

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

FELIPE ACCIOLY VIEIRA

**A INTEGRAÇÃO ENTRE ECONOMIA, TEORIA DA INFORMAÇÃO E  
ENTROPIA TERMODINÂMICA:**

UMA PROPOSTA DA INTERPRETAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE  
VALOR ECONÔMICO À LUZ DESTES CONCEITOS

RIO DE JANEIRO

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

FELIPE ACCIOLY VIEIRA

**A INTEGRAÇÃO ENTRE ECONOMIA, TEORIA DA INFORMAÇÃO E  
ENTROPIA TERMODINÂMICA:**

UMA PROPOSTA DA INTERPRETAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE  
VALOR ECONÔMICO À LUZ DESTES CONCEITOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Oliveira

Rio de Janeiro

2015



C198a      Accioly, Felipe  
A integração entre economia, teoria da informação e entropia termodinâmica: Uma proposta da interpretação do processo de criação de valor econômico à luz destes conceitos - 2015  
199 f. : 20 cm.  
Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, 2015.  
Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Oliveira  
Economia - Teses. 2. Teoria da informação – Teses  
3.Termodinâmica - Teses. I.  
Oliveira, José Carlos de (Orient). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia. III. Título.

CDD 577.55

FELIPE ACCIOLY VIEIRA

**A INTEGRAÇÃO ENTRE ECONOMIA, TEORIA DA INFORMAÇÃO E  
ENTROPIA TERMODINÂMICA:**

UMA PROPOSTA DA INTERPRETAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE  
VALOR ECONÔMICO À LUZ DESTES CONCEITOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em 2 de Outubro de 2015,

---

Jose Carlos de Oliveira, Dr., Orientador (HCTE/DEE/Polí/UFRJ)

---

Eduardo Pinto , Dr., (IE/UFRJ)

---

Maria Izabel Busato , Dr., (IE/UFRJ)

---

Carlos Benevenuto Guisard Koehler, Dr. (HCTE/UFRJ)

---

Antônio Claudio Gomez de Sousa, Dr. (HCTE/UFRJ)

---

Roberto Cintra Dr. (PUC)

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a minha esposa Márcia e minha filha Carolina

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela sua paciência infinita.*

*Ao Professor Dr. José Carlos de Oliveira, orientador dedicado, paciente e compreensivo e ao seu recorrente “copo d’água” de onde brotou a discussão que alimentou as ideias fundamentais desse trabalho.*

*A Professora Ana Lúcia do Amaral Vendramini, do Instituto de Química da UFRJ, por ter me apresentado ao HCTE e ao professor José Carlos de Oliveira. Sinceros agradecimentos.*

*Ao Programa de Pós Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia da UFRJ, por ter acolhido minha proposta de pesquisa propiciando-me esta etapa formativa.*

*A todos esses, que com o professor José Carlos de Oliveira compõem a banca examinadora, meus agradecimentos pela disposição em discutirem a tese nesse momento final.*

## RESUMO

ACCIOLY, Felipe A integração entre economia, teoria da informação e entropia termodinâmica: Uma proposta da interpretação do processo de criação de valor econômico à luz destes conceitos. Rio de Janeiro, 2015 Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

O trabalho desenha uma revisão histórica dos conceitos de valor econômico, capital, trabalho, entropia, informação e crescimento econômico, com o propósito de identificar as relações entre eles e elaborar uma proposta de modelo de crescimento econômico que inclua a informação, medida como a entropia da informação de Shannon, como um insumo.

Palavras-chave: Entropia da informação, Entropia termodinâmica, Teoria do crescimento econômico.



## **ABSTRACT**

ACCIOLY, Felipe A integração entre economia, teoria da informação e entropia termodinâmica: Uma proposta da interpretação do processo de criação de valor econômico à luz destes conceitos. Rio de Janeiro, 2015 Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

This work draws a historical review of a series of concepts as economic value, capital, work, labor, entropy, information and economic growth, with the purpose of identify the connections between those concepts and elaborate an economic growth model encompassing the information as an economic input, measured as the information entropy defined by Shannon.

Keywords: Information entropy, Thermodynamical entrophy, Economic growth theory.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1-Modelo conceitual de BEN-NAIM onde (*) SMI é o acrônimo para a Medida da Informação de Shannon, ou entropia da informação..... | 19  |
| Figura 2 - Diagrama de nuvem para o conflito da economia clássica .....   | 31  |
| Figura 3 - curva de entropia como função da probabilidade .....   | 95  |
| Figura 4 - Quantidade de informação de um dado em relação ao universo.....  | 99  |
| Figura 5 - Quantidade de informação de dois dados em relação ao universo .....  | 100 |
| Figura 6 - Entropia bivariada de duas mensagens.....  | 102 |
| Figura 7 - O sistema econômico de Georgescu-Roegen .....  | 105 |
| Figura 8 - Diagrama do sistema economico em relação ao ecossistema .....  | 135 |
| Figura 9 - Gráfico de produção (Y) em relação ao consumo do estoque de Recursos (R). Elaboração própria .....                           | 148 |
| Figura 10 - Rendimentos crescentes pelo argumento de Young .....  | 155 |
| Figura 11 - Grafico de rendimentos decrescentes .....   | 181 |
| Figura 12 - Gráfico de ganho de produtividade pela tecnologia como variável exógena .....   | 182 |
| Figura 13 - Desvio do modelo neoclássico pelo papel endógeno da tecnologia .....  | 183 |
| Figura 14 - A delimitação do processo produtivo .....   | 188 |

# SUMÁRIO

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1    | Introdução.....   | 14 |
| 2    | Revisão Bibliográfica .....   | 18 |
| 3    | O Conceito de Valor.....  | 24 |
| 3.1  | O debate entre Carl e Karl .....  | 24 |
| 3.2  | O método em “O Capital” .....   | 25 |
| 3.3  | O conceito do valor em Marx .....   | 32 |
| 3.4  | O Conceito de Valor em Menger.....  | 37 |
| 3.5  | As diferentes abordagens na prática:.....                                     | 40 |
| 3.6  | A diferença das abordagens metodológicas de Marx e Menger: .....              | 43 |
| 4    | O Conceito de Capital.....  | 47 |
| 4.1  | Revisão do conceito de capital a partir da historiografia de Böhm-Bawerk..... | 47 |
| 4.2  | O Conceito de Capital em North e na NEI .....                                 | 61 |
| 5    | O Conceito de Trabalho.....   | 64 |
| 1.1. | O conceito econômico de trabalho.....   | 64 |
| 5.1  | Sobre a concepção marxiana do valor do trabalho humano .....                  | 65 |
| 5.2  | Enjoyment of life.....  | 67 |
| 5.3  | A conversibilidade entre trabalho e capital.....                              | 68 |
| 5.4  | O Conceito de trabalho na física .....  | 71 |
| 6    | O Conceito de Informação .....  | 78 |
| 6.1  | O papel econômico do processo de aquisição de informação .....                | 78 |
| 6.2  | A interpretação de DANTAS sobre informação e economia .....                   | 82 |
| 6.3  | Primeiras discussões sobre o impacto econômico do erro de informação.....     | 87 |
| 7    | O Conceito de entropia .....  | 88 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.1   | Histórico .....  | 88  |
| 7.2   | Uma nova compreensão do significado da entropia .....                    | 91  |
| 7.3   | O tratamento probabilístico da informação .....                          | 93  |
| 7.4   | As Duas abordagens ao uso da Entropia em Economia .....                  | 104 |
| 8     | O processo econômico na visão de Georgescu-Roegen.....                   | 105 |
| 8.1   | A concepção de valor e de crescimento econômico de Georgescu-Roegen..... |     |
| 8.2   | A descrição inicial do sistema econômico .....                           | 105 |
| 8.3   | Funções de estado e dependência da trajetória .....                      | 111 |
| 8.4   | A definição de Capital em Georgescu-Roegen .....                         | 112 |
| 8.5   | Resumo: a visão sistêmica da economia por Georgescu-Roegen.....          | 118 |
| 8.6   | O papel da entropia no sistema Georgescu-Roegen .....                    | 119 |
| 8.7   | Por uma abordagem alternativa à função de produção .....                 | 124 |
| 8.8   | A Crítica de Georgescu-Roegen ao marginalismo: .....                     | 128 |
| 8.8.1 | Necessidades e utilidade .....   | 130 |
| 8.8.2 | O problema da irreduzibilidade da função utilidade. ....                 | 132 |
| 8.9   | Limitações da proposta de Georgescu-Roegen .....                         | 132 |
| 9     | Desdobramentos do trabalho de georgescu-roegen.....                      | 134 |
| 9.1   | Histórico .....  | 134 |
| 9.2   | O debate sobre relevancia da entropia na economia.....                   | 134 |
| 9.3   | O Papel dos Recursos Ambientais no Estudo da Economia.....               | 135 |
| 9.4   | Axioma do Valor Material .....   | 136 |
| 9.5   | Axioma da Abundância .....   | 137 |
| 9.6   | O debate entre Young e Daly.....   | 139 |
| 9.7   | Os limites da Tecnologia .....   | 142 |
| 9.8   | A relevância da segunda lei na análise econômica.....                    | 143 |
| 9.8.1 | 1ª Parte .....   | 145 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 9.8.2 | 2ª Parte .....   | 150 |
| 10    | A economia da informação em Theil.....   | 160 |
| 10.1  | Histórico .....  | 160 |
| 10.2  | Crítica marginalista à teoria Ricardiana do valor-trabalho.....                | 160 |
| 10.3  | A abordagem marginalista à medição da utilidade.....                           | 162 |
| 10.4  | Diferenças no tratamento do processo de escolha .....                          | 165 |
| 10.5  | Theil e o ganho econômico da informação .....                                  | 170 |
| 10.6  | Sengupta: a integração entre informação e crescimento econômico.....           | 173 |
| 10.7  | Críticas a aplicação da abordagem probabilística da informação à economia..... | 177 |
| 11    | Uma esperança de síntese: O Processo de Produção entrópico .....               | 179 |
| 11.1  | O processo de Produção Entrópico .....   | 187 |
| 11.2  | O cálculo do custo entrópico.....  | 191 |
| 12    | Conclusão.....   | 197 |
| 13    | Sugestões para desenvolvimento .....   | 198 |

