

**A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS
RENOVÁVEIS EM DIFERENTES
ESTRUTURAS DE MERCADO**

Luis Catela Nunes
Working Paper Nº 142

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Economia
Trav. de Estevão Pinto - Campolide
1000 LISBOA
PORTUGAL

Janeiro , 1990

A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS RENOVÁVEIS EM DIFERENTES ESTRUTURAS DE MERCADO.

Sumário:

1. Introdução
2. O modelo
 - 2.1. Dinâmica do recurso
 - 2.2. O mercado
3. Análise de diferentes estruturas de mercado
 - 3.1. Livre acesso
 - 3.2. Competição com direitos de propriedade e óptimo social
 - 3.3. Monopólio
 - 3.4. Oligopólio
 - 3.5. Comparação entre as estruturas de mercado
4. Conclusão
- Bibliografia

1. Introdução

A exploração de recursos renováveis levanta um problema de afectação óptima de recursos escassos em diferentes períodos no tempo. A decisão de extrair uma unidade adicional do stock do recurso renovável num dado período tem efeitos não só sobre o ganho resultante dessa extracção adicional no presente mas também sobre os ganhos possíveis de conseguir no futuro. A causa desta ligação entre decisões presentes e resultados futuros é devida ao facto de o stock do recurso renovável existir em quantidade limitada, podendo não permitir a optimização dos objectivos em cada momento sem ter em conta os momentos futuros.

Este problema de optimização intertemporal leva a que os efeitos de diferentes estruturas de mercado sobre a exploração do recurso sejam diferentes dos conhecidos para mercados em que não existe este problema. Este trabalho analisa de uma forma integrada diversas estruturas de mercado possíveis.

Pode-se conceber que o acesso ao stock do recurso seja livre, não existindo portanto direitos de propriedade definidos. Esta estrutura de mercado leva a que em cada momento do tempo a exploração do recurso seja feita tendo em conta apenas os lucros presentes. A decisão de uma empresa de reduzir a sua extracção no presente, diminuindo os lucros correntes, para poder extrair mais no futuro, e desse modo conseguir mais lucros, levará na prática apenas à redução dos lucros presentes. Havendo livre acesso, outros agentes irão aumentar a extracção do recurso numa quantidade igual àquela que o primeiro agente reduziu, apropriando-se dos lucros presentes, e deixando o stock total do recurso inalterado, contrariando as intenções do agente inicial.

Em termos económicos este facto é conhecido como uma externalidade: uma decisão económica por parte de um agente que pode afectar os objectivos de outros agentes através de um mecanismo que não é tido em conta pelo mercado e se reflecta nos preços.

No caso de existirem direitos de propriedade que atribuam a cada agente um dado montante do stock do recurso, montante esse

que só pode ser alterado por decisões desse mesmo agente, a externalidade desaparece. Mostra-se que a existência destes direitos de propriedade em conjunto com um mercado concorrencial no mercado do produto extraído, leva a um resultado ótimo em termos sociais.

Consideram-se ainda outras estruturas de mercado não concorrenciais como sejam o monopólio e o oligopólio.

2. O modelo

2.1 Dinâmica do recurso

Para caracterizar a dinâmica do recurso renovável considerem-se as seguintes variáveis:

$$\begin{aligned} X_t &= \text{stock do recurso no início do período } t, \\ Q_t &= \text{extracção do recurso no período } t, \\ N_t &= X_t - Q_t = \text{stock do recurso no fim do período } t. \end{aligned}$$

Considere-se ainda a seguinte função descrevendo a lei de crescimento natural do recurso:

$$X_t = f(N_{t-1}, \theta_{t-1}),$$

com θ_t variáveis aleatórias independentes e idênticamente distribuídas, independentes de X_t , Q_t e N_t , que tomam valores em $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, - com distribuição $G(\theta)$ e respectiva função densidade de probabilidade $g(\theta)$.

Assume-se que a função $f(\cdot, \cdot)$ tem as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} f(0, \theta) &= 0, \\ f'(\cdot, \theta) &> 0, \\ f''(\cdot, \theta) &< 0, \\ f'(0, \theta) &= +\infty, \quad f'(+\infty, \theta) = 0, \end{aligned}$$

para $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, e em que

$$f'(N, \theta) \equiv \frac{\partial f(N, \theta)}{\partial N}$$

é o crescimento marginal devido a uma unidade adicional de stock no fim do período.

Estas propriedades são conhecidas como condições de "Inada" e são adoptadas para garantir a existência e unicidade de soluções

óptimas.

Faz-se ainda a hipótese de que $f(N, \theta) > 0$, $\forall N > 0$, $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$.

Os efeitos da variável aleatória na dinâmica do recurso são tais que:

$$\frac{\partial f(N, \theta)}{\partial \theta} > 0, \quad \forall N > 0, \quad \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}],$$

$$0 \leq f(N, \underline{\theta}) < f(N, \bar{\theta}) < +\infty.$$

Na figura 1 e a partir destas hipóteses pode-se exemplificar gráficamente uma função de crescimento típica.

O caso de certeza na dinâmica do recurso pode ser descrito como um caso particular da distribuição de θ_t em que

$$G(\tilde{\theta}) = 1,$$

$$\lim_{\substack{\theta \rightarrow 0 \\ \theta < \tilde{\theta}}} G(\theta) = 0,$$

ou seja, $P[\theta_t = \tilde{\theta}] = 1$, para um dado $\tilde{\theta} \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$.

Deste modo pode-se utilizar como função de crescimento

$$f(N) \equiv f(N, \tilde{\theta}).$$

Na figura 2 dá-se um exemplo deste caso.

2.2. O mercado

Faz-se a hipótese de que a procura de mercado do recurso extraído e as funções de custo de extracção são constantes no tempo. A função de procura inversa é dada por $P = P(Q)$. Os custos de extracção são por hipótese independentes do quantidade do recurso por explorar dependendo apenas da quantidade extraída em cada momento: $C = C(Q)$.

