

## PREFERÊNCIAS, CRESCIMENTO ENDÓGENO E SUSTENTABILIDADE

José Manuel Madeira Belbute (\*)

### 1 — Introdução

Um dos temas relevantes na literatura sobre as interações entre o sistema económico e o sistema natural centra a sua atenção na relação entre o crescimento económico e a qualidade ambiental. O problema consiste em procurar ultrapassar as restrições que as leis da termodinâmica representam para o potencial de crescimento económico, sem pôr em causa os equilíbrios naturais, fundamentais ao próprio sistema económico. Os trabalhos que abordam este tema (1), apontam para dois resultados pouco agradáveis para as teses do crescimento e que parecem comprovar as posições de H. Daly (1992) sobre o «steady state». Em primeiro lugar, a inevitabilidade do estado estacionário. Uma vez ajustada aos limites termodinâmicos impostos pela natureza (2) e assegurada a constância do capital natural a longo prazo, a economia deve evidenciar uma taxa de crescimento nula. Em segundo lugar, devido à acção conjugada dos efeitos bem-estar, produtividade e assimilativo (Belbute, 1996), a caminhada da economia para aquele «estado de repouso» far-se-á a ritmos mais lentos do que os conseguidos quando se ignoram aquelas interações. Só assim, argumenta-se, será possível assegurar a sustentabilidade (económica e ou ecológica) da viagem da humanidade a bordo desta verdadeira *spaceship* que, no dizer de Boulding (1992), é o planeta Terra.

Nos últimos anos surgiram estudos que libertam a análise dos rendimentos decrescentes e que, incorporando actividades especialmente orientadas para o tratamento da poluição (*abatement activities*), viabilizam a coexistência intertemporal entre as emissões poluentes e o crescimento permanente da economia. O crescimento económico é, para além de equilibrado, também sustentável no sentido em que o índice de bem-estar evidencia uma trajectória intertemporal não decrescente.

(\*) Departamento de Economia da Universidade de Évora.

(1) V., por exemplo, Belbute (1996), Pezzey e Krautkraemer (1994), Pezzey (1994), Rubio (1994), Thavonen (1993), Krautkraemer (1985 e 1986), Asako (1980), Stephens (1974), entre outros.

(2) Ou seja, uma configuração de longo prazo na qual as trocas entre o sistema natural e o sistema económico se pautam pelo equilíbrio.

Para além de se tratarem de problemas fundamentalmente centrados no controlo da poluição [O. Tahvonen e S. Salo (1996) e O. Tahvonen e C. Withgaten (1996)] onde o *stock* de poluição é a variável relevante, estas novas abordagens têm ainda em comum uma hipótese que é claramente irrealista e que consiste em assumir uma taxa de declínio da poluição linearmente crescente com o *stock* de poluição [Marrewijk *et al.* (1993), Michel Rotillon (1996), Vellinga (1994) e (1995), Musu e Lines (1995), etc.]. Sob esta hipótese, quanto mais poluído estiver o capital natural, maior tenderá a ser o seu potencial assimilador.

O presente estudo retoma a preocupação geral enunciada no início mas assume duas orientações distintas. Em primeiro lugar, utiliza o *stock* de capital natural como variável natural relevante e não o *stock* de poluição. O *stock* de capital natural,  $A(t)$  é aqui entendido como o conjunto de bens físicos e energéticos disponíveis na natureza que sustentam toda a actividade fisiológica e económica da humanidade. Nele estão incluídos não apenas os tradicionais recursos renováveis e não renováveis, mas ainda os recursos semi-renováveis ou ambientais (a qualidade do solo, a capacidade natural de assimilação, os sistemas naturais de suporte à vida, os ecossistemas, a camada de ozono, as zonas estuarinas, etc.). A sua capacidade de regeneração e assimilação reproduz o padrão dinâmico dos recursos renováveis e dos recursos ambientais e ao ser introduzida no modelo assegura que, em princípio, é possível manter indefinidamente um determinado nível de *stock* de activos ambientais <sup>(3)</sup>. O perigo de extinção de  $A(t)$  não é uma hipótese explicitamente assumida, muito embora seja uma possibilidade potencial <sup>(4)</sup>.

Tal opção justifica-se na medida em que não estamos preocupados com a problemática do «controlo óptimo» do *stock* de poluição ao longo de uma qualquer trajectória óptima de crescimento. A nossa primeira preocupação está centrada na viabilidade e no carácter permanente do crescimento económico a longo prazo, no quadro geral das interacções entre o sistema económico e o sistema natural <sup>(5)</sup> e onde:

- a) A tecnologia produtiva prevalecente é convexa; e

---

<sup>(3)</sup> A hipótese de considerar «renovável» o *stock* de activos ambientais é, sem dúvida, controversa. Segundo as leis da entropia, não é possível o «ambiente» crescer sem limites. Em primeiro lugar, porque nenhuma energia pode ser criada num sistema fechado e, depois, porque num tal sistema, o volume de *energia útil* tende a diminuir. Todavia a Terra é, do ponto de vista energético, um sistema aberto, recebendo constantemente um fluxo de energia solar que ajuda a compensar os seus próprios processos entrópicos. Deste modo, e numa escala temporal suficientemente grande, o *stock* de activos ambientais pode ser encarado como um recurso renovável. Para uma análise mais detalhada deste problema veja-se Ayres, R. (1999) e Daly, H. (1997).

<sup>(4)</sup> Do mesmo modo, não constitui preocupação neste trabalho a possibilidade de rivalidade nos usos potenciais dos activos ambientais.

<sup>(5)</sup> Vide Belbutte (1999).

- b) O capital natural desempenha três funções económicas relevantes naquele processo interactivo: fonte directa de bem-estar (efeito bem-estar), factor produtivo [efeito produtividade <sup>(6)</sup>] e capacidade de assimilação de emissões poluentes [efeito assimilativo <sup>(7)</sup>].

Não é fácil modelizar a capacidade natural de regeneração e assimilação. Num trabalho recente, P. Aghion e P. Howitt (1998) apresentam um modelo de crescimento endógeno do tipo *AK* no qual a variável natural relevante é representada pela diferença entre a qualidade ambiental prevalecente em cada momento e o seu nível mais elevado, um valor apenas alcançável sem produção. Esta diferença diminui ao ritmo constante da taxa máxima de regeneração e, por isso, não é admitida a presença de rendimentos decrescentes na «função de produção natural». A sua conjugação com a hipótese assumida para o fluxo de emissões é responsável pelo resultado surpreendente a que chegam: o crescimento não pode ser nem positivo nem constante a longo prazo, uma vez que a sustentabilidade exige que a intensidade poluidora deva diminuir assintoticamente para 0. Como teremos ocasião de verificar, a presença de um sector especialmente vocacionado para o tratamento de (pelo menos) parte do fluxo de emissões e a presença de uma tecnologia de produção convexa pode viabilizar a compatibilização entre o crescimento óptimo (permanente) para a economia e a sustentabilidade.

O segundo vector estruturante do presente trabalho refere-se à influência que as preferências ambientais podem exercer sobre a solução de equilíbrio de longo prazo, nomeadamente sobre o ritmo de crescimento económico e a qualidade ambiental de equilíbrio. Ao contrário do que é comum supor, a existência de um «caminho» equilibrado e sustentável não depende exclusivamente dos parâmetros tecnológicos e biológicos. Como veremos, a alteração na importância atribuída ao capital natural enquanto fonte directa de bem-estar (ou se a autoridade económica evidenciar «preferências ambientais» divergentes das patenteadas pela sociedade) pode alterar os ritmos de crescimento da economia, os níveis de qualidade ambiental que lhes estão associados ou ainda os níveis de bem-estar das sucessivas gerações. Este aspecto reveste-se de particular relevância, sobretudo pelas implicações que podem resultar para o desenho e implementação de políticas públicas ambientais.