# 1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre os mecanismos de criação do valor econômico é extensa, rica, e fundamentalmente apoiada no diálogo entre dois grandes troncos de pensamento econômico, em tensão ou diálogo, para os propósitos deste trabalho. De um lado estão as várias vertentes do pensamento clássico até Marx (MARX, p. 455), que buscam uma grandeza objetiva a partir da qual o valor econômico seria derivado. Por isso denominaremos essa abordagem de materialista, uma vez que o valor estaria intrinsecamente ligado ao produto, mesmo que fosse decorrente das relações sociais que envolveriam a sua fabricação. Ainda pensando em um protocolo materialista<sup>1</sup>, podem ser encontrados trabalhos diversos no marxismo, e adicionalmente, mais recentes no século XX (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971) (DALY H. E., 1991) (KÜMMEL, AYRES, & LINDENBERGER, 2010), nos quais grandezas físicas como a energia ou a entropia são apontadas como sendo propriedades estreitamente relacionadas à criação de valor.

Em posição oposta está a ortodoxia marginalista e as correntes dela derivadas, para as quais a percepção individual é que está na base do processo de atribuição de valor. Um processo pessoal e subjetivo, nunca sujeito a uma medição direta, e nunca isento de simetrias ou vieses. Mas certamente com efeitos observáveis e quantificáveis, ou seja, sempre através de medição indireta. Paradoxalmente a abordagem marginalista, partindo de um processo subjetivo, desenvolveu-se sobre um formalismo matemático rigoroso (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1954). Os marginalistas propuseram o conceito abstrato de utilidade, algo não relacionado a uma propriedade física e sim a um processo interpretativo, como base para seus modelos quantitativos, e têm sido, com alguma frequência, bem sucedidos em estabelecer projeções macroeconômicas de curto prazo e definir

---

<sup>1</sup> Preferi o adjetivo materialista, ao invés do substantivo materialidade para evitar confusões com o uso do substantivo ao longo do texto, derivado das ciências contábeis, onde materialidade é a propriedade de um montante possuir relevância dentro de uma demonstração de resultados financeiros. Já o adjetivo materialista, está ligado à ideia de que uma propriedade como o valor haveria de ter um substrato material, da mesma forma que o calor estaria ligado a um fluido calórico e a eletricidade a um éter eletromagnético.

políticas no âmbito da firma. Entretanto a capacidade dos modelos econômicos ortodoxos encontra limitações importantes na manutenção da estabilidade de longo prazo dos mercados (MANDELBROT & HUDSON, 2004) e (TALEB, 2004).

Dentro destes dois largos modos, díspares, de compreensão da economia, várias abordagens tem sido feitas para criar mecanismos que permitam avaliar os impactos econômicos da inovação tecnológica, da difusão do conhecimento e dos processos de troca e armazenamento de informações. Essas abordagens partem de um postulado intuitivo de que o conhecimento gera valor. Uma percepção que tem se tornado mais aguda ao longo dos últimos trinta anos, como decorrência do processo de informatização da sociedade.

Entre a década de 70 e os dias de hoje, o tráfego de dados na internet vem crescendo exponencialmente, o mesmo se pode afirmar em relação à capacidade dos processadores (MOORE, 1965) e ao armazenamento de dados. A taxa de crescimento foi tão impressionante para o período entre 1994 e 2000 que surgiram questionamentos sobre a possibilidade de manutenção desse ritmo, sustentado por um compósito de inovações incrementais e radicais, como o aparecimento e consolidação dos cabos óticos. Algumas dessas análises (KRAUSS & Glenn D. STARKMAN, 2004) preveem limites para os processadores de dados, estabelecidos por constantes físicas como a velocidade da luz, a constante de Plank e a constante de Boltzmann.

Essa situação encontra um paralelo em relação as teorias neoclássicas do crescimento econômico, criticadas por alguns economistas como Georgescu-Roegen (1906-1994) e Herman Daly (1938 - ), que argumentam que o estoque de recursos ambientais a disposição da espécie humana é finito<sup>2</sup> e sua extração e aproveitamento estariam limitados pelas mesmas constantes físicas que limitam o processamento de dados.

---

<sup>2</sup> Mesmo no caso da radiação solar, que para todos os efeitos práticos é reconhecida como inexaurível, há limitações, tanto em relação a taxa de irradiação, quanto em relação a eficiência no aproveitamento da radiação captada.

O crescimento da quantidade de informação disponível, e da capacidade de processá-la, tem permitido o surgimento de setores econômicos nos quais a geração de valor econômico está muito dissociada de qualquer processamento de insumos tangíveis, sejam materiais ou energéticos. O que levanta a questão de que seria possível criar valor econômico com base na multiplicação de informações. De onde, apesar disso, não se pode concluir que todo o valor advenha exclusivamente da informação. Se isso fosse possível, então a criação de valor econômico, ao contrário do que afirma Georgescu-Roegen, teria que ser, *ad absurdum*, ilimitada.

Mas mais importante que a questão do limite ao desenvolvimento tecnológico ou ao crescimento econômico, é a relação entre estes dois fatores. Essa relação não é externa ao ser humano, já que resulta sempre do processo interpretativo pelo indivíduo. Mas isso não significa que seja dissociada ou independente da realidade externa ao observador. Já que esse observador não pode existir apenas idealmente, desconectado de um substrato material ou à revelia dos processos que regulam a sua existência. Este agente-observador também não vive sozinho e portanto todas as suas avaliações dependem do contexto e das relações sociais onde se insere.

Dessa forma a noção intuitiva de que informação e crescimento econômico estão relacionados, evolui para um conceito mais complexo no qual ambos são facetas de um mesmo fenômeno: a recepção e o armazenamento de informação pelo indivíduo.

Assim, conceitos como valor, capital, energia ou entropia precisam ser tomados como abstrações, imagens especulares criadas a partir de um processo de interpretação dos sinais, codificados ou não, os quais são recebidos pelo observador parcial.

Este trabalho busca revisar algumas das abordagens que tratam da relação entre informação e crescimento econômico sob várias óticas diferentes, e então propor uma visão de síntese. Essa visão está assentada sobre o conceito da entropia da informação de Shannon, de tal modo que de um lado se formaliza uma relação entre a entropia da informação e o comportamento do estoque de



conhecimento do receptor, para depois buscar uma relação entre acúmulo de informação e crescimento econômico.

É importante advertir que o trabalho não tem a pretensão de explicar os mecanismos de um ou outro processo, ou muito menos de identificar uma “lei do valor”. O objetivo tem de ser bem mais modesto e se restringir a propor uma senda a ser explorada, na esperança de que essa possa levar a um modelo simples e instrumental que permita gerar aproximações razoáveis sobre o crescimento econômico, em ambientes onde o processamento de informação seja uma variável significativa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de valor econômico foi examinado neste trabalho primeiro sob a ótica clássica em (RICARDO, 1817), e mais detalhadamente sob a visão marxiana, examinando-se o próprio (MARX, 1883), e vários de seus intérpretes (PRADO Jr, 1963), (GORENDER, 1996), (HARVEY, 2010), (KONDER, A história em Marx, 2010), (SAAD, 2011), (CARCANHOLO, 2011). Então analisou-se a abordagem marginalista proposta por Menger (MENGER, 1871), Jevons e Walras e descrita em (CLARK, 1915), (STIGLER, 1950) e (BARRO & XAVIER SALA-I-MARTIN, 2004). O debate entre marginalistas e socialistas foi examinado em (STEEDMAN, 1995) e também foi examinada a crítica epistemológica feita por Georgescu-Roegen ao marginalismo (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1954).

O conceito de entropia foi estudado a partir das concepções clássicas de Carnot e Clausius (WYLEN & SONNTAG, 1976) e então sob proposição estatística de Boltzmann (DEHMER & MOWSHOWITZ, 2011), (NASH, 1965). A questão do “demônio de Maxwell” foi estudada através da visão de síntese proposta por Ben-Naim (2012).

A teoria da informação, como proposta por Shannon foi estudada a partir dos trabalhos de (PIERCE, 1961), (BRILLOUIN, 1960), (STEWART, 2013) e (URO).

A síntese entre a entropia da informação proposta por Shannon e a entropia termodinâmica foi estudada sob a ótica de síntese proposta por Ben-Naim (2008,2008,2012) e Brillouin (1960, p. 152-161). Esse é um aspecto central do trabalho porque não existe consenso sobre se os conceitos de entropia termodinâmica segundo a formulação de Boltzmann e entropia da informação, segundo a formulação de Shannon, referem-se a dois fenômenos inteiramente distintos, ou se seria possível interpretar a ambos como manifestações, ou aplicações, distintas de um único fenômeno. Ao consolidar as duas formalizações sob um fenômeno único, Bem-Naim abre o caminho para uma abordagem capaz de conectar a análise econômica baseada na informação, com a análise econômica que busca utilizar a entropia termodinâmica como referencial.