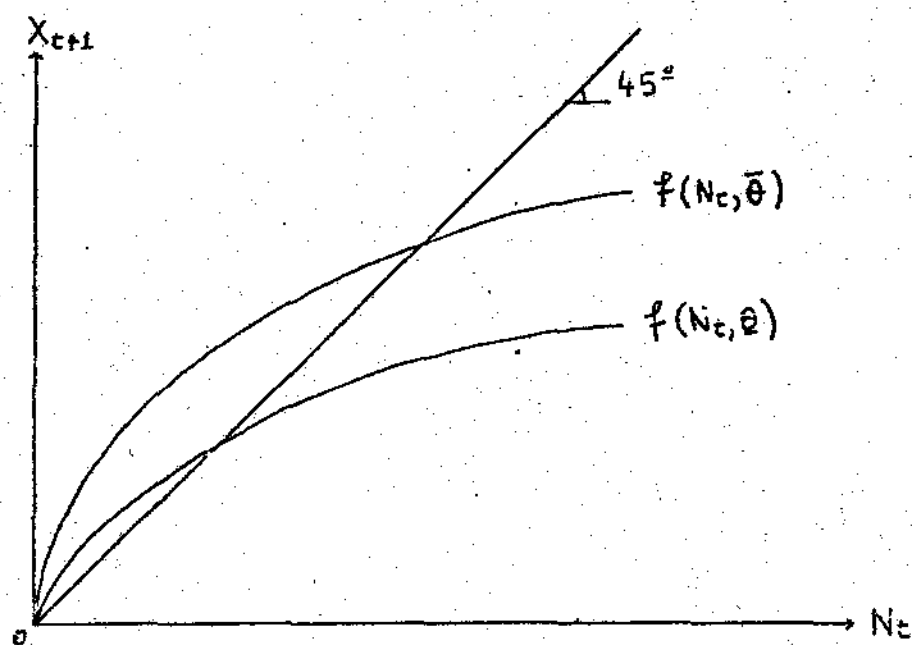


Figure 1.

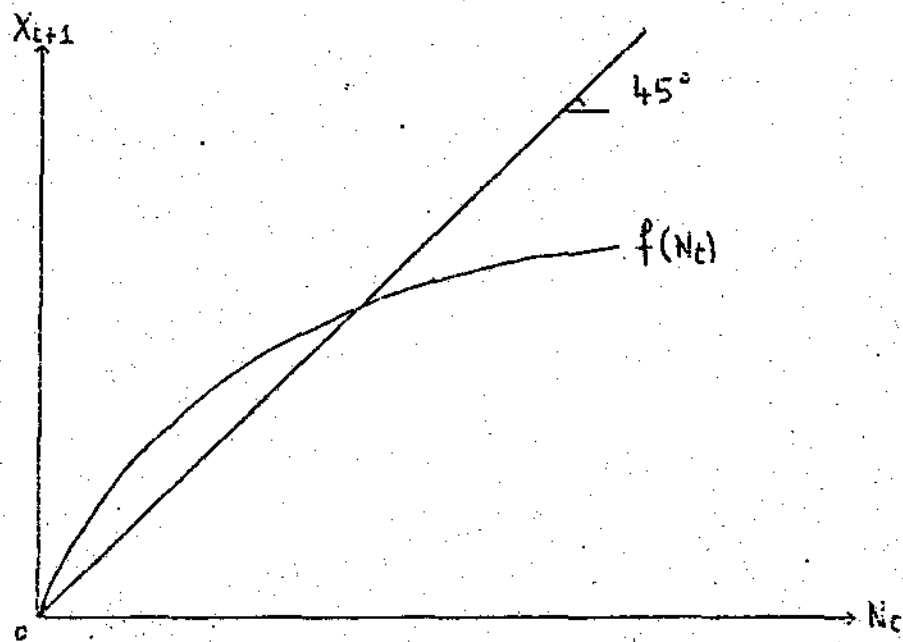


Figure 2.

3. Análise de diferentes estruturas de mercado

3.1 Livre acesso

Num mercado concorrencial com livre acesso de empresas à extracção do recurso o equilíbrio ocorre quando o preço iguala o custo marginal. Na figura 3, $S(Q)$ representa a curva da oferta que é igual à soma dos custos marginais de todas as empresas. O equilíbrio ocorre no ponto em que $Q = \bar{Q}_c$.

A dinâmica do recurso neste caso é descrita pela equação $N_{t+1} = f(N_t) - \bar{Q}_c$, enquanto $\bar{Q}_c$ for sustentável, isto é, enquanto $\bar{Q}_c \leq X_t$. Nas figuras 4.1 e 4.2. estão representados dois casos possíveis. Na figura 4.1 a quantidade $\bar{Q}_c$ é sustentável se $N_0 \geq \bar{N}$, sendo N_0 o stock do recurso no momento inicial. Neste caso o stock permanecerá em $\bar{N}$ se $N_0 = \bar{N}$, ou convergirá para $\bar{N}$ se $N_0 > \bar{N}$. Se $N_0 < \bar{N}$ então o recurso será extinto em tempo finito e consequentemente $\bar{Q}_c$ não estará disponível para sempre. No caso da figura 4.2 a quantidade $\bar{Q}_c$ não é sequer potencialmente sustentável, ou seja, a extinção ocorre qualquer que seja o N_0 .

Em conclusão pode-se dizer que se $\bar{Q}_c$ não é sustentável, então a extracção presente afecta a extracção no futuro. Este efeito não é internalizado na função de custos marginais, pelo que o livre acesso leva uma ineficiente utilização do recurso. Com livre acesso ao recurso não é possível existir nenhum mecanismo de coordenação da quantidade extraída em cada momento no tempo e que permita internalizar o preço sombra associado à escassez do recurso.

3.2. Competição com direitos de propriedade e óptimo social

A existência de direitos de propriedade permite internalizar as externalidades resultantes da competição com livre entrada que não, toma em conta a possível escassez do recurso. Deste modo pode-se mostrar que esta estrutura de mercado conduz a uma solução óptima em termos sociais.