O estudo está organizado do seguinte modo: a secção 2 apresenta e clarifica o modelo base. Na secção 3 é feito o estudo sobre a existência e as características da configuração de longo prazo, na secção 4 é analisada a estrutura dinâmica que caracteriza a vizinhança dos estados estacionários en-

<sup>(6)</sup> Pela capacidade de influenciar directamente a produtividade geral do sistema económico.

<sup>(7)</sup> Pela capacidade em reintegrar no sistema natural o volume de matéria e energia termodinamicamente desorganizada que o sistema económico, permanentemente, lhe envia.

contrados, a secção 5 faz a análise dos determinantes da taxa de crescimento associada ao caminho de crescimento de equilíbrio sustentável e, finalmente, a secção 6 conclui o trabalho.

## 2 — O modelo

Começamos por assumir que o capital natural,  $A(t)$ , possui atributos próprios capazes de influenciar a avaliação que em cada momento a sociedade faz sobre o estado da economia. Especificamente, o bem-estar depende não apenas do «tradicional» consumo de bens económicos  $C(t)$ , como ainda do *stock* de capital natural, prevaemente em cada momento. A utilidade instantânea  $U_t[C(t), A(t)]$  é uma função aditivamente separável<sup>(8)</sup> que admitimos revestir a seguinte forma específica:

$$U[C(t), A(t)] = \ln[C(t)] + \theta \ln[A(t)] \quad (1)$$

onde a elasticidade intertemporal de substituição é unitária para ambos os argumentos. O parâmetro  $\theta$  dá ideia da importância que a sociedade atribui ao capital natural no seu bem-estar. Quanto maior (menor) for este parâmetro, maior (menor) a relevância que a qualidade ambiental assume na avaliação do bem-estar.

Supomos ainda que esta economia produz um único bem homogéneo que pode ser canalizado para consumo  $C(t)$ , para acumulação de novo capital económico  $\dot{K}(t)$  e ou, finalmente, para o desenvolvimento e implementação de actividades especialmente destinadas ao tratamento da poluição gerada (*abatement activities*),  $D(t)$ . Formalmente<sup>(9)</sup>:

$$\dot{K}(t) = Y(t) - C(t) - D(t) \quad (2)$$

O bem homogéneo é produzido pela utilização conjunta *stock* de capital económico e pelo *stock* de capital natural. No primeiro caso, o capital económico será aqui entendido «à la Rebelo» (1991), incluindo não apenas o *stock* de capital físico como ainda o *stock* de capital humano. Especificamente, assu-

<sup>(8)</sup> A hipótese de uma função aditivamente separável significa que o benefício marginal proveniente do consumo é independente do contexto ambiental em que ocorre. É evidente que esta é uma hipótese simplificadora. É possível encontrar exemplos de como diferentes contextos de qualidade ambiental geram «valores» diferentes ao consumo. A opção por uma função com estas características encontra justificação na necessidade de simplificar a estrutura analítica do modelo proposto. Contudo, esta simplificação não é incompatível com a hipótese tradicional de *trade-off* entre consumo e a disponibilidade de activos ambientais nem põe em causa o objectivo prosseguido neste trabalho.

<sup>(9)</sup> A taxa de depreciação do *stock* de capital económico é assumida como sendo nula uma vez que esta hipótese não altera qualitativamente os resultados finais.

me-se uma tecnologia convexa na produção que impõe rendimentos constantes no que diz respeito a este *stock* de capital. No segundo caso, assume-se que a economia será tanto mais produtiva quanto melhor a sua qualidade ambiental:

$$Y(t) = f[K(t)A(t)] = \beta K(t)A(t)^\sigma \quad (3)$$

em que  $\beta > 0$  representa o parâmetro constante de produtividade e  $\sigma > 0$ . A forma específica desta função de produção obriga que o ritmo de evolução da economia consistente com o caminho de crescimento equilibrado dependa do nível de activos ambientais prevalecente em cada momento e dos quocientes  $x = C/K$  e  $z = D/K$ :  $g_K = g_C = g_D = \dot{K}/K = \beta A^\sigma - x - z$ . Para que o ritmo de evolução da economia seja constante e igual para todas as variáveis económicas é necessário que o *stock* de capital natural se encontre em «repouso». Dito de outro modo, a tendência de crescimento de longo prazo só será constante enquanto for possível assegurar a constância do *stock* de capital natural. Daqui resulta também que a única fonte potencial de crescimento para a economia é constituída pelo *stock* de capital económico.

O sector produtivo é, todavia, responsável pela emissão de poluentes que afectam a qualidade ambiental e perturbam a capacidade regenerativa do capital natural. O fluxo de emissões é assumido como proporcional ao *stock* de capital económico. Porém, nem todo o fluxo de emissões poluentes atinge o capital natural. O sistema económico possui a tecnologia necessária ao tratamento de, pelo menos, parte da poluição gerada, reduzindo-se, desta forma, o impacte negativo das emissões sobre a qualidade ambiental. Para esse efeito, a sociedade canaliza parte do seu rendimento para aquelas actividades. Formalmente, o fluxo líquido de poluição que chega ao sistema natural pode ser escrito do seguinte modo <sup>(10)</sup>:

$$P(t) = p [K(t), D(t)] \quad (4)$$

com  $p_K > 0$  e  $p_D < 0$ . Especificamente, o fluxo de poluição que afecta o capital natural é função homogénea de grau 0 face a  $K(t)$  e a  $D(t)$ . Dito de outro modo, o fluxo líquido de poluição é proporcional ao quociente  $D(t)/K(t)$  e cujas elasticidades de face a  $K(t)$  e  $D(t)$  são iguais mas de sinal contrário:

$$p [K(t), D(t)] = \left( \frac{K(t)^\gamma}{D(t)} \right) = z(t)^{-\gamma} \quad (5)$$

com  $\gamma > 0$ .

<sup>(10)</sup> Um dos corolários mais relevantes da segunda lei da termodinâmica assegura que qualquer processamento de matéria e energia necessita de mais *inputs* energéticos do que aqueles 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 conseguiria reduzir a poluição a 0.

Enquanto o quociente  $D(t)/K(t)$  permanecer inalterado, o fluxo de poluição que chega ao sistema natural será também constante. Esta é uma condição fundamental para assegurar, por seu turno, que o *stock* de capital natural permaneça constante enquanto a produção, o consumo e as despesas de tratamento da poluição crescem ao longo do tempo a uma taxa constante.

Resta-nos clarificar o comportamento do *stock* de activos ambientais. A sua taxa natural de regeneração (ou taxa de crescimento natural) é modelizada de forma a depender exclusivamente do nível de capital natural prevalecente em cada momento,  $\dot{A}(t) = N[A(t)]$ , revelando as seguintes regularidades matemáticas:

i)  $\exists A_M > 0 : N(A_M) = 0$ , para  $0 < A < A_M \Rightarrow N[A(t)] > 0$ ;

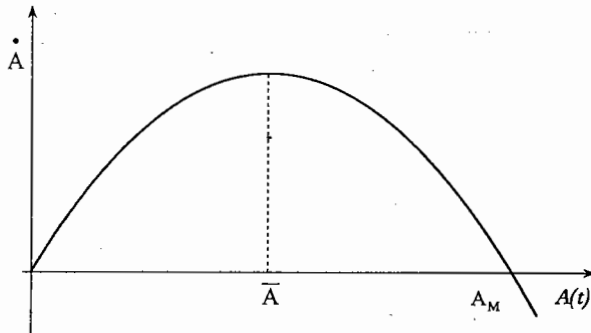
ii)  $\exists \bar{A} > 0$ , com  $0 < \bar{A} < A_M$ :

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

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

Ou seja, com poluição nula, o *stock* de capital natural (ou a qualidade ambiental) atinge o seu valor máximo em  $A_M$ . Este é o mais elevado volume de activos ambientais que pode permanecer intacto apenas com a contribuição dos processos regenerativos naturais. Devido às leis da entropia, o influxo constante de energia (solar) recebido pelo capital natural não permite que este cresça permanentemente. Na margem, à medida que os ecossistemas se tornam mais «ricos», maior é a dificuldade que encontram para incrementar ainda mais a qualidade ambiental já alcançada (Smulders, 1995).