(BEN-NAIM, 2012) não tratou especificamente das aplicações à economia da teoria da informação de Shannon, ou da questão da entropia e da segunda lei da termodinâmica. Mas forneceu uma contribuição significativa para a delimitação de todos esses conceitos e para uma análise das suas relações e interpretações. Para BEN-NAIM, a medida da informação de Shannon, que ele denomina como SMI (*Shannon's Measure of Information*), seria um subconjunto formal e objetivamente definido, do conjunto maior abarcado pelo uso corriqueiro da palavra informação. Já a entropia termodinâmica, esclarece ele, seria um subconjunto dentro do âmbito da SMI. O modelo conceitual de BEN-NAIM pode ser ilustrado como um diagrama de Venn:

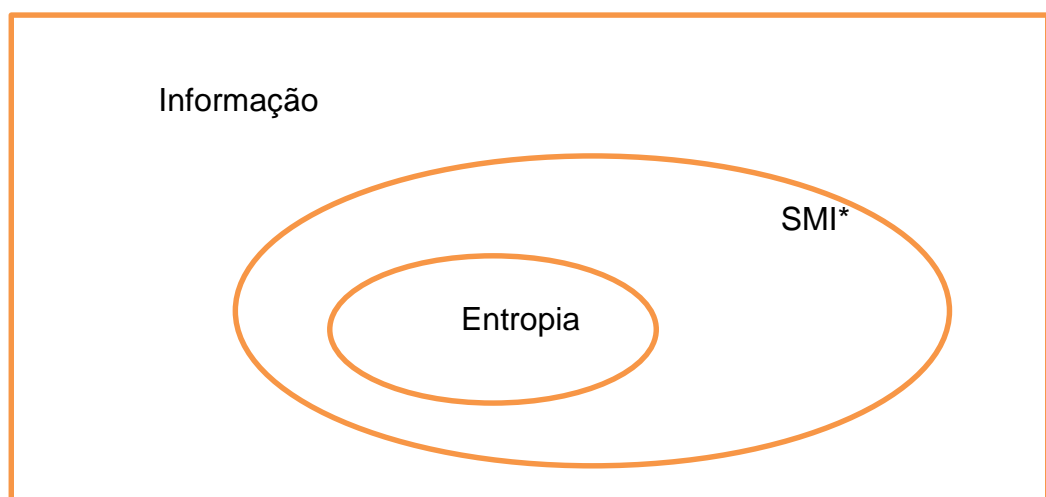


Figura 1-Modelo conceitual de BEN-NAIM onde (\*) SMI é o acrônimo para a Medida da Informação de Shannon, ou entropia da informação

A aplicação do conceito de entropia em economia foi estudada nos trabalhos de Georgescu-Roegen (1971, 2012) e interpretados por (CECHIN, A natureza como limite da economia: A contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen, 2010), (DALY H. E., Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? Yes of course it is!, 1992), (DALY H. E., Elements of environmental macroeconomics, 1991) (DOBIJA, 2005) (KÜMMEL, AYRES, & LINDENBERGER, 2010) (KüMMEL & LINDENBERGER, 2011) (McMAHON & MROZEK, 1997) (STRESING, LINDENBERGER, & KÜMMEL, Cointegration of output, capital, labor and energy, 2008) e também foi revisado o debate entre Daly e Young, a partir da crítica à

relevância da aplicação do conceito de entropia à economia que foi levantada por (YOUNG, 1991).

Qualquer rótulo que se pense em atribuir ao trabalho de Georgescu-Roegen, sobre a entropia e o processo econômico (GEORGESCU-ROEGEN N. , 2012) é certamente inadequado, já que se trata de material extenso, complexo e metucioso. Mas é razoável dizer que uma das suas principais características é uma visão materialista, na medida em que se atém aos conceitos físicos mais bem estabelecidos, como a entropia termodinâmica de Clausius. Nessa ótica a escassez é parte da natureza e é, em última instância, irreversível. Portanto, a missão da economia seria a de gerir adequadamente não apenas os recursos, mas também a demanda, com o objetivo de assegurar que o consumo dos recursos ambientais fosse conduzido de forma sustentável. A partir dos trabalhos de Georgescu-Roegen, são desenvolvidas elaborações por Daly, McMahon e Mrozek. Estas abordagens sofreram críticas de vários economistas ortodoxos como (YOUNG, 1991), que elaborou um modelo quantitativo com base nas premissas de Georgescu-Roegen e Daly, para avaliar a significância dos limites entrópicos na análise econômica, concluindo que apesar da coerência do argumento, a introdução da entropia em um modelos neoclássico não acrescentaria capacidades preditivas significativas ao modelo.

Por fim, a síntese entre economia, informação e entropia foi estudada nos trabalhos de (HAYEK, 1945) (DOBJIA, 2005), (MONTENEGRO, 2011), (SENGUPTA, 1993) e (THEIL, 1967). Ocorre que em todos estes trabalhos a controvérsia sobre a validade de se estabelecer uma identidade entre os conceitos de entropia termodinâmica e entropia da informação está longe de ser resolvida, ou mesmo claramente compreendida. Em alguns casos, como no trabalho de Georgescu-Roegen essa identidade é rejeitada a priori, em outros é adotada com alguma restrição (DOBJIA) ou então conclui-se pela criação de um conceito auxiliar que permita a sua utilização, como é o caso da Negentropia proposta por Brillouin.

AYRES (KÜMMEL, AYRES, & LINDENBERGER, 2010), abordou a questão da eficiência energética como parâmetro de decisão na seleção econômica de projetos. A abordagem de AYRES é um desdobramento prático da concepção de

Georgescu-Roegen. Nela a entropia termodinâmica é a moeda de referência na análise de retorno de investimento entre diversos projetos. Em especial nos projetos de geração de energia. Assim, projetos termodinamicamente mais eficientes, e portanto mais sustentáveis seriam melhor avaliados, mesmo que o retorno financeiro de curto prazo não se mostrasse o mais interessante. Mas para que esses projetos sejam favorecidos, a diferença entre o retorno entrópico e o retorno financeiro de curto prazo, precisaria ser coberta por uma compensação, como é o caso dos mercados de créditos de carbono. Outra observação é que AYRES utiliza uma ampliação do conceito das curvas de aprendizagem como referencial teórico que apoia o EROI (Energy Return of Energy Invested) como parâmetro quantitativo na análise econômica de investimentos.

(KÜMMEL & LINDENBERGER, 2011) propôs um modelo de crescimento econômico neoclássico considerando a energia (E) como um insumo que serviria de variável explicativa complementar a uma função de produção do capital (K) e trabalho (L). O argumento central é que em uma abordagem tradicional, como uma função Cobb-Douglas a ANOVA<sup>3</sup> demonstra que cerca de metade da variação não é explicável pelas variáveis K e L. Ao inserir a Energia como insumo na função de produção, a parte não explicável cai para a casa dos 10%, que então são atribuídos ao papel da inovação tecnológica. KUMMEL testa sua hipótese contra os dados de crescimento econômico de EUA, Japão e Alemanha no período entre 1955 e 2000, obtendo dados consistentes com o modelo proposto.

HAYEK (1945) discutiu a economia da informação sob a ótica da sua utilidade. Diferenciando a informação útil, que circularia e teria valor de mercado, a informação inútil. O trabalho de Hayek não faz nenhuma correlação com o conceito de medida de informação de Shannon. E é exatamente a falta de uma definição rigorosa para o conceito de informação que dificulta a instrumentalização da economia da informação de HAYEK para elaboração de políticas públicas efetivas, ou como apoio aos processos de tomada de decisão nas empresas.

---

<sup>3</sup> ANOVA: sigla em inglês para a técnica estatística de análise de variância - Analysis of Variance – onde são quantificadas as contribuições de cada parâmetro na variância total de uma medida.

CHEN (2002), citado por MONTENEGRO, discute a similaridade entre os conceitos de valor econômico da informação e da teoria da informação, buscando interpretar o papel do conhecimento detido previamente pelo agente de mercado, na interpretação da informação adicional por ele recebida, e de como as diferenças nos perfis dos agentes criam assimetrias de tal forma que o ideal neoclássico de competição perfeita seria uma impossibilidade.

THEIL (1967) utilizou o conceito de entropia da informação para avaliar o grau de concentração de mercado e o poder da firma em relação à quantidade de informação a qual a sua fração de mercado lhe assegura o acesso.

Para ARROW (1971) o valor da informação pode ser computado medindo-se a diferença na função utilidade para um agente econômico, com e sem a informação proveniente de um canal. Esta abordagem utiliza uma função de utilidade logarítmica que a aproxima do conceito de Shannon da medida da informação.

SENGUPTA (1993) utiliza uma abordagem econométrica para avaliar o impacto do processo de acumulação de conhecimento, em especial àquele decorrente da própria produção acumulada, para aferir quantitativamente o papel da informação em um modelo de crescimento econômico neoclássico. Ele utiliza dados de países recentemente industrializados do sudeste asiático, em particular da Coreia do Sul, para calcular o crescimento econômico de setores exportadores e não exportadores, considerando nos setores exportadores o acúmulo de informação proveniente tanto dos volumes de produção aumentados, quanto da exposição a ambientes concorrenciais mais agressivos. A análise dos dados mostra resultados consistentes com o modelo de crescimento econômico proposto por SENGUPTA, baseado em um modelo criado a partir de pressupostos da teoria Schumpeteriana da inovação e crescimento econômico.

