.
- HAHN, W. (1967); *Stability of Motion*, Springer-Varlag, New York.
- HALE, J. & Koçak, H. (1991); *Dynamics and Bifurcations*, Springer-Verlag, New York.
- HALL, D. (1977); *A Note on Natural Production Functions*, Journal of Environmental Economics and Management, 4, pp. 258 -264
- HANLEY, N. & C. Spash (1993); *Cost-Benefit Analysis and The Environment*, Edward Elgar Publishing, London.
- HANNESSON, R.(1975); *Fishery Dynamics: A North Atlantic Cod Fishery*, Canadian Journal of Economics, 8, pp. 151-173.
- HARDIN, G. (1968); *The Tragedy of The Commons in The Earthscan Reader in Environmental Economics*, A. Markandya & J. Richardson ed. London (1992).
- HARTWICK, J. M. (1977); *Intergenerational Equity and The Investing of Rents from Exhaustible Resources*, American Economic Review, 66, pp. 972 - 974.

Bibliografia

- HARTWICK, J. M. (1991); *Degradation of Environmental Capital and National Accounting Procedures*, European Economic Review, 35, pp. 642 - 649.
- HEAL, G., ed. (1993); *The Economics of Exhaustible Resources*, Edward Elgar Publishing, London
- HEAL, G. (1996); *Interpreting Sustainability*, Comunicação apresentada na VIIIª Conferência da EAERE, Lisboa.
- HELM, D., (ed.), (1991); *Economic Policy Towards The Environment*, Blackwell Publishers, Oxford U.K.
- HICKS, J. R. (1946); *Value and capital*, 2nd edition, Oxford: Oxford University Press.
- HOTELLING, H. (1931); *The Economics of Exhaustibles Resources*, Journal of Political Economy, 39, pp. 137-175.
- IBRD (International Bank for Reconstruction and Development) (1992); *World Development Report* (World Bank), Oxford University Press.
- JÄNICKE, M., H. Monch, Th. Ranneberg, U. E. Simonis (1988); *Structural Change and Environmental Impact: Empirical Evidence on Thirty-one Countries in East and West*, Science Center Berlin, FS II-88-402, Berlin. (Artigo gentilmente cedido por De Bruyn).
- JACOBS, M. (1991); *The Green Economy*, Pluto Press, London.
- JENSEN, R. & R. Urban (1984); *Chaotic Price Behaviour in a Non-Linear Cobweb Model*, Economic Letters, 15, pp. 235 - 240.
- KAMIEN, M. I. & N. L. Swartz (1991); *Dynamic Optimisation: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*, North-Holland.
- KAMIEN, M. I. & N. L. Swartz (1978); *Optimal Exhaustibles Resource Depletion with Endogenous Technical Change*, Review of Economic Studies, 45, pp 179 - 196.
- KNESSE, A. V., R. U. Ayres & R. C. D'Arge (1970); *Economics and The Environment: A Materials Balance Approach*, Johns Hopkins Press, Baltimore.
- KNEESE, A. & J. Sweeney ed. (1985-a); *HandBook of Natural Resource and Energy Economics - Vol I*, Elsevier, London.
- KNEESE, A. & J. Sweeney ed. (1985-b); *HandBook of Natural Resource and Energy Economics - Vol II*, Elsevier, London.
- KNEESE, A. & J. Sweeney ed. (1993); *HandBook of Natural Resource and Energy Economics - Vol III*, Elsevier, London.
- KOÇAK, H. (1989); *Differential and Difference Equations through Computer Experiments*, 2ª ed., Springer-Verlag, New York.
- KOLSTAD, C. (1994); *Fundamental Irreversibilities in Stock Externalities*, Working Paper #8 - 94, University of California.