FIGURA 1



Função de produção natural

Em resultado da dinâmica interactiva entre o sistema económico e o sistema natural, a actividade económica necessita usar a natureza como absorvente dos seus resíduos acelerando, com isso, os processos entrópicos. Uma vez que o influxo energético recebido pelo capital natural é insuficiente para compensar a entropia gerada,  $A_M$  não pode ser «sustentado» e, a longo prazo, a constância do *stock* de capital natural só pode ser mantida se, para um dado nível de poluição, o capital natural atingir um volume que permita assegurar  $P(t)=N[A(t)]$ . Por outras palavras,  $N[A(t)]$  pode ser entendida como a capacidade assimilativa do património natural. Esta capacidade de assimilação tende a crescer quando a riqueza ambiental é ainda insipiente (para  $A < \bar{A}$ ), mas tende a diminuir quando  $A(t)$  se torna suficientemente relevante (para  $A > \bar{A}$ ). Nesta fase, grande parte da função regenerativa é usada no rejuvenescimento natural e apenas uma pequena parcela fica disponível para a tarefa de absorção das emissões poluentes. Em resumo, a taxa líquida de regeneração do capital natural é dada pela diferença entre a taxa natural de regeneração e o fluxo perturbador de emissões poluentes provocado pelo sistema económico. Esquemáticamente:

$$\dot{A}(t) = N[A(t)] - p[K(t), D(t)] = N[A(t)] - z(t)^{-\gamma} \quad (6)$$

### 3 — Crescimento económico equilibrado e sustentável

O problema de optimização intertemporal que se coloca a esta sociedade é definido pela função utilidade intertemporal  $V[C(0), A(0)] = \max_{C,D} \int_0^{\infty} U(C,A) e^{-\delta t} dt$ , onde  $\delta$  representa a taxa pura de preferência pelo tempo, sujeita às relações *stock-fluxo* nas suas formas diferenciais e relativas aos dois bens de capital,  $\dot{K} = f(K) - C - D$  e  $\dot{A} = N(A) - p(K,D)$  e para  $K(0) = K_0$  e  $A(0) = A_0$ . De acordo com o princípio de máximo de Pontryagin, os níveis óptimos de consumo e de despesas canalizadas para actividades de tratamento das emissões devem verificar:

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial C} = 0 \Rightarrow U_C = \lambda \quad (7)$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial D} = 0 \Rightarrow \frac{\mu}{\lambda} = - \frac{1}{p_D} \quad (8)$$

em que  $\lambda(t)$  e  $\mu(t)$  constituem as variáveis de co-estado associadas às duas variáveis de estado —  $K(t)$  e  $A(t)$  — envolvidas neste problema de controlo óptimo. A estratégia óptima para a sociedade consiste na igualização dos benefícios marginais resultantes do consumo e das despesas de tratamento das emissões aos custos marginais, medidos pelas reduções na pou-

pança:  $\hat{C} = \hat{c}(\lambda)$ , com  $\hat{c}_\lambda < 0$ , e  $\hat{D} = \hat{d}(\mu, C, K)$ , com  $\hat{d}_\lambda < 0$  (ou, de forma equivalente,  $\hat{d}_C > 0$ ),  $\hat{d}_\mu > 0$ ,  $\hat{d}_K > 0$  (11).

O nível óptimo para as despesa de tratamento das emissões é uma função decrescente do valor dual do consumo e uma função crescente quer valor dual do activo ambiental quer do *stock* de capital económico. Os dois primeiros efeitos envolvem escolhas intertemporais entre esforço para reduzir o impacte negativo da poluição sobre o património natural e os valores futuros quer do consumo (substituição intertemporal) quer do capital natural (complementaridade intertemporal). A transferência de consumo do presente para o futuro permite menor fluxo de emissões no presente e, com isso, menor a necessidade de canalizar rendimento para as actividades de tratamento das emissões. Inversamente, se a sociedade desejar um maior nível de qualidade ambiental no futuro deverá desenvolver um esforço de tratamento superior, canalizando mais rendimento para aquelas actividades. O terceiro efeito capta o efeito poluição associado à acumulação de capital económico; um aumento neste tipo de capital fará aumentar os níveis de emissões, exigindo, por isso, um maior esforço da sociedade para reduzir os estragos ambientais.

No que diz respeito ao bem de consumo corrente, é apenas visível o tradicional efeito intertemporal associado à substituição entre consumo presente e consumo futuro.

A solução óptima deve evoluir ao longo do tempo de acordo com o seguinte sistema de equações diferenciais não lineares:

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = (\delta - f_K) - \frac{P_K}{P_D} \quad (9)$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = (\delta - N_A) + P_D f_A + P_D \frac{U_A}{U_C} \quad (10)$$

$$\dot{K} = \beta K A^\sigma - C - D \quad (11)$$

$$\dot{A} = N(A) - \left(\frac{K}{D}\right)^\gamma \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) e^{-\delta t} K(t) = 0 ; \lim_{t \rightarrow \infty} \mu(t) e^{-\delta t} A(t) = 0 \quad (13)$$

(11) Pelo teorema da função implícita, é possível demonstrar que  $\hat{c}_\lambda = \frac{1}{U_{CC}}$ ,  $\hat{d}_\lambda = -\frac{\mu}{P_{DD}} \left(\frac{P_D}{U_C}\right) < 0$  [ou, de forma equivalente,  $\hat{d}_C = -\mu \left(\frac{P_C}{U_C}\right)^2 \left(\frac{U_{CC}}{P_{DD}}\right)$ ,  $\hat{d}_K = -\left(\frac{P_{DK}}{P_{DD}}\right)$  e  $\hat{d}_\mu = U_C \frac{P_D^2}{P_{DD}}$ ].



para valores conhecidos de  $K(0) = K_0$  e  $A(0) = A_0$ . As duas primeiras equações mostram as arbitragens intertemporais para os dois *stocks*. A primeira mostra a condição usual aos modelos de crescimento, com a adaptação resultante da presença do fluxo poluidor: os ganhos de capital mais o produto marginal social do capital (o termo  $f_K - \frac{P_K}{P_D}$ ) deve igualar a taxa de preferência pelo tempo. A segunda equação é, basicamente, a regra de Hotelling, enquanto a terceira e a quarta reproduzem o comportamento dinâmico dos dois activos. Finalmente, a última expressão mostra as condições de transversalidade. Note-se que, usando as condições de primeira ordem (7) e (8), as duas primeiras equações podem ser transformadas de modo a gerarem o padrão de evolução do consumo e das despesas em *abatement activities*, respectivamente,  $\dot{C} = C \left[ (\beta A^\sigma - \delta) - \frac{D}{K} \right]$  e  $\dot{D} = D \left[ \beta A^\sigma - \frac{N_A}{(\gamma+1)} - \frac{D}{K} - \left( \frac{\gamma}{\gamma+1} \right) \frac{C}{K} - \left( \frac{\gamma}{\gamma+1} \right) (\beta \sigma A^{\sigma-1} + \theta A^{-1} x) \left( \frac{D}{K} \right)^{-(\gamma+1)} \right]$ . Nelas, é visível que o produto marginal social do capital (o termo  $\beta A^\sigma - z$  em ambas) será constante [e positivo desde que  $z^* < \beta (A^*)^\sigma$ ] no estado estacionário. Ou seja, não existem custos crescentes associados às actividades de tratamento das emissões poluentes uma vez que estas asseguram que o fluxo de poluição se manterá constante.