Além das abordagens apresentadas, é possível encontrar uma extensa bibliografia onde há aplicações de alguns conceitos da teoria da informação baseada na medida da informação de Shannon, em finanças, avaliação de ativos, análise da concorrência, análise de comportamento de preços e métodos econométricos, como o critério de informação de Akaike e filtro de Kalman.



### 3 O CONCEITO DE VALOR

#### 3.1 O DEBATE ENTRE CARL E KARL

O conceito de valor está na base da teoria econômica desde Adam Smith (SAAD, 2003), passando por David Ricardo (RICARDO, 1817) e gerando a partir daí duas abordagens muito diferentes para a sua formalização. Ao mesmo tempo esse conceito está no centro de um debate acalorado que parece longe de uma resolução hoje, tanto quanto no fim do século XIX (CLARK, 1915).

Parte do debate tem um caráter filológico em torno da palavra valor e da sua utilização mais ou menos estrita. Mas por trás desse debate há outro, ligado a duas epistemologias distintas. De modo que a discussão remete invariavelmente a um confronto acerca da autoimagem do ser humano e como ele percebe sua relação com o mundo onde está inserido.

Em uma das abordagens, que remonta à Heráclito e Platão (POPPER, 1974), o ser humano seria potencialmente capaz de conhecer não apenas o mundo material à sua volta, mas também de representá-lo idealmente. Assumindo uma capacidade humana de conhecer a essência que rege o mundo, e com isso afetar a relação do homem com a história.

Na outra abordagem o ser humano detém uma capacidade restrita para conhecer uma realidade, infinitamente complexa e mutável. A esse ser humano limitado, o que resta fazer é elaborar modelos suficientemente bons para serem ferramentas. As quais têm uma finalidade específica e estão eternamente sujeitas a serem ampliadas e melhoradas.

Então é possível contrapor o conceito de valor entre aquele utilizado numa abordagem que assume conhecer a sua essência, como a descrita por Marx no capítulo I de “O Capital”, e uma abordagem que restringe o conceito de valor a apenas uma “percepção” humana. Esse é o conceito usado pelos marginalistas, em especial por Carl Menger em seus “Princípios de Economia”.



Quase contemporâneos, tendo sido publicados em 1867 e 1871. “O Capital” e os “Princípios de Economia” são o ponto de partida de duas escolas de teoria econômica, tão diferentes que alguma síntese só poderia ser feita extirpando-se parte de uma delas. Ou das duas. (STEEDMAN, 1995).

O volume I de O Capital foi publicado, em alemão, em 1867, apenas quatro anos antes dos Grundsätze de Menger, de Theory de Jevons, e sete anos antes dos Eléments de Walras...Não há evidência conhecida de que Karl Marx estivesse familiarizado com estes trabalhos, ou travado alguma discussão sobre eles. (STEEDMAN, 1995)<sup>4</sup>

Este artigo descreve alguns aspectos distintivos dessas duas abordagens ao fenômeno econômico do valor. Buscando, como resultado do esforço descritivo, discutir o propósito das escolhas metodológicas dos autores, e como essas escolhas afetaram os conceitos que ajudaram a moldar.

O artigo se inicia com uma breve contextualização. Descreve em uma segunda parte, a metodologia Marxiana. Depois é feita uma descrição do método adotado por Menger nos “Princípios”. É feita uma análise de um caso prático com base nas interpretações de Marx e Menger para um caso comum. Encerra-se com um resumo comparativo dos conceitos de valor apresentados pelos dois autores.

### 3.2 O MÉTODO EM “O CAPITAL”

A dialética aparece como método de exposição de um argumento filosófico por excelência em Platão (PLATÃO, 1991, p. 292), assumindo em Heráclito o caráter de concepção filosófica, mais do que apenas uma abordagem metodológica (KONDER, 1981, p. 5) e sendo reelaborada por Hegel através do conceito de superação dialética (KONDER, 1981, p. 12).

---

<sup>4</sup> Volume I of Capital was published, in German, in 1867, only four years prior to Menger's Grundsätze and Jevons's Theory, and seven years prior to Walras's Eléments....There is no evidence known to me that Karl Marx became acquainted with these works and entered into a discussion of them.

Para expressar a sua concepção da superação dialética, Hegel usou a palavra alemã *aufheben*, um verbo que significa suspender....Hegel emprega a palavra com os três sentidos diferentes ao mesmo tempo. Para ele, a superação dialética é simultaneamente a negação de uma determinada realidade, a conservação de algo de essencial que existe nessa realidade negada e a elevação dela a um nível superior. (KONDER, 1981, p. 13)

Alguns desses conceitos aparecem mais claramente em SEWELL (1994), para quem a dialética hegeliana opera segundo as categorias a seguir:

**Quantidade em qualidade:** Como nenhum processo de mudança ocorre linearmente, toda mudança resulta de uma acumulação de um elemento quantitativo até que, em determinado volume crítico, essa acumulação precipita uma mudança qualitativa no sistema.

**Identidade dos opostos:** “Os opostos estão ligados em uma relação de mútua dependência, onde cada um é a condição para a existência do outro”.

**Negação da negação:** A resolução do conflito se dá pela negação das premissas que negavam outras premissas.

Segundo (PICKARD), essa estrutura lógica deveria ser capaz de estabelecer as causas-primárias do desenvolvimento de um sistema. Sem a sua utilização, a ciência ver-se-ia na situação incômoda de que, ao final de uma longa cadeia silogística não haveria nenhuma causa raiz identificada, quando então seria forçada a apelar para a presença confortadora de Deus. Pickard afirma que filósofos e cientistas “burgueses” assumem o sistema como um dado do problema. Em especial o sistema capitalista.

Por outro lado a dialética hegeliana é criticada pela sua complexidade, que torna seu uso difícil:

Com semelhante configuração [a hegeliana], a dialética era imprestável ao trabalho científico e, por isso mesmo, foi sepultada no olvido pelos cientistas, que a preteriram em favor do positivismo. Quando deu à dialética a configuração materialista necessária, Marx expurgou-a das propensões

especulativas e adequou-a ao trabalho científico. (GORENDER, 1996, p. 23)

Ou mesmo perigoso:

Eu percebia a natureza um pouco intemperante e desavergonhada da dialética hegeliana: tese e antítese produzem uma síntese. Ali havia sempre um terceiro termo que superava euforicamente a contradição. A dialética permanecia uma ideia preciosa, mas, a partir de então, eu enxergava seu perigo: ela podia desapegar-se das amarras do real e resolver as contradições por meio de prestidigitações. Ao mesmo tempo, meus estudos antropológicos, em *O homem e a morte*, em *O cinema* ou *o homem imaginário*, ajudaram-me a compreender a irreduzibilidade das contradições. (MORIN, 2013, p. 84)

Então a característica que torna a dialética um método inadequado para o trabalho científico acadêmico é justamente a que a torna útil como ferramenta pedagógica. A estrutura da exposição do argumento na construção de uma visão sistêmica (SCHEINKOPF, 2002).

Na dialética a exposição não segue uma trajetória linear a partir de uma hipótese inicial que é corroborada ou refutada com base em uma cadeia silogística, requisito essencial para quem está interessado em reproduzir um experimento ou (in)validar uma teoria.

Ao invés disso, segue um raciocínio pendular, onde a partir de cada tese, busca-se sua antítese, para tornar explícito um conflito ou contradição. Daí, são examinadas as premissas que sustentam cada uma das condições de existência do conflito. No método dialético, o exame dessas premissas vai conduzir à identificação de uma instância externa ao sistema analisado, a qual unifica as premissas incompatíveis dissolvendo o conflito em uma realidade mais abrangente.

Essa nova realidade ampliada por sua vez, também deve ser submetida à crítica em busca de suas próprias contradições, que serão resolvidas em uma instância ainda mais abrangente. De modo que é possível dizer que o método dialético busca a construção de uma visão sistêmica, ou ainda melhor, holística, em contraposição a uma construção puramente analítica do conhecimento.

O que vemos aqui é um padrão no modo de argumentação, um desdobramento gradual do argumento que opera através de contraposições que são consolidadas em suas unidades (como a forma dinheiro) que internalizam a contradição, a qual, por sua vez, gera uma nova dualidade (a relação entre processos e coisas, relações materiais entre pessoas e relações sociais entre coisas)...Isto não é a lógica Hegeliana em seu sentido estrito, porque não há um momento de uma síntese final, apenas o momento temporário de uma unidade dentro da qual outra contradição de outra dualidade está internalizada e então requer a subsequente expansão do argumento a ser compreendido<sup>5</sup> (HARVEY, 2010).

É interessante observar, que no contexto da época de Marx, o ferramental desenvolvido no campo das ciências “duras” para uma descrição formal da realidade implicava em restrições importantes no campo das ciências sociais. Em especial no que diz respeito à sua capacidade de formalizar sistemas ao mesmo tempo não lineares, transientes e recursivos.

Entretanto a adoção do método dialético por Marx, não é apenas uma escolha instrumental que o capacitasse a lidar com aspectos da realidade econômica que não poderiam ser relegados, mas que ao mesmo tempo não poderiam ser descritos linearmente e estariam, portanto, além das possibilidades de formalização quantitativa disponível à época. Para Marx a realidade é dialética e, portanto, este seria o método científico por excelência.