Bibliografia

- KRAUTKRAEMER, J. (1985); *Optimal Growth, Resource Amenities and The preservation of Natural Environments*, Review of Economic Studies, LIII, pp. 153 - 170.
- KRAUTKRAEMER, J. (1986); *Optimal Depletion with Resource Amenities and a Backstop Technology*, Resource and Energy, 8, pp. 133 - 149.
- KRUTILLA, J. (1967); *Conservation Reconsidered*, American Economic Review, LVII, 4, pp. 777 - 786.
- KURZ, M. (1968); *The General Instability of a Class of Competitive Growth Processes*, Review of Economic Studies, XXXV, 102, pp. 155 - 184.
- KUZNETSOV, Y. A. (1995); *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer-Verlag, New York.
- LICHTENBERG, A. J. & M. A. Lieberman (1992); *Regular and Chaotic Dynamics*, 2^a ed. Springer-Verlag, New York.
- LISKI, M. (1995); *Physical Capital Accumulation, Non-Renewable Resources and Environmental Wealth Effects*, Comunicação apresentada à VI^a Conferência da EAERE, Umeå.
- LOTKA, M: (1924 - 1956); *Elements of Mathematical Biology*, Dover Publications, New York.
- LUCAS, R. (1988); *On The Mechanics of Economic Development*, Journal of Monetary Economics, 22, pp. 3 - 42.
- McCONNELL, K. (1996); *Income and The Demand for Environmental Quality*, Comunicação apresentada na VIII^a Conferência da EAERE, Lisboa.
- MARINEZ-Alier, J (1987); *Ecological Economics; Energy, Environment and Society*, Blackwell Publishers, London.
- MARKANDAYA, A. & J. Richardson (1992); *The Earthcan Reader in Environmental Economics*, Earthcan Publications Ltd, London.
- MAY, R. M. (1974); *Biological Populations With Non Overlapping Generations: Stable Points, Stable Cycles and Chaos*, Science, 186, pp. 645 - 647.
- MEADOWS, D. et al. (1972); *Os Limites do Crescimento*, Publicações D. Quixote, Lisboa.
- MELO, J. J. & C. Pimenta. (1993); *O que é a Ecologia*, Difusão Cultural, Lisboa.
- MILL, John Stuart (1929); *Principles of Political Economy*, Ashley ed.; London, Longmans.
- MISHAN, E. J. (1967 - 1993); *The Costs of Economic Growth*, Weidenfeld & Nicolson, Ltd, London.
- NEHER, P. (1974); *Notes on The Volterra-Quadratic Fishery*, Journal of Economic Theory, 8 pp. 39 - 49.
- NEHER, P. (1990); *Natural Resources Economics; Conservation and Exploitation*, Cambridge University Press, Cambridge.

Bibliografia

- NIJKAMP, P. (1992); *Regional Sciences and Environmental Sustainability*, Comunicação apresentada no IV World Congress of The Regional Science International Association, Palma de Mallorca.
- NIJKAMP, P. & J. Paelinck (1976); *Some Models for The Evaluation of The Environment*, *Regional and Urban Economics*, 3, pp. 33 - 62.
- NORDHAUS, W. (1993); *Reflections on The Concept of Sustainable Economic Growth*, *Economics, Energy & Environment*, Nota di Lavoro 56.93, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano.
- NORDHAUS, W. (1977); *Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem*, *American Economic Review*, 67, pp. 341 - 346.
- NORGAARD, R. B., (1984); *Coecolutionary Development Potential*, *Land Economics*, Vol. 60.
- NORGAARD, R. B., (1985); *Environmental Economics: An Evolutionary Critique and a Plea for Pluralism*, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 12.
- NORGAARD, R. B. (1988); *Sustainable Development: A Co-Evolutionary View*, *Futures*, Vol. 20, nº 6.
- NORGAARD, R. & R. Howarth (1991); *Sustainability and Discounting The Future*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 88 - 101.
- OATES, W., ed. (1994); *The Economics of The Environment*, Edward Elgar Publishing, London.
- OCDE (1989); *Economic Instruments for Environmental Protection*, Paris.
- OPSHOOR, J. B. (1990); *Ecologische Duurzame Economische ontwikkeling: Een Theoretisch idee en een weerbarstige praktijk*, in P. Nijkamp, H. Verbruggen (eds). (*na sua versão original, este trabalho encontra-se escrito em Holandês. Agradeço, porém, ao seu autor a possibilidade que me concedeu de aceder a um resumo em Inglês do mesmo.*)
- O'RIORDIAN, T. & R. K. Turner, (1983); *An Annotated Reader in Environmental Planning and Management*, Pergamon Press, Oxford.
- PEARCE, D. (1988); *Economics, Equity and Sustainable Development*, *Futures*, Vol. 20, nº 6.
- PEARCE, D., E. Barbier & A. Markandaya, (1989); *Blueprint for a Green Economy*, Earthcan Publications Ltd, London.
- PEARCE, D., E. Barbier & A. Markandaya, (1990); *Sustainable Development: Economics and The Environment in The third World*, Edward Elgar, London.
- PEARCE, D. & K. Turner (1990); *Economics of Natural Resources and The Environment*, Harvester Weatsheaf, London.
- PEARCE, D., E. Barbier & A. Markandaya, (1991); *Blueprint 2: Greening The World Economy*, Earthcan Publications Ltd, London.