Usando, de novo,  $x = C/K$  e  $z = D/K$  e assumindo que as autoridades económicas têm liberdade para fixar o nível inicial de consumo de tal modo que  $x(0) = \frac{C(0)}{K(0)} = x^* = \delta$  (12), o sistema inicial pode ser facilmente transformado no seguinte sistema dinâmico de dimensão 2:

$$\frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{D}}{D} - \frac{\dot{K}}{K} = \frac{1}{(\gamma+1)} [\delta - N_A - (\beta \sigma A^{\sigma-1} + \theta \delta A^{-1}) \gamma z^{-(\gamma+1)}] \quad (14)$$

$$\dot{A} = N(A) - z^\gamma \quad (15)$$

Por definição, o estado estacionário ocorre quando se atingem valores para  $x$ ,  $z$  e  $A$  de tal modo que quando  $x = x^*$ ,  $z = z^*$  e  $A = A^*$  se terá  $\dot{x} = \dot{z} = \dot{A} = 0$ . Isto significa que, se existir, o «estado estacionário» impõe que todas as variáveis económicas ( $C$ ,  $K$  e  $D$ ) devam evoluir à mesma taxa  $g = \beta (A^*)^\sigma - x^* - z^* = \beta (A^*)^\sigma - \delta - z^*$ . Ou seja, o «estado estacionário» consiste numa trajectória óptima de crescimento equilibrado para  $C$ ,  $K$  e  $D$  segundo uma taxa constante, de longo prazo e igual para todas elas. Este crescimento permanente e perpétuo das variáveis económicas é ainda compatível com o «repouso» do *stock* de capital natural. Isto é possível porque o fluxo líquido de poluição é mantido constante por acção do esforço de tratamento da poluição gerada e a um nível compa-

(12) Em rigor, esta condição é necessária para assegurar que o quociente  $C/K$  convirja para o seu valor estacionário de longo prazo.

tível com a capacidade natural de regeneração:  $[N(A^*)]^{-1/\gamma} = z^*$ . Neste sentido, o crescimento económico para além de equilibrado será também sustentável na medida em que viabiliza uma trajectória temporal sempre não decrescente para o bem-estar, sem redução do *stock* de capital natural (13). Finalmente, é importante notar que a taxa de crescimento compatível com a trajectória sustentável apenas será positiva se o valor estacionário de equilíbrio para  $z$  verificar  $z^* < z(A) = \beta A^\sigma - \delta$ . Dito de outra maneira, a solução estacionária pode exigir valores para  $z^* = \left(\frac{D}{K}\right)^*$  de tal forma elevados que a taxa de crescimento associada a esta trajectória de equilíbrio seja negativa.

Devido às características das relações funcionais envolvidas no problema, não é possível assegurar a existência de apenas um único estado estacionário,  $(x^*, z^*, A^*)$ , ou mesmo a sua existência. Todavia, se existir, terá, necessariamente de satisfazer o seguinte par de equações definidas no espaço  $(z, A)$ :

$$z \Big|_{\dot{z}=0} = \left[ \frac{(\beta\sigma A^{\sigma-1} + \delta\delta A^{-1})\gamma}{\delta - N_A} \right]^{\frac{1}{\gamma+1}} > 0 \quad \forall A : N_A < \delta \quad (17)$$

$$z \Big|_{\dot{A}=0} = \left[ \frac{1}{N(A)} \right]^{\frac{1}{\gamma}} > 0 \quad \forall A > 0 \quad (18)$$

Para  $\frac{1}{A} \frac{[\sigma(\sigma-1)\beta A^{\sigma-1} - \delta\delta A^{-1}]}{N_{AA}} > - \frac{(\beta\sigma A^{\sigma-1} - \delta\delta A^{-1})}{\delta - N_A}$ ,  $\dot{z}=0$  será sempre uma função decrescente em  $A$  (14). Quando a qualidade ambiental é baixa, os benefícios associados aos seus serviços produtivos e de bem-estar [numerador de (17)] são grandes e, por isso, a predisposição para aceitar emissões poluentes é reduzida. Na margem, à medida que a qualidade ambiental aumenta, aqueles benefícios vão sendo sucessivamente menores, criando, assim, condições para aceitar aumentos nas emissões poluentes. Consequentemente, o valor de  $z$  que assegura  $\frac{D}{D} = \frac{K}{K}$  tende a diminuir à medida que  $A$  aumenta. Por outro lado, repare-se que sendo positivos os benefícios associados à função produtiva e de bem-estar do capital natural, o denominador de (17) deve ser também

(13) Com  $U = u(C, A)$ , ter-se-á  $g_U = \frac{\dot{U}}{U} = \varepsilon_{UC} \frac{\dot{C}}{C} + \varepsilon_{UA} \frac{\dot{A}}{A}$ , onde  $\varepsilon_{UC}$  e  $\varepsilon_{UA}$  representam as elasticidades da utilidade face, respectivamente, ao consumo e ao capital natural. Se a economia se encontrar na trajectória de crescimento sustentável, o capital natural estará em repouso pelo que a evolução do índice de bem-estar reproduz apenas o padrão evolutivo do consumo. Sendo este positivo e constante, o índice de bem-estar evidenciará a trajectória não decrescente e constante ao longo do tempo exigida pelo critério de Sustentabilidade. Para mais pormenores sobre a noção de Sustentabilidade, veja-se Daly (1992) e Pearce e outros (1990-b).

(14) A inclinação de  $\dot{z}=0$  é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{dz}{dA} \Big|_{\dot{z}=0} = \frac{z}{\gamma+1} \left( \frac{1}{A} \frac{[\sigma(\sigma-1)\beta A^{\sigma-1} - \delta\delta A^{-1}]}{(\beta\sigma A^{\sigma-1} + \delta\delta A^{-1})} + \frac{N_{AA}}{\delta - N_A} \right)$$

positivo;  $N_A < \delta$ . Daqui resulta que o valor do capital natural que permite a verificação de (17) seja sempre superior ao resultado, bem conhecido da literatura sobre exploração de recursos renováveis, segundo qual o nível óptimo para o *stock* de recurso deve ser aquele que assegure que, na margem, a taxa de desconto iguale a capacidade natural de regeneração. Por esta razão, o estado estacionário, se existir, será caracterizado por um nível de equilíbrio para o capital natural sempre superior ao que ocorreria se este não desempenhasse funções produtivas e de bem-estar.

Por outro lado,  $\dot{A} = 0$  será uma função em forma de U (15). Quando a capacidade natural de assimilação e regeneração é crescente, o aumento das emissões «sustentáveis» é compatível com maior qualidade ambiental. Porém quando a capacidade natural de regeneração e assimilação é decrescente com  $A$ , níveis adicionais de emissões «sustentáveis» tenderão a delapidar o *stock* de capital natural.

Deste modo, do ponto de vista estritamente gráfico, se  $\dot{z} = 0$  cruzar  $\dot{A} = 0$  fá-lo-á sempre de «cima para baixo» em um ou dois pontos.

Quando  $\left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{z}=0} - \left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{A}=0} < 0$  o modelo gera uma única «solução estacionária» de longo prazo, independentemente de  $A^* < \bar{A}$  ou de  $A^* > \bar{A}$ .

Quando  $\left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{z}=0} - \left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{A}=0} > 0$ , a economia dispõe, sempre, de duas «soluções estacionárias» de longo prazo, às quais correspondem ritmos de crescimento e valores óptimos de capital natural diferentes. É a taxa de desconto  $d$  determina a existência de zero, um ou dois estados estacionários (16). No caso limite, a taxa de desconto pode ser tão elevada que todo o *stock* de capital económico é consumido rapidamente tornando, por isso, inviável qualquer solução de longo prazo a esta economia.