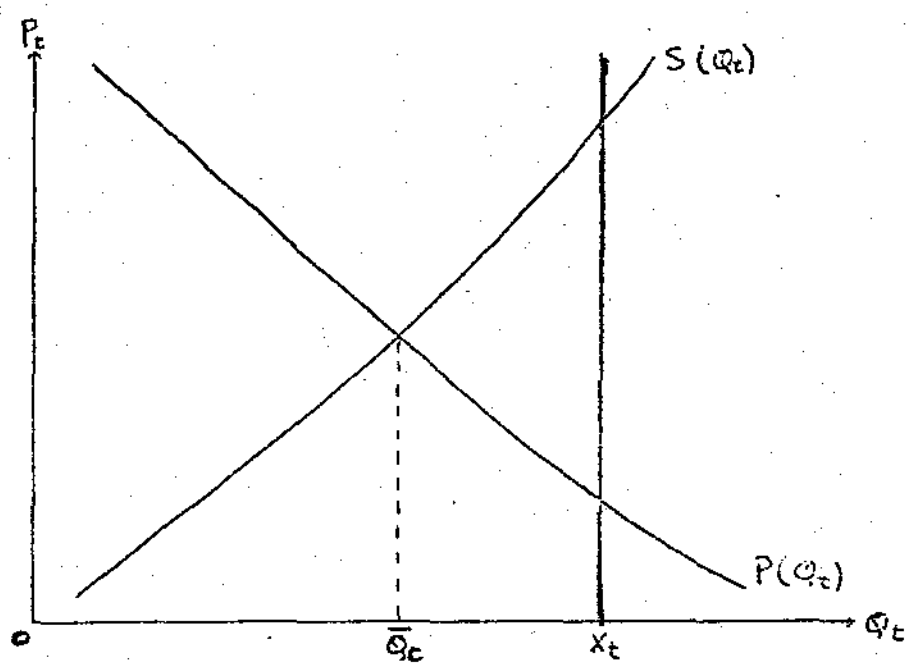


Figure 3.

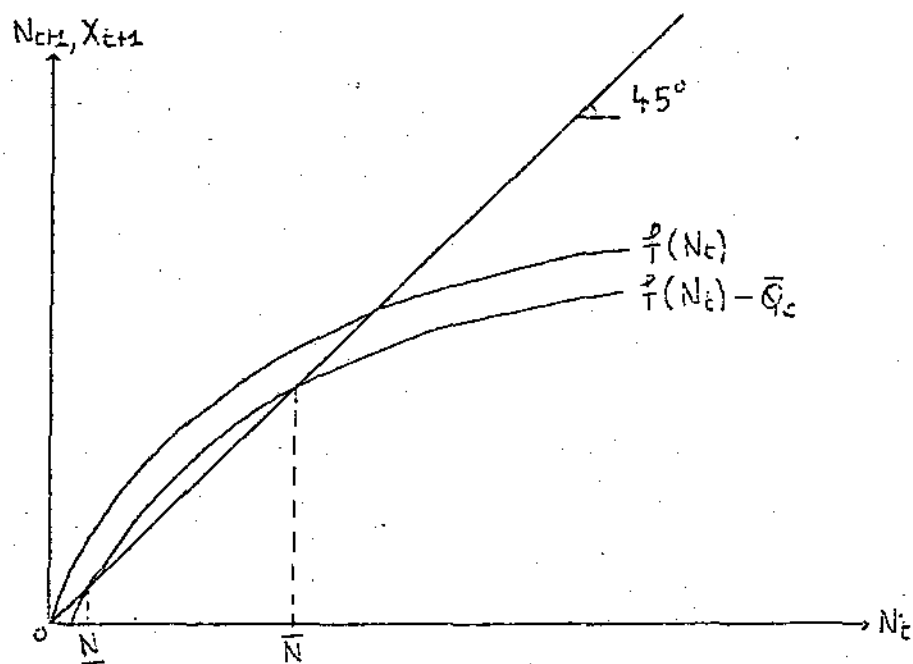


Figure 4.1.

Considerem-se M empresas idênticas que actuam em depósitos do stock do recurso separados e que M é suficientemente grande para que cada empresa tome o preço de mercado como dado.

Seja $F(N_{t-1}, L)$ a função de crescimento natural do recurso num depósito de tamanho L . Então $F(N_{t-1}, \bar{L}) = f(N_{t-1})$ se $\bar{L}$ for igual ao tamanho total dos depósitos onde se situa o stock do recurso.

Por hipótese cada depósito tem tamanho $\bar{L}/M$, o stock inicial do recurso está distribuído igualmente pelos depósitos, e as funções custo são iguais para todas as empresas. Deste modo garante-se a igualdade da quantidade extraída e do stock em todos os depósitos em qualquer momento do tempo.

Definam-se ainda as seguintes variáveis: $n_t = N_t/M$, $q_t = Q_t/M$, e $x_t = X_t/M$.

Cada empresa maximiza o valor presente do fluxo de lucros futuros tomando o vector de preços $[P_1, \dots, P_t, \dots]$ como dado:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\{q_t, n_t\}} \quad & \sum_{t=1}^{\infty} \beta^{t-1} [P_t q_t - C(q_t)] \\ \text{s.a} \quad & n_t = F(n_{t-1}, \bar{L}/M) - q_t \\ & n_0 \text{ dado} \\ & q_t, n_t \geq 0 \end{aligned}$$

em que $\beta = 1/(1+r)$, onde r é a taxa de juro de mercado.

Considere-se o seguinte problema:

$$\begin{aligned} W(x_t) = \text{Max}_{\{x_s, q_s, n_s\}_{s=t}} \quad & \sum_{s=t}^{\infty} \beta^{s-t} [P_s q_s - C(q_s)] \\ \text{s.a} \quad & x_s = q_s + n_s \\ & x_s = F(n_{s-1}, \bar{L}/M) \\ & n_{t-1} \text{ dado} \\ & x_s, q_s, n_s \geq 0 \end{aligned}$$

A solução deste problema pode ser obtida utilizando a equação

recursiva da programação dinâmica:

$$W(x_t) = \text{Max} \{P_t q_t - C(q_t) + \beta W[F(n_t, \bar{L}/M)]\}$$

$$\text{s.a} \quad x_t = q_t + n_t$$

A Lagrangeana para o problema de maximização é dada por:

$$L = P_t q_t - C(q_t) + \beta W[F(n_t, \bar{L}/M)] + \lambda_t (x_t - n_t - q_t)$$

As condições de 1ª ordem para uma solução interior deste problema são dadas por:

$$P_t - C'(q_t) = \lambda_t$$

$$\beta \lambda_{t+1} \frac{\partial F(n_t, \bar{L}/M)}{\partial n} = \lambda_t$$

$$x_t = q_t + n_t$$

$$x_{t+1} = F(n_t, \bar{L}/M)$$

podendo-se mostrar através do teorema da envolvente que $\lambda_t = W'(x_t)$.