Bibliografia

- PEARCE, D., E. Barbier & A. Markandaya, (1993); *Blueprint 3 for a Green Economy*, Earthcan Publications Ltd, London, (Volume a publicar).
- PEARCE, D. & G. Atkinson, (1993); *Measuring Sustainable Development*, Handbook of Environmental Economics, Bromley, D. (ed.), Basil Blackwell, London.
- PERKO, L. (1991); *Differential Equations and Dynamical Systems*, Sringer-Verlag, New York.
- PEZZEY, J. (1989); *Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development*, Environmental Department Working Paper N° 15, The World Bank, Washington DC.
- PEZZEY, J. (1994); *The Optimal Sustainable Depletion of Non-Renewable Resources*, Comunicação apresentada na Vª Conferência da E.A.E.R.A, Dublin, 1994.
- POLLACK, R. (1968); *Consistent Planning*, Review of Economic Studies, 35, pp. 201 - 208.
- RAMSEY, F. P. (1928); *A Mathematical Theory of Saving*, Economic Journal, 38, pp 543-559.
- RAWLS, J. (1971); *A theory of Justice*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- REPETTO, R. (1986); *World Enough and Time*, New Haven, Yale University Press.
- ROCKAFELLAR, R. (1976); *Saddle Points of Hamiltonian Systems in Convex Lagrange Problems Having a NonZero Discount Rate*, Journal of Economic Theory, 12, pp. 71 - 113.
- ROCKAFELLAR, R. (1976); *A Growth Property in Concave-Convex Hamiltonian Systems*, Journal of Economic Theory, 12, pp. 191 - 196.
- ROMER, P. M. (1990); *Endogenous Technological Change*, Journal of Political Economy, Vol. 98, pp 71-102.
- ROMSTAD, E. & A. Vatn (1995); *Implications of Uncertainty on Eco-Eco Modelling*, Discussion Paper #D-08/1995, Department of Economics and Social Sciences, Agricultural University of Norway.
- ROSENDAHL, K. E. (1994); *Does Improved Environmental Policy Enhance Economic Growth?*, Paper apresentado na Vª Conferência da E.A.E.R.A, Dublin, 1994.
- RUBIO, S. J. & A. Fisher (1994); *Optimal Capital Accumulation and Stock Pollution: The GreenHouse Effect*, Paper apresentado na IIIª Conferência da E.A.E.R.A, Dublin, 1994.
- RUELLE, D. (1989); *Elements of Differentiable Dynamics and Bifurcation Theory*, Academic Press, London.
- SAMUELSON P. A.(1965); *A Catenary Turnpike Theorem Involving Consumption and The Golden Rule*, American Economic Review, pp 486 - 496.
- SAMUELSON P. A.(1976); *Economics of Forestry in an Evolving Society*, Economic Inquiry, 14, pp 466 - 492.
- SAMUELSON P. A. & W. D. NORDHAUS (1993); *Economia*, McGraw-Hill, XIVª Ed., Lisboa.

Bibliografia

- SCOTT, A. D. (1955); *The Fishery: The Objectives of Sole Ownership*, Journal of Political Economy, 63, pp 116 - 124.
- SEIERSTAD, A. & K. Sydsaeter (1987); *Optimal Control Theory with Economic Applications*, North-Holland, Amsterdam.
- SELDEN, T. M. & D. S. Song (1994); *Environmental Quality and Development: Is There any Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?*, Journal of Environmental Economics and Management, 27, pp. 147-162.
- SELDEN, T. M. & D. S. Song (1995); *Neoclassical Growth, The J Curve for Abatement and The Inverted U Curve for Pollution*, Journal of Environmental Economics and Management, 29, pp. 162-168.
- SEN, A. (1961); *On Optimising The Rate of Saving*, The Economic Journal, 283, pp. 479-495.
- SERAFY, S. (1991); *The Environment as a Capital*, in ; *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, COSTANZA, R. ed. New York, (1991), pp. 168 - 175.
- SIMONIS, U. E. (1989); *Industrial Restructuring for Sustainable Development: Three Points of Departure*, Science Centre Berlin, FS II 89-401, Berlin. (*Artigo gentilmente cedido por De Bruyn*).
- SMITH, V. L. (1968); *Economics of Production From Natural Resources*, The American Economic Review, LVIII, 3, pp. 409 - 432.
- SMITH, V. L. (1977); *Control Theory applied to Natural and Environmental Resources: An Exposition*, Journal of Environmental Economics and Management, 4, pp. 1-24.
- SMULDERS, S. (1995); *Environmental Policy and Sustainable Economic Growth - An Endogenous Growth Perspective*, Paper apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- STERN, D. (1994); *Economic Growth and Environmental Degradation: A critique of The Environmental Kuznets Curve*, Discussion Papers on Environmental Economics and Management - EEEM9409, University of York.
- STERN, D. I., M. S. Common and E. B. Barbier (1994); *Economic Growth and Environmental Degradation: A Critique of The Environmental Kuznets Curve*, Discussion Papers in Environmental Economics and Environmental Management, University of York, EEEM 9409.
- SCHAEFER, M. B. (1957); *Some Considerations of Population Dynamics and Economics in Relation to The Commercial Marine Fisheries*, Journal of Fisheries Research Board of Canada, 14, pp 669 - 681.
- SOLOW, R. M. (1956); *A Contribution to The Theory of Economic Growth*, Quarterly Journal of Economics, LXX, pp. 65 - 94.
- SOLOW, R. M. "Richard T. Ely Lecture" (1974a); *The Economics of Resources or The Resources of Economics*, American Economic Review, 64, pp 1 - 14.