(15) Tendo em conta que  $N(A) > 0 \forall 0 < A < A_M$  e as propriedades assumidas para a capacidade regenerativa dos activos ambientais, ter-se-á, seguramente:

$$\left. \frac{dz}{dA} \right|_{\dot{A}=0} = \frac{z}{\gamma} \frac{N_A}{N(A)} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad N_A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 0$$

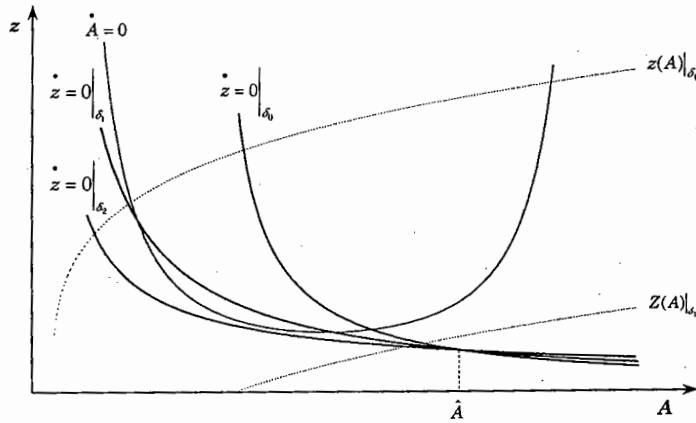
(16) Com efeito, para um dado valor da taxa de desconto, tem uma assíntota vertical para valores de  $A = A_\delta : N_A(A_\delta) = \delta$ . Quanto mais paciente (impaciente) for a sociedade, maior (menor) será o valor de  $A_\delta$  e, por isso, o ramo mais inclinado de  $\dot{z} = 0$  tende a deslocar-se para a direita permitindo, desta forma, o aparecimento de um único estado estacionário de longo prazo. Porém,

em rigor, o sinal de  $\left. \frac{dz}{d\delta} \right|_{\dot{z}=0} = - \frac{z}{(\gamma+1)(\beta\sigma A^\sigma + \delta\theta)} \left( \frac{\beta\sigma A^\sigma + \theta N_A}{\delta - N_A} \right)$  é indeterminado o que significa

que qualquer alteração da taxa de desconto fará «rodar»  $\dot{z} = 0$  no ponto em que  $A = \hat{A} : f_{KA} = -U_A N_A$ . De uma maneira geral:

$$\left. \frac{\partial z}{\partial \delta} \right|_{\dot{z}=0} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \quad \text{sse} \quad A \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} \hat{A}$$

FIGURA 2



A taxa de desconto é responsável pelo aparecimento de zero, uma ou duas soluções estacionárias de longo prazo. Neste caso,  $\delta_2 < \delta_1 < \delta_0$  e  $0 < \sigma < 1$

#### 4 — Estabilidade local e «dinâmica de transição»

A análise efectuada na secção anterior mostra a possibilidade de aparecimento de dois «estados estacionários». Em ambos os casos, se a situação concreta das economias coincidir com qualquer deles, haverá a garantia de que pode evoluir de acordo com a tendência de longo prazo de forma sustentada. Deste ponto de vista, as duas trajectórias de crescimento equilibrado têm a mesma relevância. Porém, o que as diferencia não são apenas os valores de equilíbrio para o stock de capital natural ( $A^*$ ) e para nível global de emissões poluentes [ $P^* = (z^*)^{-\gamma}$ ]. A taxa de crescimento de equilíbrio de longo prazo e a capacidade de convergência para esta taxa quando a economia se encontra fora das configurações de longo prazo são diferentes em cada uma das duas possíveis trajectórias de crescimento sustentável.

Uma vez que a taxa de crescimento consistente com a trajectória de crescimento de equilíbrio depende do valor estacionário para o stock de activos naturais:

$$g = \beta(A^*)^\sigma - \delta - N(A^*) - \frac{1}{\gamma} \quad (19)$$

torna-se então claro que a economia dispõe, potencialmente, de duas trajectórias de crescimento equilibrado às quais estão associadas taxas de crescimento de longo prazo diferentes. A mais elevada corresponde à configuração de

longo prazo para a qual a riqueza ambiental é superior não só porque, na margem, a produtividade do capital é maior [o termo  $\beta(A^*)^\sigma$  de  $g(\cdot)$ ], mas também porque o fluxo de poluição sustentável que lhe está associado indicia um valor superior para o *stock* de capital.

Este resultado permite ainda tecer algumas considerações sobre diferenças de ritmo de crescimento de longo prazo entre duas economias com os mesmos parâmetros produtivos, ecológicos e de preferências mas com níveis diferentes de capital natural (ou qualidade ambiental). No pressuposto de que ambas se encontram nas respectivas configurações de longo prazo, a que possuir um *stock* de activos ambientais mais elevado tenderá não só a crescer a um ritmo superior como registará também valores sempre superiores para as restantes variáveis.

Todavia, é necessário ter presente que a taxa de crescimento consistente com a trajectória de crescimento equilibrado depende dos valores de  $A$  e  $z$  (e este, por seu turno, do próprio  $A$ ) que são determinados endogenamente e constantes apenas quando a economia se encontra naquela trajectória de equilíbrio. Importa, por isso, compreender o que sucede quando a economia evidencia valores de «partida» não coincidentes com as exigidas no «estado estacionário», nomeadamente no que diz respeito à eventual convergência da taxa de crescimento para o seu valor de tendência de longo prazo. Esse estudo será conduzido a partir do sistema dinâmico de dimensão 2 da secção anterior, de cuja linearização em torno do estado estacionário se obtém o seguinte jacobiano (17):

$$J = \begin{bmatrix} \delta - N_A & \frac{z^*}{(\gamma + 1)} \left[ -N_A A^* - \gamma (z^*)^{-\gamma+1} \left( \frac{\sigma-1}{A^*} \beta \sigma (A^*)^{\sigma-1} + \frac{\alpha}{A^*} \theta \delta (A^*)^\alpha \right) \right] \\ \gamma (z^*)^{-(\gamma+1)} & N_A \end{bmatrix} \quad (20)$$

Os valores próprios  $\varphi$  a ele associados são  $\varphi_{1,2} = \frac{1}{2} \left( \tau(J) \pm \sqrt{[\tau(J)]^2 - 4|J|} \right)$  em que o traço,  $\tau(J)$ , e o determinante,  $|J|$ , são, respectivamente:

$$\tau(J) = \delta \quad (21)$$

$$|J| = (\delta - N_A) N(A^*) \frac{\gamma}{z^*} \left[ - \frac{\partial z}{\partial A} \Big|_{\dot{A}=0} + \frac{\partial z}{\partial A} \Big|_{\dot{z}=0} \right] \quad (22)$$

(17) A topologia deveria ser analisada a partir do sistema de dinâmico (3x3). Porém, os três valores próprios associados a este sistema são os valores próprios do sistema (2x2) e  $\delta > 0$  relativo à variável  $x$ . Em todo o caso, o que importa salientar é que a característica atractiva ou repulsiva dos estados estacionários não se modifica.

Com  $\pi(J) = \delta > 0$ , a dinâmica local dos estados estacionários dependerá do sinal do determinante, que, por seu turno, depende da relação entre as inclinações de  $\dot{z} = 0$  e  $\dot{A} = 0$ :

$$|J| \begin{cases} > \\ < \end{cases} \iff \text{os sse } \left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{z}=0} \begin{cases} > \\ < \end{cases} \left. \frac{\partial z}{\partial A} \right|_{\dot{A}=0} \quad (23)$$

Quando  $|J| < 0$ , as «variedades» locais estável e instável são de dimensão 1 e os valores próprios associados ao jacobiano são, respectivamente,  $\varphi_1^e = \frac{\delta}{2} - \left( \left( \frac{\delta}{2} \right)^2 - |J| \right)^{1/2} < 0$ ;  $\varphi_1^i = \frac{\delta}{2} + \left( \left( \frac{\delta}{2} \right)^2 - |J| \right)^{1/2} > \delta$ . Por outras palavras, quando existem duas «soluções estacionárias» de longo prazo, apenas para aquela cujo valor de equilíbrio do *stock* de activos ambientais é mais elevado ou quando existe apenas uma única «solução estacionária», a topologia que lhe está associada revela a instabilidade típica aos ponto-sela. Ou seja, para estas «soluções estacionárias», existe apenas uma única «trajectória estável» capaz de fazer convergir a economia para os seus valores de tendência. Dito de outro modo, se a economia se encontrar fora da sua trajetória de crescimento de equilíbrio, a única possibilidade que tem de poder convergir, consiste em os valores iniciais serem compatíveis com os exigidos pela única trajetória estável. Em particular, o fluxo de emissões poluentes deverá estar ajustado ao nível estritamente necessário (mas sempre inferior à capacidade natural de assimilação) para poder viabilizar uma solução de equilíbrio de longo prazo. Se for excessivamente elevado (por insuficiência de *abatement activities* ou excessiva acumulação de capital económico) não é possível assegurar a convergência para a trajetória de crescimento de equilíbrio sustentável.