Por outro lado, ou talvez por isso, a dialética é vista dentro da literatura marxista, como uma ferramenta qualitativamente superior à lógica formal estrita (GORENDER, 1996, p. 24):

---

<sup>5</sup> What we see here is a pattern in the mode of argumentation, a gradual unfolding of the argument that works through oppositions that are brought back into unities (like the money-form) that internalize a contradiction which in turn generates yet another duality (the relationship between processes and things, material relations between people and social relations between things)...This is not Hegelian logic in the strict sense, because there is no final moment of synthesis, only a temporary moment of unity within which yet another contradiction-a duality-is internalized and then requires a further expansion of the argument if it is to be understood

Não obstante, seja frisado, a lógica formal está para a lógica dialética, na obra marxiana, assim como a mecânica de Newton está para a teoria da relatividade de Einstein. Ou seja, a primeira aplica-se a um nível inferior do conhecimento da realidade com relação à segunda.

Outra modificação em relação à dialética Hegeliana é o pressuposto da unidade dos contrários, adotado por Marx em substituição à igualdade dos contrários utilizada por Hegel (GORENDER, 1996, p. 24):

Sem dúvida, é preciso frisar também que Marx rejeitou a identidade hegeliana dos contrários, distinguindo tal postulado idealista de sua própria concepção materialista da unidade dos contrários (a este respeito, tem razão Godelier quando aponta a confusão em certas formulações de Lênin e Mao-Tse-Tung sobre a “identidade dos contrários”).

Segundo GORENDER (1996) então, a modificação proposta por Marx teria o objetivo de usar a lógica dialética em uma abordagem materialista. Afirmativa corroborada pelo próprio Marx que é explícito nesse sentido (MARX, 1883, p. 140):

Por sua fundamentação, meu método dialético não só difere do hegeliano, mas é também a sua antítese direta. Para Hegel, o processo de pensamento, que ele, sob o nome de ideia, transforma num sujeito autônomo, é o demiurgo do real, real que constitui apenas a sua manifestação externa. Para mim, pelo contrário, o ideal não é nada mais que o material, transposto e traduzido na cabeça do homem.

Essa posição materialista aproxima o método usado em “O Capital” dos pressupostos positivistas de objetividade e materialidade (MILL, 1865), na medida em que evita cuidadosamente qualquer elaboração que não esteja solidamente assentada sobre um conjunto de “dados materiais” ou concretos (HARVEY, 2010, p. 7):

A metodologia de Marx se inicia com tudo o que existe, com a realidade como é experimentada, bem como com todas as descrições disponíveis dessa experiência por economistas políticos, filósofos, romancistas e similares<sup>6</sup>

Marx chama a esses dados fatuais de “concretos”. Esses “concretos” ou suas representações, os “concretos abstratos” são submetidos a um processo de análise, que consiste em mapear o conjunto das relações sociais às quais estão conectados:

É num tal processo de progressiva determinação de relações (“descoberta pela análise, de relações”, nas palavras de Marx que acima referimos) é nisto que consiste a elaboração do Conhecimento, O seu ponto de partida. O Conhecimento não é de coisas, entidades, seres, a sua essência — Como propõe a Metafísica; e sim de tais relações que se trata de descobrir, apreender e representar mentalmente. (PRADO Jr, 1963)

Essas relações seriam “objetivas” na medida em que seus efeitos são observáveis, ou mesmo, quantificáveis. Adotando essa posição, com o objetivo de *converter o projeto político radical, daquilo que considerava mais um utopia socialista superficial, em um comunismo científico* (HARVEY, 2010, p. 7).

Essa busca de objetividade por Marx estabelece uma demarcação metodológica, impondo um limite ao alcance possível da dialética materialista. O requisito de objetividade faz com que Marx tenha que excluir de sua análise toda discussão sobre a psicologia da atribuição de valor pelo indivíduo, já que trata-se de um fenômeno imaterial e subjetivo.

A mercadoria é, antes de tudo, um objeto externo, uma coisa, a qual pelas suas propriedades satisfaz necessidades humanas de qualquer espécie. A natureza dessas necessidades, se elas se originam do estômago ou da fantasia, não altera nada na coisa (MARX, 1883, p. 165).

---

<sup>6</sup> Marx's method of inquiry starts with everything that exists-with reality as it's experienced, as well as with all available descriptions of that experience by political economists, philosophers, novelists and the like.

A pedagogia da dialética marxiana pode ser mais bem entendida através de um exemplo extraído de O Capital: o conflito entre valor de uso e valor de troca, ao longo do processo de circulação de mercadorias.

O diagrama a seguir 'e chamado "diagrama de nuvem" e segue a metodologia desenvolvida por (GOLDRATT, 1994) e descrita por (SCHEINKOPF, 2002), e torna explícito que, para que ocorra uma troca de mercadorias entre um vendedor e um comprador, o valor de uso para o comprador ( $VU_c$ ) tem que ser maior do que o valor de uso para o vendedor ( $VU_v$ ) do contrário o vendedor deixa de ter interesse em se desfazer do bem. Ao mesmo tempo, vendedor e comprador têm de concordar com um único valor de troca ( $VT_c = VT_v$ ).

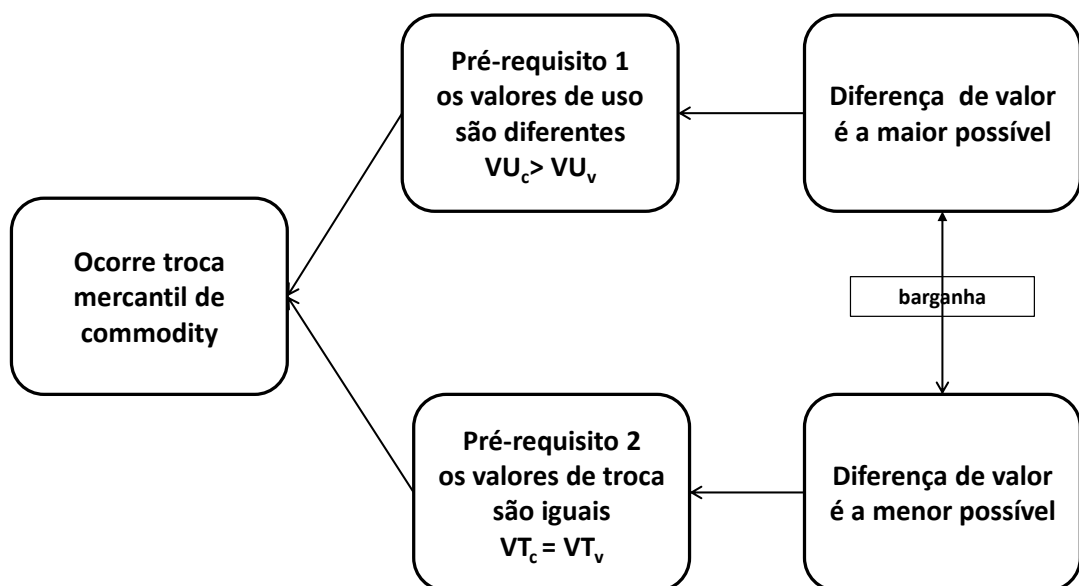


Figura 2 - Diagrama de nuvem para o conflito da economia clássica

Na abordagem marginalista esse conflito não é resolvido, mas apenas mediado por um processo de negociação (barganha) em que comprador e vendedor atingem uma solução de consenso. Nela algum nível de perda ou ganho acaba

sendo aceito por ambas as partes. O que em um ambiente hipotético seria uma solução ótima, mas que no mundo real incorpora todas as assimetrias de poder e informação, fazendo com que a troca resultante, na prática, possa ser discutida sob um juízo de valor, a depender dos parâmetros utilizados.

Para Marx, que tinha em mente uma demonstração científica do caráter evolucionário e inexorável do capitalismo em direção ao socialismo, era necessário buscar uma resolução efetiva do conflito. O que é feito pela demonstração de que o conflito só ocorre como a aparência de duas premissas opostas, enquanto que na essência trata-se de duas manifestações de um único fenômeno: O valor como expressão do trabalho socialmente necessário.

Assim, o valor de troca, relativo e que flutua segundo as ondas de oferta e demanda, não passa da manifestação de um “conteúdo dele distinguível” (MARX, 1883) que seria o conteúdo de trabalho embutido no material.

Note-se que essa definição de valor está em outra instância, externa ao sistema descrito no diagrama de nuvem. Marx então vai conduzir o leitor à percepção de que esta definição também encerra um conflito de premissas (trabalho concreto versus trabalho médio abstrato) que por sua vez será resolvido em outra nova instância. Ou seja a pedagogia de Marx leva o leitor progressivamente através de uma cadeia de contradições que vão se desdobrando em um modelo estrutural, ou sistêmico, da economia e da sociedade. Como já foi visto, a construção do argumento em O Capital foi a de assegurar o embasamento científico ao socialismo-comunismo, demonstrando que esse modo de organização seria uma decorrência natural das forças em ação sobre o conjunto dos indivíduos.

### 3.3 O CONCEITO DO VALOR EM MARX

Marx faz a distinção entre o valor de troca do valor de uso, e ambos do valor, que seria uma instância superior do conflito dialético entre os dois.

Esse valor, imaterial, resultaria do trabalho, mais especificamente, do que ele denomina trabalho abstrato.



Para (CARCANHOLO, 2011), Marx desenvolve uma versão modificada da teoria do valor-trabalho de Ricardo, que é tratada dialeticamente para constituir o conceito de capital e explicar os mecanismos da alienação do trabalho.