Bibliografia

- SOLOW, R. M. (1974b); *Intergenerational Equity and Exhaustible Resources*, Review of Economic Studies, Symposium on The Economics of Exhaustible Resources, pp 29 - 45.
- SOLOW, R. M. (1986); *On The Intergenerational Allocation of Natural Resources*, Scandinavian Journal of Economics, Vol. 88, pp. 141-149.
- SOLOW, R. M. (1992); *An Almost Practical Step Toward Sustainability*, Paper apresentado na Conferência "Resources For The Future" (RFF) Washington, e gentilmente cedido por D. Pearce.
- STIGLITZ, J. (1974); *Growth with Exhaustible Resources: Efficient and Optimal Growth Path*, Review of Economic Studies, Symposium on The Economics of Exhaustible Resources, pp 123 - 137.
- STROTZ, R. H. (1956); *Myopia and Inconsistency in Dynamic Utility Maximisation*, Review of Economic Studies, 23, pp. 165 - 180.
- SWALLOW, S. (1990); *Depletion of The Environmental Basis for Renewable Resources*, Journal of Environmental Economics and Management, 19, pp. 281 - 296.
- TAHAVONEN, O. & J. Kuuluvainen (1991); *Optimal Growth with Renewable Resources and Pollution*, European Economic Review, 35, pp. 650 - 661.
- TAHAVONEN, O. & J. Kuuluvainen (1993); *Economic Growth, Pollution and Renewable Resources*, Journal of Environmental Economics and Management, 24, pp. 101 - 118.
- TINBERGEN, J. (1985); *Production, Income and Welfare; The Search for an Optimal Social Order*, University of Nebraska Press, London.
- TISDELL, C. (1993); *Environmental Economics: Policies for environmental management and sustainable Development*, Edward Elgar, London.
- TOMAN, M. A., J. Pezzey & J. Krautkraemer (1994); *Neoclassical Economic Growth Theory and Sustainability*, Resources for The Future, Discussion Paper ENR93-14-REV.
- TU, P. (1994); *Dynamical Systems; an Introduction with Applications in Economics and Biology*, 2^a ed., Sringer-Verlag, New York.
- TURNER, K. R. (ed.), (1993); *Sustainable Environmental Economics and management: Principles and Practice*, Belhalven Press, London.
- TURNER, K. R., D. Pearce & I. Bateman (1994); *Environmental Economics; An Elementary Introduction*, Harvester Wheatsheaf, London.
- TURVEY, R. (1963); *On Divergences between Social Cost and Private Cost*, *Economica*, XXX, pp 309 - 313.
- UE - Comissão Europeia (1992); *Cooperação Transfronteiriça entre Portugal e Espanha*.

Bibliografia

- ULPH, A. & D. Ulph (1994); *Global Warming: Why Irreversibility May Not Require Lower Current Emissions of GreenHouse Gases*, Discussion Papers in Economics and Econometrics # 9402, University of Southampton.
- Van Den BERGH, J. C. J. M. (1991); *Dynamic Models for Sustainable Development*, Ph.D. Dissertation, Thesis/Tinbergen Institute, Amsterdam.
- Van Der PLOEG, F. & Van Der Straaten ed. (1991); *Environmental Policy and The Economy*, North-Holland, Amsterdam.
- VELLINGA, N. (1995); *Short Run Analysis of Endogenous Environmental Growth Models*, Paper apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- WILKINSON, R. G. (1973); *Poverty and Progress: An Ecological Perspective on Economic Development*, Methuen, London.
- XEPAPADEAS, A. & E. Amri (1995); *Environmental Quality and Economic Development: Empirical Evidence Based on Qualitative Characteristics*, Paper apresentado na VIª Conferência da E.A.E.R.A, Umeå, 1995.
- YOUNG, J. (1991); *Is The Entropy Law Relevant to The Economics of Natural Resource Scarcity?*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, pp. 169 -179.