Uma vez ajustado o fluxo de poluição ao valor compatível com a trajetória de convergência, a fase de transição (de convergência) para o caso particular de  $A(0) = A_0 < A^*$  é caracterizada pelo contínuo aumento do fluxo de emissões<sup>(18)</sup>, mas sempre em valor inferior à capacidade natural de absorção e a taxas cada vez mais reduzidas. Por esse motivo o capital natural pode crescer em direcção ao seu valor de equilíbrio  $A^*$ . Por outro lado, a partir de (19), é também claro que durante esta fase transitória o ritmo de evolução económica é inferior ao ritmo compatível com o caminho de crescimento equilibrado.

Quando existem duas «soluções estacionárias», a que estiver associada a uma menor qualidade ambiental é instável no sentido em que se a economia

<sup>(18)</sup> Repare-se que o aumento do fluxo de poluição se deve ao facto de que nesta fase de convergência, o *stock* de capital económico crescer mais rapidamente que as *abatement activities*:

$$\frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{D}}{D} - \frac{\dot{K}}{K} < 0$$

se encontrar na sua vizinhança não convergirá para trajectória de crescimento de equilíbrio (19). Apenas quando os valores iniciais coincidem com esta solução estacionária, a economia tem possibilidade de se encontrar no caminho de equilíbrio sustentável de longo prazo. Os dois diagramas de fase da figura 3 ilustram o que acabámos de dizer:

FIGURA 3

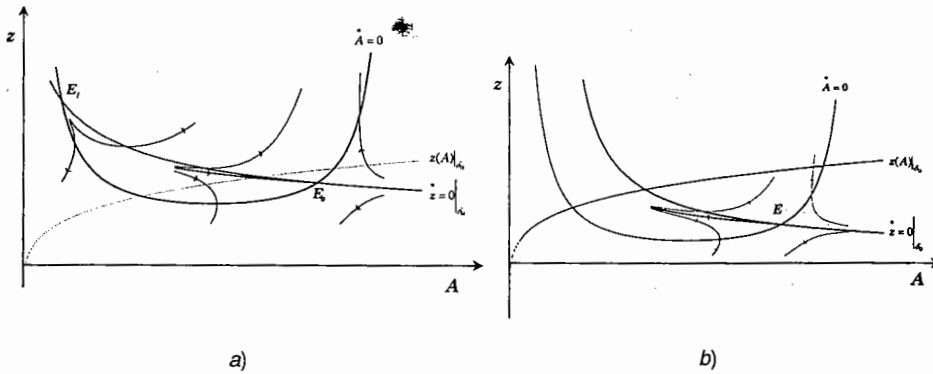


Diagrama de fases quando o modelo gera: a) duas soluções estacionárias ( $E_0$  é um ponto-sela e  $E_1$  é um nó instável; e b) apenas uma solução estacionária ( $E_0$  é um ponto-sela)

Em resumo, o modelo apresentado apenas prevê taxas de crescimento de longo prazo constantes se e quando se encontrar na trajectória estável, convergente para a trajectória não limitada de  $C$ ,  $K$  e  $D$ . Em particular, um país muito industrializado e com um elevado nível de emissões poluentes dificilmente convergirá para uma configuração de longo prazo sustentável. Por outro lado, a possibilidade potencial de aparecimento de dois valores de equilíbrio para o *stock* de capital natural não suscita a tradicional questão da sua escolha na medida em que, neste caso, uma das soluções será sempre repulsiva em relação a estados iniciais na sua vizinhança, enquanto outra possui capacidade para fazer convergir para si a economia, ainda que sob condições muito restritivas.

(19) Neste caso, o determinante verifica  $0 < |J| < \left(\frac{\delta}{2}\right)^2$  e evidencia as propriedades típicas de instabilidade associadas a um nó instável. Os valores próprios associados ao jacobiano são reais, positivos e de valor diferente:

$$\varphi_1^i = \frac{\delta}{2} - \left(\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - |J|\right)^{1/2} > 0 \quad \text{e} \quad \varphi_2^i = \frac{\delta}{2} + \left(\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - |J|\right)^{1/2} < \delta$$

## 5 — Determinantes da taxa de crescimento de equilíbrio de longo prazo

O facto de a taxa de crescimento de longo prazo que equilibra o sistema (9) — (12) ser endogenamente determinada e constante apenas quando a economia se encontra na trajectória de equilíbrio tem como resultado a sua dependência face aos parâmetros do modelo e, por isso, sensível às suas modificações. Qualquer alteração desses parâmetros afecta não só a taxa de crescimento como ainda o nível das variáveis envolvidas, sobretudo no que diz respeito ao fluxo de poluição e ao *stock* de capital de equilíbrio:

$$g = g(\beta, \delta, \phi, \gamma, \sigma) = \beta(A^*)^\sigma - \delta - N(A^*)^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (24)$$

Tomando como referência (17) e (18) e usando o teorema da função implícita, é possível verificar que a taxa de crescimento de longo prazo reage no sentido indicado no quadro n.º 1 em resposta a variações positivas de cada um dos parâmetros:

QUADRO N.º 1

Impacte de alterações positivas nos parâmetros sobre a taxa de crescimento de longo prazo

Parâmetros		Dois estados estacionários		Um estado estacionário	
		$A^* < \bar{A}$	$A^* > \bar{A}$	$A^* < \bar{A}$	$A^* > \bar{A}$
Tecnológicos .....	$\beta$	+	+	+	*+
	$\sigma$	+	+	+	+
	$\gamma$	-	-	-	-
Preferências .....	$\delta$	-	-	-	-
	$\phi$	-	-	+	-

O impacte dos parâmetros tecnológicos sobre a taxa de crescimento de equilíbrio reflecte a influência positiva que a acumulação de capital desempenha enquanto fonte indutora do crescimento ao longo da trajectória de equilíbrio. Em particular, o potencial de crescimento económico tende a acompanhar as melhorias, permanentes, do nível tecnológico  $\beta$ , assim como da intensificação da relevância do capital natural sobre a produção  $\sigma$ . Em ambos os casos, a produtividade marginal e a produtividade média do capital económico



aumenta, alterando, deste modo, a taxa de poupança  $\left[ s^* = \left( 1 - \frac{\delta}{\beta(A^*)^\sigma} \right) = \left( 1 - \frac{\delta}{f_K} \right) \right]$  (20). Inversamente, quanto maior for a elasticidade da poluição face ao *stock* de capital  $\gamma$ , maiores impactes ambientais negativos estarão associados a este último e, por isso, para um dado valor do *stock* de capital económico, maior a parcela do rendimento que deverá ser canalizada para actividades de tratamento da poluição para assegurar a sustentabilidade. Por esse motivo, o ritmo de crescimento económico está inversamente relacionado com este parâmetro.

No que diz respeito aos parâmetros relativos às preferências, o impacte da taxa de desconto é consistente com os resultados tradicionais neste tipo de formalização. Taxas de actualização  $\delta$  mais elevadas representam menor predisposição para poupar, dando, por isso, origem a uma menor acumulação de capital económico. Deste modo, a taxa de crescimento de longo prazo tende a ser tanto mais reduzida quanto mais impaciente for a sociedade face ao futuro.

Todavia, a taxa de desconto é ainda responsável pelo aparecimento de um resultado pouco usual para este tipo de modelos, sobretudo num contexto em que o capital natural assume especial relevância no bem-estar. Em regra, a uma taxa de desconto elevada reflecte menor preocupação com as gerações futuras, estando, por isso, associada a uma menor qualidade ambiental (Belbute, 1998). Nem sempre isso se verifica neste estudo.