Para calcular o ótimo social é necessário definir uma medida de bem-estar social. Seja essa medida igual ao valor presente da soma dos excedentes do consumidor e dos produtores ao longo do tempo.

O problema será então:

$$\text{Max}_{\{Q_t, N_t\}} \sum_{t=1}^{\infty} \delta^{t-1} \left[\int_0^{Q_t} P(s) ds - MC(Q_t/M) \right]$$

$$\text{s.a} \quad N_t = f(N_{t-1}) - Q_t$$

$$N_0 \text{ dado}$$

$$Q_t, N_t \geq 0$$

em que δ é a taxa social de preferência intertemporal.

Aplicando o mesmo método de resolução do problema de maximização da empresa individual temos as condições de 1ª ordem para uma solução interior deste problema:

$$P(Q_t) - C'(Q_t/M) = \lambda_t$$

$$\delta \lambda_{t+1} \frac{\partial f(N_t)}{\partial N} = \lambda_t$$

$$X_t = Q_t + N_t$$

$$X_{t+1} = f(N_t)$$

Note-se que $C'(q_t) = C'(Q_t/M)$, e que os dois problemas devem satisfazer as condições de transversalidade $\beta^t \lambda_t N_t \rightarrow 0$ para o primeiro problema, e $\delta^t \lambda_t N_t \rightarrow 0$ para o segundo problema, quando $t \rightarrow \infty$.

As soluções dos dois problemas serão iguais se:

- 1) existir um mercado de futuros que garanta a condição de equilíbrio $P_t = P(Q_t)$ para todo o t ,
- 2) F tiver rendimentos constantes à escala o que implica que $\partial f / \partial N = \partial F / \partial n$,
- 3) e se $\delta = \beta$.

Se $\bar{Q}_c$, a quantidade extraída em condições de livre-entrada representada na figura 3, é sustentável então não existe nenhum problema de afectação intertemporal do consumo pois o recurso não é escasso. Neste caso $\lambda_t = 0$ e $Q_t = \bar{Q}_c$ para todo o t respeitam as condições de óptimo dos problemas. Os níveis de stock inicial para os quais $\bar{Q}_c$ é sustentável são todos os $N_0 \geq \underline{N}$ na figura 4.1.

3.3 Monopólio

Consideremos graficamente o problema do monopolista na figura 5, em que $R(Q) = P(Q)Q$. Note-se que $\bar{Q}_c > \bar{Q}_M$.

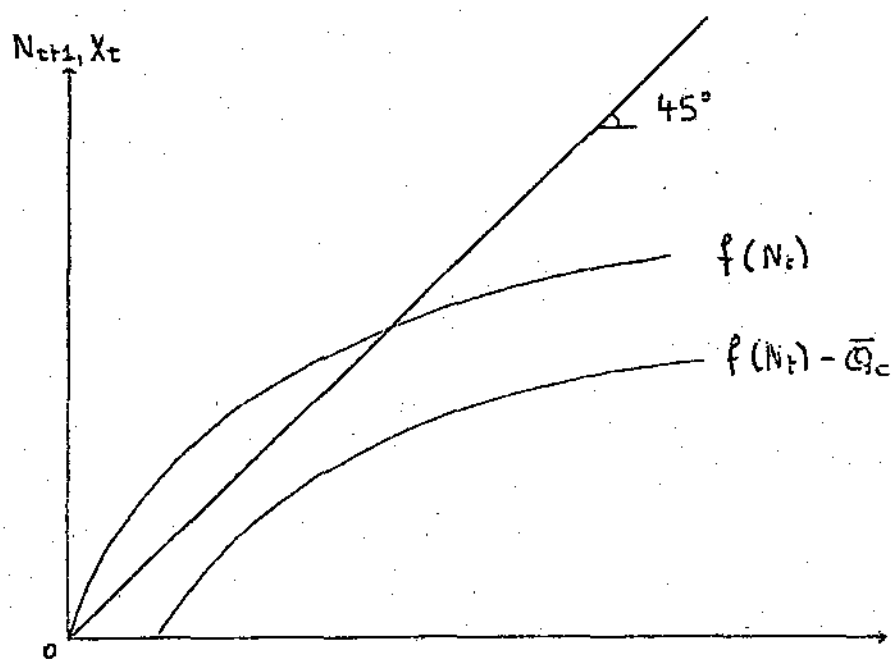


Figure 4.2.

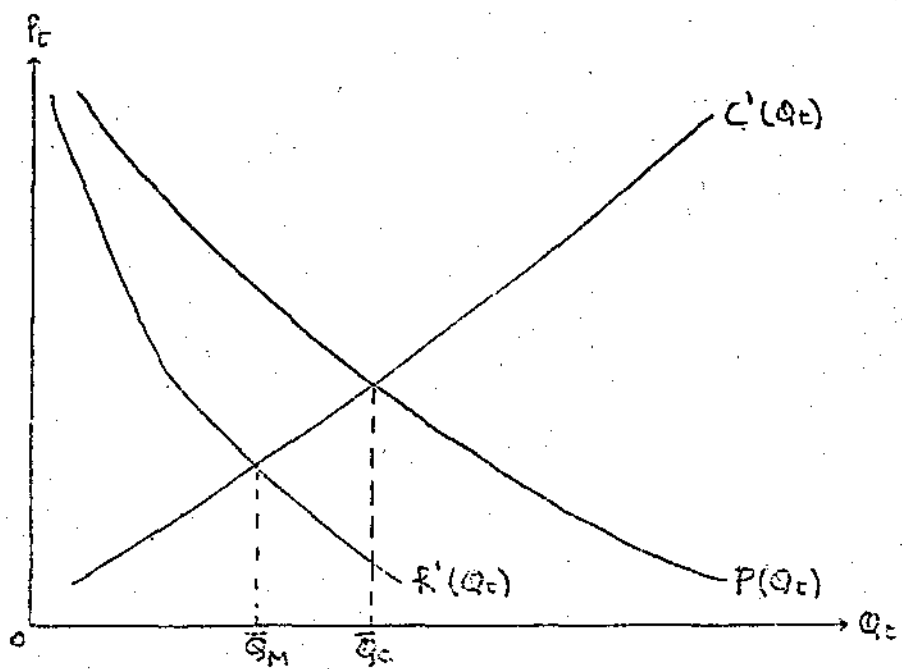


Figure 5.