O valor tem um papel essencial na crítica marxista do capitalismo. Esse conceito não é simples, e ele tem sido interpretado de várias maneiras: “virtualmente todas as controvérsias na economia marxista são, no fundo, controvérsias sobre a natureza e o status da teoria do valor (SAAD, 2011, p. 13)

Em seu artigo (CARCANHOLO, 2011) enumera alguns aspectos centrais da teoria do valor de Marx:

- A teoria marxista do valor não é uma simples teoria dos preços, mas da natureza da riqueza capitalista.
- Valor e valor de troca são conceitos total e absolutamente diferentes.
- valor de uma mercadoria não é a quantidade de trabalho socialmente necessário para produzi-la. O valor não pode ser definido.
- Se inicialmente ele pode ser descrito como a propriedade social das mercadorias que consiste em seu poder de compra, converte-se em entidade com vida própria.
- Os preços das mercadorias não são proporcionais nem ao valor nem à quantidade de trabalho. São determinados pelo jogo da oferta e demanda.

Já (SAAD, 2003) descreve o conceito marxista de valor como um fenômeno resultante das interações sociais, mas que parece, a exemplo da afirmativa de Carcanholo, ser dotado de anima:

O valor não é um produto da natureza ou uma substância fisicamente embutida nas mercadorias. O valor é uma relação social entre os produtores mercantis, que aparece na forma de valor de troca, uma relação entre as coisas (especificamente, o valor aparece através dos preços das mercadorias, ou seja, através da relação entre os produtos e a moeda, explicada acima). Bens e serviços possuem valor apenas em certas

circunstâncias históricas e sociais – uma parte infinitesimal da história humana. A relação valor desenvolve-se por completo apenas no capitalismo, em paralelo com a produção de mercadorias, o uso do dinheiro, a difusão do trabalho assalariado, e a generalização de direitos de propriedade baseados em relações mercantis. Nesse momento histórico, o valor subordina as demais relações econômicas e sociais. Por exemplo, as relações de valor regulam a atividade econômica, limitam a estrutura da produção e do emprego, e restringem o bem-estar social. (SAAD, 2003)

Esse tratamento fenomenológico do valor pela ótica Marxista demonstra uma preocupação de Marx em aproximar a análise econômica das demais ciências naturais, com o valor assumindo o caráter de uma lei natural. Neste sentido guardaria um paralelo com a gravitação universal, a transformação da matéria, a conservação da energia ou a evolução das espécies. Então a pretensão Marxiana seria desvendar o enunciado fundamental da economia, dentro do modo de produção capitalista<sup>7</sup>.

Intrinsecamente, a questão que se debate aqui não é o maior ou menor grau de desenvolvimento dos antagonismos sociais oriundos das leis naturais da produção capitalista, mas estas leis naturais, estas tendências que operam e se impõem com férrea necessidade. (MARX, 1883, p. 16)

Ainda quando uma sociedade tenha desvendado o significado da lei natural que rege seu movimento – e o objetivo final desta obra é descobrir a lei econômica do movimento da sociedade moderna... (MARX, 1883, p. 18)

---

<sup>7</sup> Conforme SAAD (2011, p.66) , Marx limita a sua análise ao modo de produção capitalista. As menções a outros modos de produção têm por finalidade ilustrar algum ponto do argumento ou traçar a evolução histórica até o modo de produção capitalista.

Ainda a exemplo da gravidade, que pode ser medida indiretamente pela aceleração de um objeto, o valor teria que ser medido indiretamente, pelos seus impactos nas relações sociais e pelas variações entre valor de uso e valor de troca.

...valor é imaterial, mas objetivo. Isso cria uma série de problemas para uma lógica de bom senso, que assume que o valor pode realmente ser medido. Mesmo alguns economistas marxistas, despendem bastante tempo explicando como podem fazê-lo. Minha posição é: Não podem. Se é imaterial, você não pode medi-lo diretamente. Tentar encontrar valor em um produto apenas olhando para ele, é como tentar encontrar a gravidade em uma pedra. (HARVEY, 2010)<sup>8</sup>

Essa concepção é utilizada por diversos trabalhos marxistas, que tratam especificamente da “Lei do Valor”, seja do ponto de vista instrumental), seja em uma busca de uma definição quantitativa (.

Entretanto, talvez por conta da liberdade de interpretação que o texto de Marx aceita, a concepção marxista do valor frequentemente extrapola a ideia de valor como um fenômeno natural e passa a caracterizá-lo como um ente. Algo que assume “vida própria” no tempo e que influencia o transcurso histórico na medida em que modela as relações de poder:

É verdade que o valor, durante um certo período pode ser descrito (nunca definido) como uma característica, um adjetivo, uma qualidade social. Trata-se de algo que existe no interior da mercadoria e não pode desprender-se dela; a destruição da mercadoria é sua destruição. Mas tudo isso é correto na etapa de seu desenvolvimento anterior à sua maturidade. Esta só é alcançada quando ele se transforma em capital. É isso mesmo, o capital é simplesmente valor, só que um valor mais desenvolvido, que já alcançou sua maturidade. Ele agora é capaz de se reproduzir, produzir seus filhinhos (a mais-valia).

---

<sup>8</sup> ...value is immaterial but objective. Now, this creates quite a lot of problems for commonsense logic that assumes value can actually be measured; even some Marxist economists spend a lot of time explaining how they can do so. My argument would be: you can't do it. If it is immaterial, you cannot measure it directly. To find value in a commodity by just looking at a commodity is like trying to find gravity in a stone.

Ele, agora, já não é mais uma simples propriedade social ou um simples adjetivo da mercadoria. Ele adquiriu vida própria, transformou-se em ser com vida própria. Ele não perece com a mercadoria que lhe porta, ele agora é eterno, ou melhor, pretende ser eterno. Ele saiu da infância e adquiriu sua maturidade; é o que Marx chama de “substantivação do valor” (de adjetivo, transformou-se em substantivo) quando o valor se converte em capital.

O valor-capital agora existe em si e para si. Utiliza-se das formas corpóreas das mercadorias e do dinheiro, mas não se confunde com elas. Ele se transforma não só em ser com vida própria: passa a ser o sujeito da sociedade e da história e transforma o ser humano em mero aspecto seu. (CARCANHOLO, 2011)

O risco de desdobrar o caráter imaterial do valor em uma entidade metafísica, amadurecida na forma de capital, fica mais explícito na afirmação seguinte:

...o capital aparece como um poderoso ser que nem mesmo precisa da materialidade das mercadorias para sua existência. Ele aparece como algo total e absolutamente abstrato, desprovido de substancia material, mas que existe realmente e está aqui... (CARCANHOLO, 2011)

Por fim podemos resumir o conceito de valor, que Marx segrega dos conceitos de valor de uso e valor de troca, como sendo uma propriedade intrínseca. Mas não intrínseca à matéria ou a uma mercadoria em especial, e sim a uma dada sociedade e momento histórico. O valor nesse caso é a forma idealizada das condições que definem a produtividade do trabalho do indivíduo.

Esse valor, imaterial mas objetivo, afeta as relações entre os indivíduos e as relações entre esses indivíduos e as mercadorias. Como as relações entre os indivíduos de uma sociedade são sempre de mútua dependência, o valor operaria de forma idêntica sobre todos os indivíduos, o que demonstraria a validade do projeto político marxiano a partir de uma formulação científica.

### 3.4 O CONCEITO DE VALOR EM MENGER

Igualmente preocupado com o caráter científico de seu trabalho, Menger vai iniciar sua exposição através de um reducionismo explícito:

No que se segue, eu procurei reduzir o fenômeno complexo da atividade econômica humana aos seus elementos mais simples, os quais ainda sejam passíveis de observação acurada, para aplicar a estes elementos a mensuração adequada à sua natureza<sup>9</sup>. (MENGER, 1871, p. 46)

Além de reducionista, o método de Menger é essencialmente positivo, com base nos pressupostos da continuidade do progresso através da ciência, e de um observador externo e imparcial:

O observador imparcial não tem como duvidar dos motivos que nossa geração tem para entusiasticamente reverenciar o progresso no campo das ciências naturais<sup>10</sup>. (MENGER, 1871, p. 45)

Outra característica importante da posição de Menger é a consciência das limitações de escopo que adota e das limitações das “ciências naturais” em estabelecer um modelo unificado da compreensão do mundo:

Ainda que se afirme, como justificativa destes esforços, que a tarefa da nossa era é a de estabelecer as interconexões entre todos os campos da ciência, e de unificar seus princípios mais importantes, eu gostaria de questionar seriamente a

---

<sup>9</sup> In what follows I have endeavored to reduce the complex phenomena of human economic activity to the simplest elements that can still be subjected to accurate observation, to apply to these elements the measure corresponding to their nature

<sup>10</sup> The impartial observer can have no doubt about the reason our generation pays general and enthusiastic tribute to progress in the field of the natural sciences.

competência dos nossos contemporâneos para resolver tal problema<sup>11</sup>. (MENGER, 1871, p. 47)

É por esse caminho que Menger interpreta o valor ricardiano como um resultado do processamento de um conjunto de informações pelo indivíduo. Sendo esse conjunto de informações obrigatoriamente circunstanciado, incompleto, inconsistente e incorreto.

O erro é inseparável de todo conhecimento humano<sup>12</sup>. (MENGER, 1871, p. 148).

A percepção da impossibilidade de um conhecimento completo ou exato, e o erro de avaliação subsequente, pode ser considerada uma contribuição significativa de Menger para a construção de uma economia política baseada no indivíduo e em sua interação com a comunidade. Já que o conhecimento da realidade e sua essência seria inalcançável, então o indivíduo seria forçado a atuar, caso a caso, interagindo com os demais indivíduos, e nesse processo o papel central é o da comunicação.