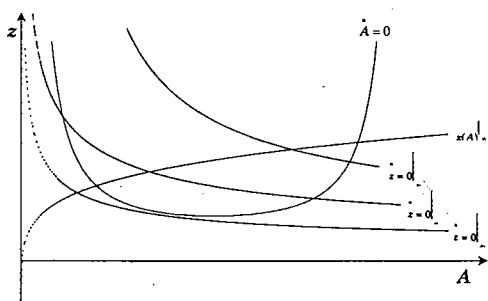
Num contexto ambiental pouco rico ( $A^* < \bar{A}$ ), mas em que os activos naturais são muito valorizados como fonte de bem-estar, uma atitude de maior impaciência intertemporal pode colocar a economia numa trajectória de longo prazo com um fluxo de emissões poluentes mais elevado. Uma vez que, nesta fase, a capacidade de assimilação é crescente com  $A$ , o novo nível sustentável de emissões pode ser compatibilizado com melhorias na qualidade ambiental. Todavia, se a qualidade ambiental for grande ( $A^* > \bar{A}$ ), a mesma alteração nas preferências intertemporais e a elevada relevância que  $A$  exerce sobre o bem-estar impõem a intensificação do esforço no tratamento das emissões poluentes. Uma vez que a capacidade de assimilação é, neste contexto, decrescente com  $A$ , a qualidade ambiental pode aumentar quando a sociedade se torna mais impaciente.

Analiseemos, finalmente, o parâmetro que reflecte a importância atribuída aos activos ambientais enquanto fonte directa de bem-estar,  $\phi$ . Para um determinado nível de activos ambientais e de *stock* de capital, quanto mais relevante para o bem-estar for a qualidade ambiental, maior será a exigência para o tratamento da poluição e, conseqüentemente, para a redução do fluxo de emissões

(20) Repare-se que a taxa de poupança depende dos mesmos parâmetros que afectam a taxa de crescimento de equilíbrio.

poluentes que têm como destino directo o sistema natural. Graficamente, sempre que  $\phi$  aumentar,  $\dot{z}=0$  deslocar-se-á para a direita (21). O efeito final sobre a taxa de crescimento, o valor do capital natural e o nível de emissões poluentes compatíveis com a trajectória de equilíbrio Sustentável, depende do número de soluções de equilíbrio e da qualidade ambiental associada a cada uma delas. Porém, a importância atribuída ao capital natural sobre o bem-estar pode ser de tal modo insignificante que não será possível a economia convergir para qualquer caminho de equilíbrio sustentável. A figura 4 ilustra o que acabámos de referir.

FIGURA 4



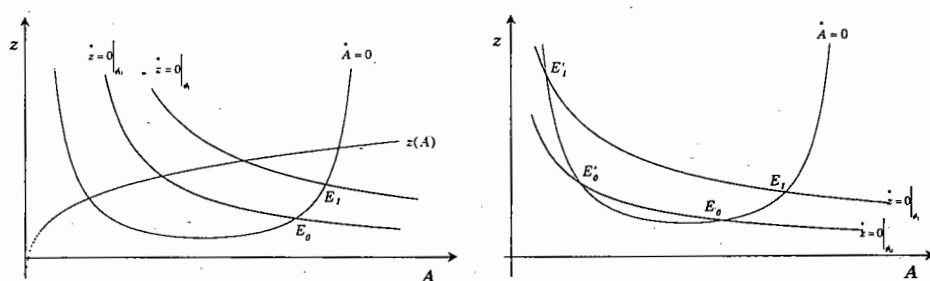
Influência da importância atribuída ao capital natural sobre o índice de bem-estar nas soluções de longo prazo. Neste exemplo,  $\phi_2 < \phi_0 < \phi_1$ . No limite, a relevância do ambiente sobre o bem-estar pode ser tão reduzida que a economia não dispõe de qualquer solução de longo prazo

Quando existem duas soluções estacionárias, a taxa de crescimento de equilíbrio tende a reduzir-se à medida que aumenta a relevância do capital natural sobre o bem-estar. Inversamente, uma sociedade que atribui pouca importância aos activos ambientais no seu bem-estar tende a crescer mais rapidamente, mas aceita níveis de emissões mais elevados. Porém, o efeito sobre o valor de equilíbrio do capital natural depende da localização da solução estacionária. Para baixos níveis de qualidade ambiental,  $A^* < A$ , a conjugação da redução das emissões poluentes não tratadas induzida pela mudança das preferências (pela canalização de uma maior parcela da riqueza para as actividades de tratamento) com o facto de, nesta fase, a capacidade de regeneração e assimilação ser

(21) De facto  $\frac{dz}{d\phi} \Big|_{\dot{z}=0} = \frac{\phi}{\gamma+1} z > 0 \forall \phi, \gamma \text{ e } z > 0$ .

crecente com  $A$  justifica que o critério de sustentabilidade seja verificado com a redução do *stock* de capital natural. Inversamente, quando a dotação inicial de capital natural é elevada (caso em que  $A^* > \bar{A}$ ), o incremento nas preocupações ambientais provoca um aumento no valor de equilíbrio de  $A$  em consequência da redução das emissões não tratadas. O mesmo tipo de fenómeno ocorre quando existe apenas uma única solução estacionária de elevada dotação ambiental e que, por isso, a capacidade de assimilação é, na margem, decrescente. Em ambos os casos, o elevado valor que a qualidade ambiental assume para o bem-estar torna óptimo crescer mais lentamente, dispor de uma qualidade ambiental superior e sacrificar capacidade de absorção. Os dois gráficos da figura 5 ilustram dos dois casos analisados:

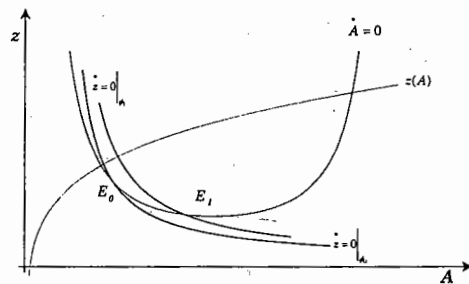
FIGURA 5



Alterações nas trajectórias de crescimento de equilíbrio sustentável em resultado de modificações na relevância atribuída ao capital natural enquanto fonte directa de bem-estar. Neste caso,  $\phi_1 > \phi_0$

Todavia, os parâmetros económicos e biológicos podem assumir características tais que viabilizam apenas uma única solução de equilíbrio sustentável quando os níveis de qualidade ambiental são muito reduzidos. Neste caso, ainda existe margem para que os investimentos na melhoria da qualidade ambiental incrementem a capacidade natural de regeneração e assimilação. Quando isto ocorre, reduz-se a necessidade de canalizar recursos para o incremento as despesas destinadas à implementação de actividades de tratamento da poluição, canalizando-os para a acumulação de capital físico o que, em última instância, permite acelerar o ritmo de crescimento económico. O resultado final, conhecido como *win-win*, consiste num aumento da taxa de crescimento compatível com a trajectória de crescimento de equilíbrio sustentável, a melhoria da qualidade ambiental e o aumento do fluxo de emissões poluentes.

Figura 6



A solução *win-win* só é possível quando a taxa natural de regeneração e assimilação é crescente com o nível de activos ambientais

## 6 — Conclusão

O modelo usado neste estudo apresenta uma abordagem alternativa à temática da relação entre o crescimento económico e o ambiente, particularmente no que diz respeito à consideração de uma tecnologia produtiva que permite o aparecimento de rendimentos constantes, à introdução explícita de uma função regenerativa que leva em linha de conta as leis naturais da entropia e à consideração do efeito bem-estar atribuído ao capital natural.

Em primeiro lugar, a formulação adoptada mostra que o pessimismo de Daly sobre a necessidade do estado estacionário para assegurar a sustentabilidade apenas faz sentido num contexto em que a tecnologia produtiva exhibe rendimentos decrescentes face ao capital económico e em que não existe uma tecnologia especialmente vocacionada para o tratamento das emissões poluentes. Com uma formulação simplificada, demonstramos que com uma tecnologia produtiva evidenciando rendimentos constantes relativamente ao capital económico e assegurando a existência de sistemas de tratamento das emissões poluentes, é possível imprimir à economia um crescimento constante e permanente sem com isso ameaçar os limites termodinâmicos impostos pela natureza.