Se $\bar{Q}_m$ é sustentável (para dado stock inicial do recurso) então não existe problema de escassez. De contrário extrair $\bar{Q}_m$ iria provocar o esgotamento do recurso em tempo finito, e os lucros não seriam maximizados para o monopolista.

O problema do monopolista é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\{Q_t, N_t\}} \quad & \sum_{t=1}^{\infty} \beta^{t-1} [P(Q_t)Q_t - C(Q_t)] \\ \text{s.a} \quad & N_t = f(N_{t-1}) - Q_t \\ & N_t + Q_t = X_t \\ & N_0 \text{ dado} \\ & Q_t, N_t \geq 0 \end{aligned}$$

Utilizando o método de resolução anterior tem-se que as condições de 1ª ordem para uma solução interior deste problema são dadas por:

$$P(Q_t)(1 + \eta_t^{-1}) - C'(Q_t) = \lambda_t$$

$$\beta \lambda_{t+1} \frac{\partial f(N_t)}{\partial N} = \lambda_t$$

$$X_t = Q_t + N_t$$

$$X_{t+1} = f(N_t)$$

em que η_t é a elasticidade procura-preço do recurso extraído: $(\partial Q/Q)/(\partial P/P)$.

3.4 Oligopólio

Suponhamos que existem M empresas que extraem um recurso comum e que não é possível a entrada de novas empresas no mercado. Suponha-se ainda que cada empresa tem poder de mercado suficiente de modo que reconhece que a sua decisão de produção altera o preço.

O problema de cada empresa é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\{q_t^i, N_t^i\}} J^i(q^1, N^1, \dots, q^M, N^M) &= \sum_{t=1}^{\infty} \beta^{t-1} [P(q_t^i + \sum_{j \neq i} q_t^j) q_t^i - C(q_t^i)] \\ \text{s.a. } q_t^i + \sum_{j \neq i} q_t^j + N_t^i &= X_t \\ X_{t+1} &= f(N_t^i) \\ N_0 &\text{ dado} \\ X_t, q_t^i, N_t^i &\geq 0 \end{aligned}$$

e ainda sujeito às conjecturas acerca das acções das outras empresas.

Se as acções das empresas levam à extinção do recurso em T períodos é necessária uma condição de fronteira $X_T = 0$.

A análise do comportamento das empresas pode ser encarada através de um jogo dinâmico não cooperativo.

Seja I_t^i o conjunto da informação disponível pela empresa i no momento t . Vários tipos de estrutura de informação podem ser definidas, como por exemplo:

- a) "open-loop": $I_t^i = \{X_1\}$,
- b) "feed-back": $I_t^i = \{X_t\}$,
- c) "closed-loop" sem memória: $I_t^i = \{X_1, X_t\}$,
- d) "closed-loop" com memória: $I_t^i = \{X_s, s = 1, 2, \dots, t\}$.

Com base em I_t^i cada empresa escolhe as variáveis de decisão q_t^i e N_t^i de modo a resolver o seu problema de maximização descrito acima. Deste modo podem-se definir as políticas óptimas para a empresa i no momento t por:

$$(q_t^i, N_t^i) = \omega_t^i(I_t^i) \in \Omega_t^i$$

onde $\Omega^i = \{\Omega_t^i, t=1, 2, \dots\}$ é o espaço das estratégias para a empresa i . A forma normal do jogo é caracterizada pelos espaços das estratégias e pelos funcionais lucro de cada uma das M

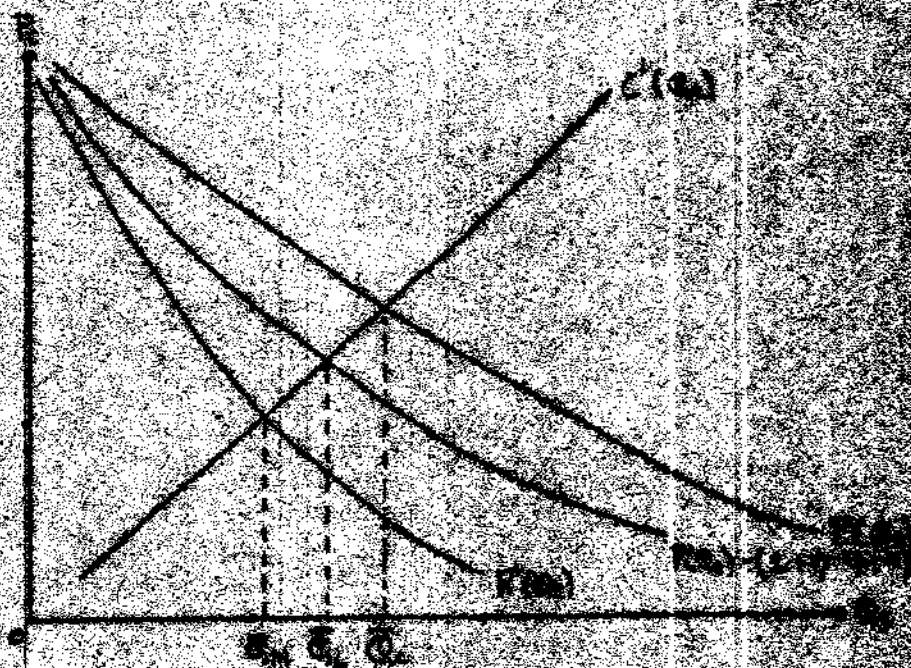


Figura 7.

empresas.