Então um processo de diálogo é que vai obter, na margem, a melhor aproximação possível do valor de qualquer produto. Esse valor não é universal, fixo ou mesmo “justo”. É apenas o valor de um acordo, para dois indivíduos específicos, em um momento específico e dentro de um contexto específico. Incorpora todas as assimetrias do contexto em que a transação ocorre. Ao fazer isso, Menger descarta o valor como uma propriedade intrínseca dos bens:

Observei que o valor não é algo inerente aos produtos e não é uma propriedade dos produtos. Mas ao mesmo tempo também não é uma coisa independente.<sup>13</sup> (MENGER, 1871, p. 145)

---

<sup>11</sup> If it is stated, in justification of these efforts, that the task of our age is to establish the interconnections between all fields of science and to unify their most important principles, I should like to question seriously the qualifications of our contemporaries to solve this problem.

<sup>12</sup> Error is inseparable from all human knowledge.

Mais ainda. Dado que é uma percepção subjetiva, torna-se incomensurável:

Desde que não apenas a natureza do valor, mas também sua medição é subjetiva...<sup>14</sup> (MENGER, 1871, p. 146)

Isso significa também que o valor não é a expressão nem do trabalho nem dos materiais ou mesmo da energia, embutidos no processo de obtenção de um produto, e com isso ele rompe definitivamente com a teoria clássica do valor-trabalho:

Não há uma relação necessária ou direta entre o valor de um bem e se, ou em que quantidades, trabalho e outros insumos são aplicados à sua produção.<sup>15</sup> (MENGER, 1871, p. 146)

As quantidades de trabalho ou de outros insumos aplicados à sua produção não podem portanto, ser consideradas como fatores determinantes do valor de um bem. A comparação do valor de um bem com o valor dos meios de produção utilizados na sua elaboração pode, é claro, demonstrar se e em que extensão, a sua produção, resultante de atividade humana anterior, foi pertinente ou econômica. Entretanto as quantidades dos insumos empregados na produção de um bem não têm influência necessária ou direta na determinação do seu valor.<sup>16</sup> (MENGER, 1871, p. 147)

Em relação ao método, Menger constrói sua argumentação linearmente a partir de uma descrição da estrutura da cadeia de negócios, da produção até a comercialização.

---

<sup>13</sup> I observed that value is nothing inherent in goods and that it is not a property of goods. But neither is value an independent thing.

<sup>14</sup> Hence not only the nature but also the measure of value is subjective.

<sup>15</sup> There is no necessary and direct connection between the value of a good and whether, or in what quantities, labor and other goods of higher order were applied to its production.

<sup>16</sup> The quantities of labor or of other means of production applied to its production cannot, therefore, be the determining factor in the value of a good. Comparison of the value of a good with the value of the means of production employed in its production does, of course, show whether and to what extent its production, an act of past human activity, was appropriate or economic. But the quantities of goods employed in the production of a good have neither a necessary nor a directly determining influence on its value.

Nessa descrição os bens são classificados em “ordens”, ou seja, pela sua relação mais ou menos direta com o consumidor final. De tal forma que itens de consumo imediato são de primeira ordem, enquanto que para serem obtidos esses itens requerem insumos de segunda ordem, que por sua vez requerem insumos de terceira ordem para serem preparados. Em termos contemporâneos, podemos dizer que Menger estava descrevendo a estrutura das cadeias logísticas de produção. Na verdade ele vai um pouco além da descrição, quando, ao contrário de Marx, demonstra compreender um papel para os agentes econômicos ligados às operações de transporte, distribuição, planejamento e processamento de informações.

Assim que uma sociedade atinge algum nível de civilização, a crescente divisão do trabalho causa o desenvolvimento de uma classe em especial de profissionais, que opera como intermediária nas trocas e realiza para os demais membros da sociedade, não apenas a parte mecânica das operações comerciais (transporte, distribuição, armazenamento das mercadorias, etc.), mas também a tarefa de manter registros das quantidades disponíveis. (MENGER, 1871)<sup>17</sup>

### 3.5 AS DIFERENTES ABORDAGENS NA PRÁTICA:

Por seu lado, é inevitável a identificação da influência sobre Marx da *naturphilosophie*, não só pela utilização de uma versão modificada da dialética hegeliana, mas principalmente pela amplitude colossal do seu objeto de estudo. A ideia de uma compreensão da sociedade capitalista como um todo, só faz sentido para uma ciência que busca uma visão holística de um mundo estruturado “organicamente”.

---

<sup>17</sup> As soon as a society reaches a certain level of civilization, the growing division of labor causes the development of a special professional class which operates as an intermediary in exchanges and performs for the other members of society not only the mechanical part of trading operations (shipping, distribution, the storing of goods, etc), but also the task of keeping records of the available quantities.



Um exemplo da diferença entre a abrangência de cada uma das abordagens pode ser observada comparando-se a discussão feita por ambos (MARX, 1883, p. 517) (MENGER, 1871, pp. 62,86) de um mesmo fenômeno: A crise da indústria têxtil inglesa, em decorrência da interrupção do suprimento de algodão causada pela Guerra de Secessão Norte-Americana (1861-1865).

Enquanto para Marx essa crise foi contextualizada dentro de um panorama amplo do caráter cíclico da economia sob o sistema capitalista. Para Menger a análise restringiu-se a uma ilustração do princípio da complementaridade entre bens econômicos.

Marx estende-se ao longo de várias páginas em um processo de inferência que partindo do impacto da crise sobre as condições de trabalho e remuneração, vai descrever todo um quadro de degradação física e moral dos trabalhadores. Ao mesmo tempo relaciona uma série de práticas dos empregadores, tudo isso utilizando uma prosa que conduz ao julgamento moral dos atores e a subsequente condenação do sistema onde estão inseridos.

Em sua análise, Menger utiliza este caso para exemplificar as relações entre os bens dos diversos níveis, relacionando as demandas de bens de segundo nível (trabalho, máquinas) com a disponibilidade de insumos para os bens de primeiro nível (tecido). Na medida em que não há suprimento de insumos, ainda que a demanda de tecido se mantenha estável, a demanda por trabalho e máquinas é afetada.

Comparativamente a análise de Menger é mais precisa em identificar os mecanismos de causa e efeito e as relações entre os diversos participantes do processo, assim como é capaz de identificar que restabelecido o suprimento de material, a demanda de máquinas e trabalho foi então restaurada.

Por outro lado a análise de Marx estende-se muito além do fenômeno observado, inferindo relações de causalidade não apenas na estrutura do negócio, mas em como estes efeitos propagaram-se para além do âmbito econômico, afetando as relações sociais e as atitudes individuais.

Do ponto de vista do posicionamento ideológico. Marx não se priva de, a partir da sua própria base moral, estabelecer um juízo de valor das atitudes de trabalhadores e de empregadores já que o comportamento dos atores é deduzido logicamente a partir do contexto em que estão inseridos.

Não pinto, de modo algum, as figuras do capitalista e do proprietário fundiário com cores róseas. Mas aqui só se trata de pessoas à medida que são personificações de categorias econômicas, portadoras de determinadas relações de classe e interesses. Menos do que qualquer outro, o meu ponto de vista, que enfoca o desenvolvimento da formação econômica da sociedade como um processo histórico-natural, pode tornar o indivíduo responsável por relações das quais ele é, socialmente, uma criatura, por mais que ele queira colocar-se subjetivamente acima delas.

Para Marx, esse juízo é sobre a “classe”, assumindo que o comportamento individual não pode sobrepujar as forças materiais às quais está submetido. Muitas vezes, esse julgamento não é explícito, mas implícito na descrição que realiza.

Mesmo nessas condições miseráveis, não se esgotava o talento que tinham os fabricantes em inventar reduções salariais. (MARX, 1883, p. 519)

Menger adota um posicionamento ideológico diferente, ao restringir suas observações exclusivamente à cadeia de causa e efeito das variáveis que observava. De tal forma que em sua análise não há nenhuma referência às implicações sociais e políticas decorrentes da crise. Ao fazer essa restrição, busca manter a postura do observador imparcial e externo ao processo. Entretanto trai seu esforço. A observação final de que a demanda por trabalho tenha sido restaurada assim que o suprimento de algodão foi restaurado, soa quase como um pedido de desculpas<sup>18</sup>.

---

18 É notável que tanto Marx quanto Menger se veem obrigados a estabelecer um corte nas suas cadeias de causa e efeito. Para Menger, entretanto, estender sua análise dependeria, por exemplo,

Entretanto, assim que as importações de algodão cru foram retomadas, a necessidade efetiva por esses insumos também experimentou uma retomada – na exata extensão, é claro, em que havia sido reduzida.<sup>19</sup> (MENGER, 1871, p. 86)

### 3.6 A DIFERENÇA DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS DE MARX E MENGER:

Desde que o valor não pode ser caracterizado como uma propriedade material, todas as teorias a respeito desse conceito foram baseadas em inferência.