Em segundo lugar, o trabalho mostra que num contexto em que a dinâmica regenerativa e assimilativa do capital natural evidencia rendimentos decrescentes como reflexo das leis naturais da entropia pode surgir mais do que uma configuração de equilíbrio sustentável. Quando isso sucede, a que tiver associada maior qualidade ambiental não apenas possibilitará um ritmo de crescimento de equilíbrio superior como ainda será estável, não obstante a trajectória convergente para si seja única. Se a economia não se encontrar no caminho

de equilíbrio sustentável, apenas poderá convergir para ele se, para um dado valor inicial de capital económico, o fluxo inicial de poluição se encontrar ajustado ao exigido na única trajectória convergente. Dito de outro modo, a trajectória convergente para o caminho de crescimento de equilíbrio sustentável depende, crucialmente, das condições iniciais (efeito de histeresis), nomeadamente do fluxo inicial de emissões poluentes.

O trabalho desenvolve ainda um tema raramente explicitado mas relevante para a concepção de políticas públicas ambientais e para os seus efeitos sobre o padrão evolutivo da economia. Independentemente dos valores assumidos pelos parâmetros económicos e biológicos, a alteração das preferências no sentido de atribuir maior relevância ao capital natural enquanto fonte directa de bem-estar altera não apenas o ritmo de evolução da economia, a qualidade ambiental como, finalmente, o nível de bem-estar proporcionado às sucessivas gerações. Em particular, uma sociedade que valoriza o capital natural enquanto fonte directa de bem-estar aceita sacrificar o seu crescimento económico e na capacidade natural de absorção para poder usufruir de maior qualidade ambiental e permitir maior bem-estar aos seus sucessores.

Porém, são também possíveis situações *win-win* num quadro em que a qualidade ambiental é reduzida e em que ainda existe margem para incrementar a capacidade natural de absorção. Neste caso, uma política de investimento orientada para a melhoria da qualidade ambiental, não só impulsiona essa qualidade ambiental como ainda a capacidade natural de absorção, os níveis sustentáveis de poluição, a produtividade do capital económico e, por via disso, a própria taxa de crescimento da trajectória de equilíbrio sustentado.

Finalmente, o estudo mostra também que é possível não existir qualquer caminho de crescimento de equilíbrio sustentável quando a sociedade se revela demasiado impaciente face ao futuro e ou quando atribui pouca relevância ao capital natural enquanto fonte de bem-estar.

## BIBLIOGRAFIA

- AGHION, P., e HOWITT, P. (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press, Cambridge, MA.
- AYRES, R. U. (1999), «The Second Law, the fourth law, recycling and limits to growth», *Ecological Economics*, n.º 29 (3), pp. 473-483.
- ASAKO, K. (1980), «Economic Growth and Environmental Pollution under the Max-Min Principle», *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 7, pp. 157-183.
- BELBUTE, J. (1999), «Algumas reflexões sobre as interações entre a economia e o ambiente», *Economia e Sociologia*, n.º 67, pp. 31-56, Évora.
- (1998), «Acumulação de capital num contexto de interações entre economia e ambiente», *Estudos de Economia*, vol. XVIII, n.º 4, ISEG, Lisboa.
- (1996), «Crescimento económico e sustentabilidade», dissertação de doutoramento, Universidade de Évora, Évora.
- BELTRATI A. (1995), «Growth with Natural and Environmental Resources», *nota di lavoro* 58.95, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milão.
- BOULDING, K. (1992), «The Economics of the Spaceship Hearth», *The EarthScan Reader in Environmental Economics*, A. Markandaya & J. Richardson (eds.), EarthScan Publications, Ltd., Londres.
- DALY, H. (1997), «The contribution of Nicholas Georgescu-Roegen», *Ecological Economics*, n.º 22 (3), pp. 171-305, edição especial sobre a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen.
- (1992), *The Steady-State Economics*, EarthScan Publications, Ltd., Londres.
- DASGUPTA, P., e HEAL, G. (1974), «The Optimal Depletion of Exhaustible Resources», *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 3-28.
- (1979), *Economic Theory of Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, Cambridge.
- DASGUPTA, P., e STIGLITZ, J. (1981), «Resources Depletion under Technological Uncertainty», *Econometrica*, n.º 49, pp. 85-104.
- KAMIEN, M., e SWARTZ, N. (1978), «Optimal Exhaustibles Resources Depletion with Endogenous Technical Change», *Review of Economic Studies*, n.º 45, pp. 179-196.
- KRAUTKRAEMER, J. (1985), «Optimal Growth, Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments», *Review of Economic Studies*, LIII, pp. 153-170.
- (1986), «Optimal Depletion with Resource Amenities and a Backstop Technology», *Resource and Energy*, n.º 8, pp. 133-149.
- MARREWIJK, C., VAN DER PLOEG, F., e VERBEEK, J. (1993), «Is Growth Bad for the Environment?», *working paper*, World Bank, Julho.
- MICHEL, P. (1993), *Pollution and Growth Towards the Ecological Paradise*, mimeo, Universidade de Paris I.
- MICHEL, P., e ROTILLON, G. (1996), «Desutility of Pollution and Endogenous Growth», *Environmental and Resource Economics*, vol. 6, pp. 279-300.
- MUSO I., e LINES, M. (1995), «Endogenous Growth and Environmental Preservation», in G. Boero and A. Silberston (eds.), *Environmental Economics*, McMillan, Londres.
- PEARCE D., e TURNER (1990-a), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Harvest Weatsheaf, Londres.
- PEARCE D., MARKANDAYA, A., e BARBIER, E. (1990-b), *Sustainable Development: Economy and Environment in the Third World*, EarthScan Publications, Londres.
- PEZZEY, J. (1994), «The Optimal Sustainable Depletion of Non-Renewable Resources», comunicação apresentada na V Conferência da EAERE, Dublin.
- PEZZEY, J., KRAUTKRAEMER, J., e TOMAN, M. (1994), «Neoclassical Economic Growth Theory and Sustainability», *discussion paper* ENR93, Resources for the Future, Washington.
- PLOURDE, G. (1972), «A Model of Waste Accumulation and Disposal», *Canadian Journal of Economy*, vol. 5, pp. 119-125.
- RAMSEY, F. (1928), «A Mathematical Theory of Saving», *Economic Journal*, n.º 38, pp.543-559.
- REBELO, S. (1991), «Long-run Policy Analysis and Long-run Growth», *Journal of Political Economy*, vol. 99, pp. 500-521.

- RUBIO, S., e FISHER, A. (1994), «Optimal Capital Accumulation and Stock Pollution: The Greenhouse Effect», comunicação apresentada na V Conferência da EAERE, Dublin.
- SMULDERS, S. (1995), «Environmental Policy and Sustainable Economic Growth», *The Economist*, n.º 143, pp. 163-195.
- SOLOW, R. (1974), «Intergenerational Equity and Exhaustible Resources», *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 29-45.
- STEPHENS, J. (1976), «A relatively Optimistic Analysis of Growth and Pollution in a Neoclassical Framework», *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 3; pp. 85-96.
- 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.
- TAHVONEN, O., e KULUVAINEN (1993), «Economic Growth, Pollution and Renewable Resources», *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 24, pp. 101-118.
- TAHVONEN, O., e SALO, S. (1996), «Nonconvexities in Optimal Pollution Accumulation», *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 31, pp. 160-177.
- TAHVONEN, O., e WITHAGEN, C. (1996), «Optimality of Irreversible Pollution Accumulation», *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 20, pp. 1775-1795.
- VELINGA, N. (1994), «The Influence of Pollution as a Stock and as a Flow on Economic Growth Rates», working paper, Eindhoven University of Technology.
- (1995), «Short Run Analysis of Endogenous Environmental Growth Models», *working paper*, Eindhoven University of Technology.
- WITHAGEN, C., e TOMAN, M. (1995), «Cumulative Pollution with a Backstop Technology», *nota di lavoro* 59.95, Fondazione Eno Enrico Mattei, Milão.