Pode-se então definir um equilíbrio de Nash para este jogo:

$\{\omega^i \in \Omega^i, i=1, \dots, M\}$ é um equilíbrio de Nash se e só se

$$\begin{aligned} J^i(\omega^1, \dots, \omega^{i-1}, \omega^i, \omega^{i+1}, \dots, \omega^M) &\geq \\ &\geq J^i(\omega^1, \dots, \omega^{i-1}, \bar{\omega}^i, \omega^{i+1}, \dots, \omega^M), \quad \forall \bar{\omega}^i \in \Omega^i. \end{aligned}$$

De acordo com a estrutura de informação considerada fala-se de diferentes tipos de equilíbrio de Nash. O conceito mais utilizado é o de Nash com "open-loop" em que cada empresa apenas conhece X_1 e não actualiza essa informação. Neste caso ω^j , para $j \neq i$, dependendo apenas de X_1 não dependem de q^i nem de N^i . Deste modo as condições de 1ª ordem para uma solução interior do problema da empresa i são dadas por:

$$P(q_t^i + \sum_{j \neq i} q_t^j) [1 + (q_t^i \partial P / \partial Q) / P(q_t^i + \sum_{j \neq i} q_t^j)] - C'(q_t^i) = \lambda_t^i$$

$$\beta \lambda_{t+1}^i \frac{\partial f(N_t^i)}{\partial N} = \lambda_t^i$$

$$X_t = q_t^i + \sum_{j \neq i} q_t^j + N_t^i$$

$$X_{t+1} = f(N_t^i)$$

Daqui resultam as condições para um equilíbrio de Nash "open-loop" simétrico.

$$P(Q_t)(1 + \eta^{-1} M^{-1}) - C'(Q_t) = \lambda_t$$

$$\beta \lambda_{t+1} \frac{\partial f(N_t)}{\partial N_t} = \lambda_t$$

$$X_t = Q_t + N_t$$

$$X_{t+1} = f(N_t)$$

com $Q_t = Mq_t^i$, $N_t = N_t^i$, $\lambda_t = \lambda_t^i$, para $i=1, \dots, M$.

Se esta solução é sustentável então $\lambda_t = 0$, e resolvendo a primeira das equações de 1.^a ordem em ordem a Q_t , tem-se a solução $Q_t = \bar{Q}_L$ representada na figura 7. Note-se que $\bar{Q}_M \leq \bar{Q}_L \leq \bar{Q}_c$.

Se $M = 1$ estas condições resultam no óptimo do monopolista. Se $M \rightarrow \infty$ então temos o caso concorrencial com direitos de propriedade.

Se na solução óptima o recurso não é escasso, isto é, se $\lambda_t = 0$, então a quantidade extraída em cada momento é dada por $\bar{Q}_L$ na figura 7. Temos pois que $\bar{Q}_M < \bar{Q}_L < \bar{Q}_c$.

Temos então que no equilíbrio de Nash "open-loop" as empresas comprometem-se com trajectórias que são óptimas dadas as trajectórias a que as outras empresas se comprometeram. No caso de "closed-loop" ou "feed-back" as empresas escolhem regras de decisão óptimas que determinam a acção a tomar em cada momento e estado do tempo. Temos pois que neste caso as empresas não se comprometem com nenhuma trajectória em particular. Um conjunto de regras de decisão é um equilíbrio quando cada regra é óptima vista do momento e estado iniciais dadas as regras de decisão das outras empresas. Em geral existem múltiplos equilíbrios de Nash "closed-loop". Este problema é conhecido pela "não unicidade informacional do equilíbrio" devido à existência de um número infinito de possibilidades de representar a mesma trajectória (Basar, 1974). Apenas no caso do equilíbrio de Nash "feed-back" não surge este problema. No entanto, alguns destes equilíbrios podem ser ignorados.

O conceito de equilíbrio de Nash perfeito (também conhecido como "subgame perfect") é mais restritivo. Um equilíbrio de Nash diz-se perfeito se as regras de decisão formarem um equilíbrio de Nash para qualquer subjogo do jogo original, ou seja, para quaisquer momento e estado intermédios. Esta condição é assegurada se as empresas adoptarem estratégias de "feed-back".

Temos pois que é possível existirem equilíbrios de Nash imperfeitos se em alguns pontos de decisão quando aí chegada, a

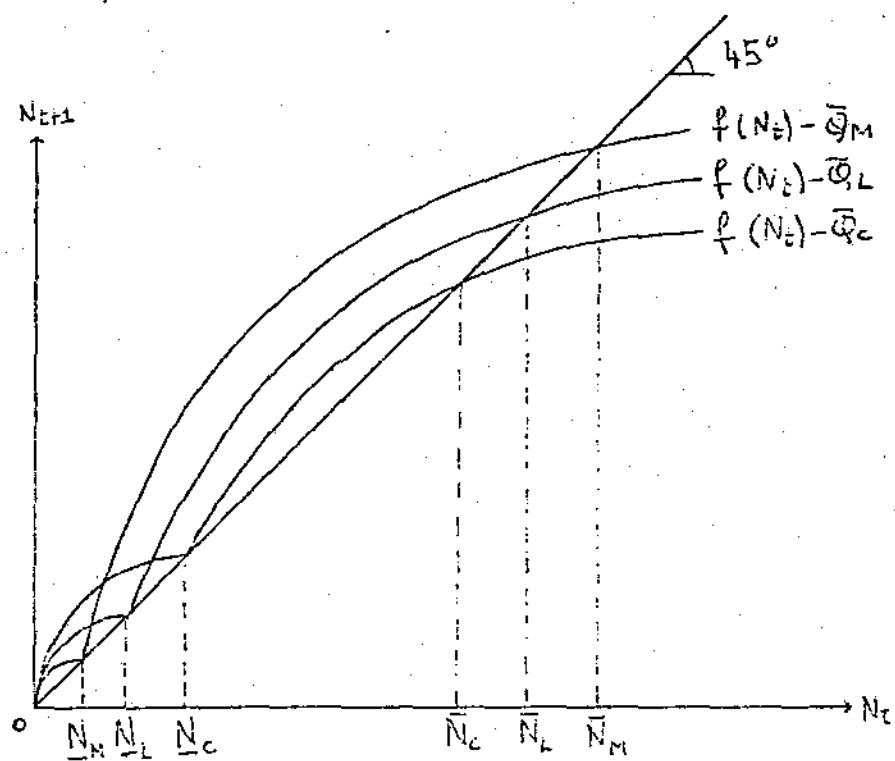


Figure 8.

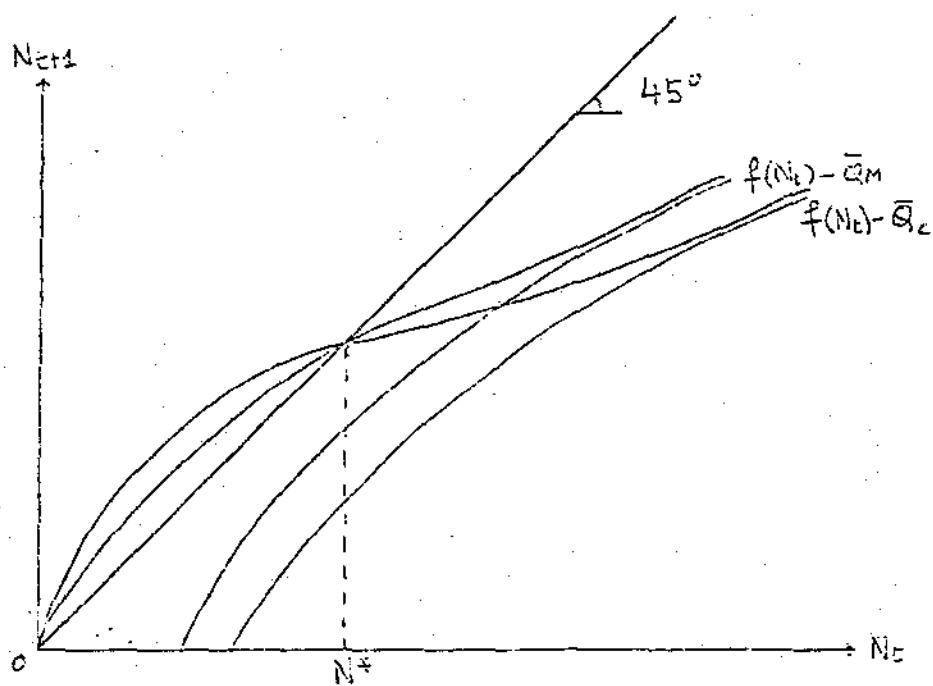


Figure 9.

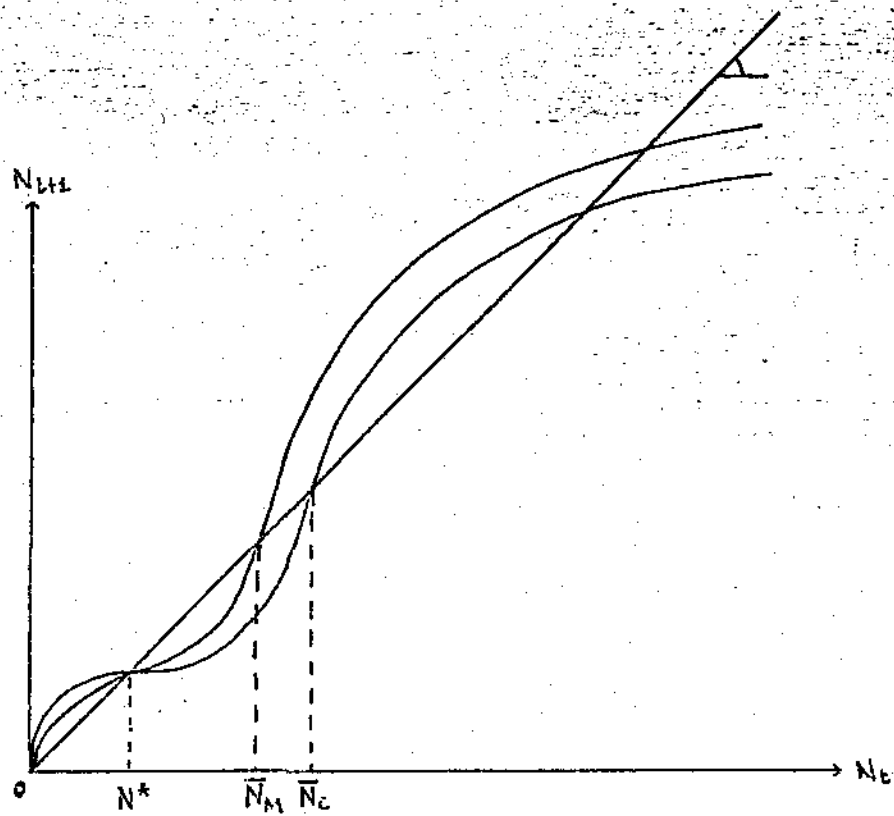


Figura 10.

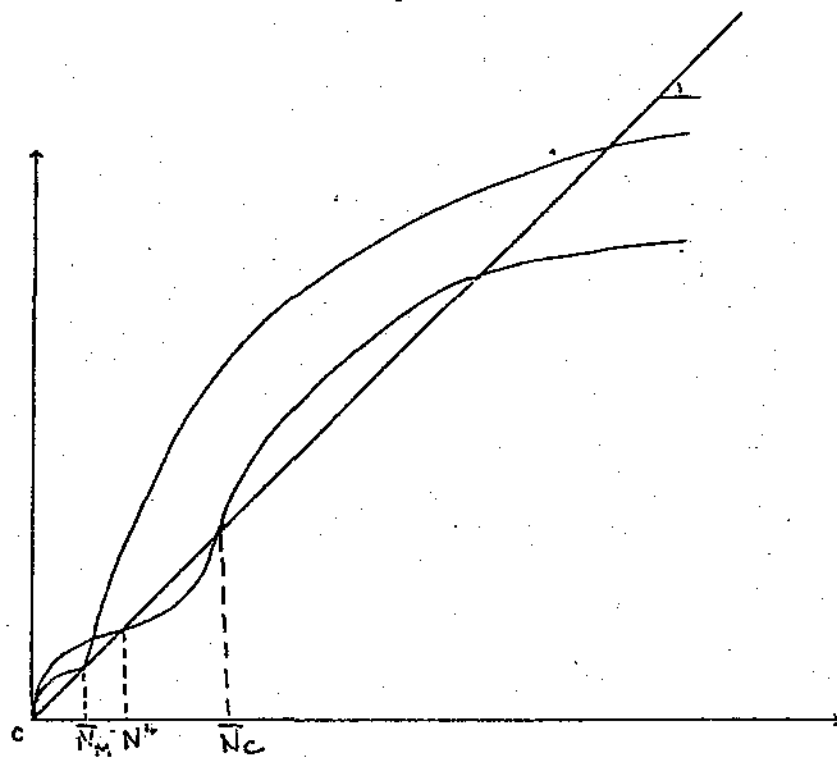


Figura 11.

empresa não tem incentivo em prosseguir a regra de decisão inicial. Estes equilíbrios não são pois apropriados para situações em que não é possível um comprometimento a regras de decisão (quando todas as empresas têm o mesmo poder de mercado e não existe nenhuma empresa dominante). Deste modo um equilíbrio de Nash "open-loop" nunca pode ser perfeito (embora tenha consistência temporal, isto é, é um equilíbrio de Nash para todas as fases intermédias ao longo da trajectória de equilíbrio).

Pode-se provar que para o caso de horizonte temporal finito o equilíbrio de Nash "closed-loop" perfeito é único. No entanto quando o horizonte é infinito resultam múltiplos equilíbrios.

No caso da estrutura da informação ser "closed-loop" sem memória cada empresa formula funções de reacção acerca das acções das outras empresas. A empresa i conjectura que as outras empresas decidem quanto ao stock a extrair de acordo com a função de reacção $q_t^j = \omega_t^j(X_t)$, para $j \neq i$.

3.5 Comparação entre as estruturas de mercado

Suponhamos primeiro que $\bar{Q}_c$ é potencialmente sustentável. Temos este caso ilustrado na figura 8 para $\beta f'(\underline{N}_c) > 1$. Uma vez que a função de crescimento natural é concava tem-se que $\beta f'(N) > 1$ para $N < \underline{N}_c$. Assim, para estes valores de N , λ_t decresce no tempo pois de acordo com as condições de primeira ordem dos problemas

$$\lambda_{t+1}/\lambda_t = (\beta f')^{-1} < 1.$$

O facto de λ_t decrescer no tempo significa que o recurso se torna cada vez menos escasso, ou seja, que o stock aumenta. Assim, à esquerda do ponto em que a curva $f - \bar{Q}_c$ intersecta a linha de 45° , a curva permanece acima desta linha, pelo que existem sempre dois pontos de equilíbrio de longo prazo: $\underline{N}_c$ instável, e $\bar{N}_c$ estável. Uma vez que tanto para o caso do monopólio como para o caso de oligopólio se tem a mesma condição sobre a evolução de λ_t , as curvas são análogas para estes casos.

Neste caso é impossível dizer qual a estrutura de mercado que conduz a um maior stock no longo prazo sem se saber qual o stock inicial. Os casos $N_0 > \bar{N}_c$ e $N_0 < \bar{N}_c$ levam a resultados opostos na ordenação dos stocks de longo prazo.

O caso em que $\beta f'(\bar{N}_c) < 1$ é ilustrado nas figuras 10 e 11. Nesta situação, e para o caso concorrencial, λ_t decresce para $N < N^*$ e cresce para N entre N^* e $\bar{N}_c$. Assim na primeira região o stock do recurso cresce, e na segunda região o stock decresce. No caso da figura 10 tem-se $\beta f'(\bar{N}_c) < 1$, e na figura 11 tem-se $\beta f'(\bar{N}_c) > 1$. Em ambas os casos não é possível dizer qual das estruturas de mercado levará no longo prazo a uma maior conservação do stock do recurso sem conhecer o stock inicial.

Se $\bar{Q}_m$ não é potencialmente sustentável temos o caso da figura 9, em que N^* é tal que $\beta f'(N^*) = 1$. Neste caso ambas as estruturas de mercado conduzem ao mesmo stock e extracção no longo prazo. A ordenação das trajectórias é arbitrária pois depende da forma das curvas de procura e de custos marginais.

Em todos os casos a situação de livre acesso conduz sempre no longo prazo ou à mesma situação de concorrência com direitos de propriedade, ou então à extinção em tempo finito do stock do recurso.

4. Conclusão

A análise do funcionamento da exploração de recursos renováveis sobre várias estruturas de mercado leva a resultados diferentes dos obtidos para mercados de produtos em que não existe um problema de alocação intertemporal de um recurso escasso.

Do ponto de vista social a estrutura de mercado que leva a um resultado óptimo é aquela em estejam definidos direitos de propriedade sobre o stock do recurso explorado e em que as empresas se comportem concorrencialmente no mercado do produto extraído. Outra condição importante é também a existência de um mercado de futuros que permita estabelecer os preços do produto que será transaccionado em momentos futuros.

A situação de livre acesso à exploração do recurso leva sempre ou a uma situação óptima ou a uma situação não óptima em que o recurso é extinto em tempo finito.

As situações de monopólio e de oligopólio levam a situações não óptimas mas a ordenação dos stocks no longo prazo depende de vários factores: da forma da função de crescimento natural, da taxa de preferência intertemporal, das funções de procura e custo, e do stock inicial do recurso. Pode mesmo acontecer que qualquer que seja a estrutura de mercado tanto o stock como a extracção sejam idênticas no longo prazo.

Por fim, não se teve em conta uma outra externalidade que pode estar associada à exploração de um recurso renovável. Se os custos de extracção dependessem da quantidade de stock existente então cada agente ao tomar a sua decisão acerca do montante de recurso a extrair teria apenas em conta os efeitos da variação do stock sobre os seus custos, ignorando os efeitos sobre os custos dos outros agentes.

Bibliografia

- Basar e Olsder, Dynamic Noncooperative Game Theory, 1978.
Clark, C., Mathematical Bioeconomics, 1976
Levhari, Michener, e Mirman, "Dynamic Programming Models of Fisheries", American Economic Review, Sept. 1981.
Mirman, "Dynamic Models of Fishing", em Pan-Tai Liu e Sutinen, eds., Control Theory in Mathematical Economics, 1979.
Mirman e Spulber, Essays on the Economics of Fishing, 1982