É este o caso tanto para Marx quanto para Menger. Note-se que mesmo Menger, apesar da sua abordagem mais próxima do positivismo, não chega ao extremo de negar a existência do fenômeno valor (e de suas formas menos abstratas: valor de uso e valor de troca) como alguns contemporâneos aos quais faz referência:

Se então, um grande número de economistas atribui valor de uso (ainda que não valor de troca) a bens não econômicos, e se alguns economistas recentes, ingleses e franceses, desejem mesmo banir inteiramente o conceito de valor de uso da ciência econômica e vê-lo substituído pelo conceito de utilidade, seu desejo repousa sobre uma má compreensão da importante diferença entre os dois conceitos, assim como dos fenômenos a eles subjacentes.<sup>20</sup> (MENGER, 1871, p. 119)

---

de identificar o impacto que a escassez de algodão causou no preço cobrado pelas mesmas prostitutas que Marx menciona na pág.521. Por outro lado para Marx, uma extensão da análise identificaria as pressões de endividamento as quais atuando sobre os industriais que, como menciona na pág.519, eram em sua maioria pequenos empresários e se viram impelidos a atitudes como as que ele descreve. Mas desde o início Marx avisou que não iria descrever o capitalista “com cores róseas”.

<sup>19</sup> As soon, however, as imports of raw cotton revived again, the effective requirements for these goods also experienced an increase—to the exact extent, of course, that the latent requirements diminished.

<sup>20</sup> If then, a large number of economists attribute use value (though not exchange value) to non-economic goods, and if some recent English and French economists even wish to banish the concept use value entirely from our science and see it replaced with the concept utility, their desire rests on a misunderstanding of the important difference between the two concepts and the actual phenomena underlying them.

Da mesma forma que Marx, Menger parte da observação do processo de transformação das coisas em bens econômicos (*economic goods*), para então analisar os processos de troca e seus fundamentos. Mas para Menger não há uma diferença essencial entre os processos de troca em qualquer momento da história, de tal forma que para ele não faz sentido em falar de um “sistema capitalista” nem em contextualizar a sua análise em um momento ou em uma sociedade.

A diferença é notável, e pode-se afirmar que a sua origem na abordagem metodológica utilizada por cada um.

No método adotado por Marx uma estrutura subjacente do fenômeno é depurada a partir de um conjunto de informações coletadas em um censo. Essa característica, a de obter dados “concretos” é importante porque é segundo SEWELL (1994) a principal diferença entre a dialética hegeliana e o materialismo dialético de Marx. A premissa de Marx é de que o resultado da análise dialética é uma estrutura que será uma representação intelectual da realidade. Um modelo mental que espelha o mundo físico. É nesse aspecto que Marx recusa a denominação de idealista, já que não presume a existência de um universo perfeito, do qual o mundo real que seria a cópia ou a degradação como em Platão (POPPER, 1974).

Do ponto de vista da inferência a partir de dados coletados, a dialética materialista não deveria então ser muito diferente da análise quantitativa de Menger.

Entretanto ela herda da dialética hegeliana alguns pressupostos que definem as propriedades do modelo intelectual a ser construído. A necessidade do uso desses elementos é a tentativa de criar modelos capazes de lidar com o caráter transiente, recursivo e não linear da realidade. Coisa que seria, por definição, impossível a uma abordagem como a de Menger.

Ao contrário de Marx a abordagem de Menger limita sua abrangência a sistemas lineares, estáticos e fechados. Não é por acaso que toda a análise econômica baseada na teoria marginalista se concentra no estudo nas equações de equilíbrio de preço, custo, oferta e demanda.

Para Marx o valor, abstraído das flutuações da oferta e demanda, seria o modelo intelectual que refletiria o fenômeno social concreto das trocas de mercadorias.

A existência desse valor abstrato é que resolveria o conflito entre o valor de uso e o valor de troca, através da negação que resolve o conflito entre dois aspectos opostos e interdependentes de um sistema.

O caráter ontológico do valor para Marx é, portanto, o de uma abstração cuja existência é comprovada pelos seus efeitos observáveis. E aqui reside uma distinção importante entre o materialismo dialético e a lógica silogística usada por Menger.

A validade da inferência a partir da lógica silogística é dada pela análise quantitativa das correlações entre os elos da cadeia de causalidade. Assim, se o caráter preditivo mostra-se frágil, há que se abandonar o modelo em favor de outro mais robusto. Sob esse método a consistência dos dados de origem é uma etapa crítica, pois há muitas interferências e correlações espúrias que podem mascarar a qualidade das correlações.

Já na dialética materialista, presume-se que, desde que o conceito abstrato é comum a toda a realidade (que se articula organicamente) qualquer conjunto de dados concretos torna-se válido, pois a conclusão é obrigatoriamente a mesma independentemente do ponto de partida. Ao mesmo tempo novas informações, que não coadunem com os dados iniciais, são automaticamente incorporadas ao modelo, como novas contradições que deveriam indicar uma ampliação do conceito abstrato na medida da sua resolução.

A análise silogística que Menger elabora para conceituar o valor desdobra-se então a partir da noção de utilidade de um produto até o processo psicológico de julgamento que atribui valor.

De forma que para Menger, valor não é uma propriedade inerente ao bem, nem o resultado de uma interação. Na verdade ele faz a mesma distinção de Marx,

entre valor abstrato, valor de uso e valor de troca, estes dois últimos são tomados em relação à maneira como atendem às necessidades.

O que confere um caráter especial, em cada um dos casos, ao fenômeno do valor, é o fato de que os produtos adquirem importância, para os indivíduos econômicos que os controlam, ao que então chamamos valor, por ser empregado diretamente no primeiro caso e indiretamente no segundo...Então denominamos valor de uso à maneira como o conceito é empregado no primeiro caso, e valor de troca ao seu emprego no segundo caso.<sup>21</sup> (MENGER, 1871, p. 228)

O aspecto fundamental dessa interpretação é a sujeição do valor à informação disponível ao agente econômico:

O valor dos bens não é de modo algum arbitrário, mas sempre a consequência necessária do conhecimento humano de que a manutenção da vida, do bem estar, ou de alguma parcela, ainda que insignificante, destes, depende do poder sobre um produto ou sobre uma quantidade de produtos. A respeito deste conhecimento, todavia, os homens podem estar enganados sobre o valor dos bens, da mesma forma que podem estar enganados a respeito de todos os demais objetos do conhecimento humano.<sup>22</sup> (MENGER, 1871, p. 120)

A inclusão do aspecto psicológico no processo de estabelecimento de valor, e acima de tudo a aceitação do caráter individual, equívoco e incompleto dos *inputs* desse processo, define o pioneirismo de Menger em associar valor e informação.

---

<sup>21</sup> What lends a special character, in each of the two cases, to the phenomenon of value is the fact that goods acquire the importance, to the economizing individuals commanding them, that we call value by being employed directly in the first case and indirectly in the second... Thus we call value in the first case use value, and in the second case we call it exchange value.

<sup>22</sup> The value of goods is therefore nothing arbitrary, but always the necessary consequence of human knowledge that the maintenance of life, of well-being, or of some ever so insignificant part of them, depends upon control of a good or a quantity of goods. Regarding **this knowledge, however, men can be in error** (grifo nosso) about the value of goods just as they can be in error with respect to all other objects of human knowledge.

## 4 O CONCEITO DE CAPITAL

### 4.1 REVISÃO DO CONCEITO DE CAPITAL A PARTIR DA HISTORIOGRAFIA DE BÖHM-BAWERK

Ao revisar os manuais de economia, ou mesmo os documentos utilizados para definir a metodologia dos órgãos gestores de política econômica (IBGE, Sistema de Contas Nacionais, FED) o que salta aos olhos não é esse ou aquele detalhe da definição de capital que é adotada, mas sim a ausência de detalhes (IBGE) ou mesmo a ausência de definição (Barro, Sala-i-Martin) da principal variável de modelagem dos sistemas econômicos.

É como se, após um certo debate todos concordassem com uma definição única, tão simples e evidente que dispensaria sua explicitação mesmo nos textos mais introdutórios.

Essa maneira descuidada é alvo de críticas em vários trabalhos importantes, a começar por Georgescu-Roegen (1971, p. 211), e também em Mueller (2005, p.700) que faz referência à denominação de Joan Robinson que refere-se à falta de rigor formal no estabelecimento das definições como "hábitos displicentes de pensamento".

Aparentemente a controvérsia sobre o conceito de capital é tão extensa e inconclusiva que torna-se mais prudente não explicitar o conceito para salvaguardar-se da crítica que viria inexoravelmente de um ou outro lado dos contendores. Um exemplo dessas críticas é o artigo "Choice Expectation and Measurability" de Georgescu-Roegen (1954) elaborado justamente como uma revisão das premissas não explicitadas nos modelos econômicos neoclássicos.

Em um outro exemplo, o sistema de contas nacionais do IBGE (2010) traz nas suas notas metodológicas as seguintes definições:

Composição da Conta de Capital

- Poupança Bruta

- FBCF – Formação Bruta de Capital Fixo
- Variação de estoque
- Transferência de Capital (recebido/enviado) para o resto do mundo

Onde:

Poupança Bruta: Parcela de renda disponível bruta que não é gasta em consumo final.

FBCF: Acréscimos ao estoque de bens duráveis destinados ao uso das unidades produtivas realizadas a cada ano, visando ao aumento da capacidade produtiva do país.

Note-se que estas definições dependem de outras: bens duráveis, capacidade produtiva do país, unidades produtivas, consumo final.

Todos estes parâmetros são dependentes de algum tipo de classificação arbitrária. Tome-se o caso, por exemplo, de uma empresa que realiza uma despesa para compra de um material qualquer. Esse material será contabilizado como ativo fixo a ser depreciado, como estoque a ser incorporado ao custo, ou como despesa a ser descarregada na conta de resultado? Tudo isso é claro dependendo do método de cálculo do custo dos estoques adotado pela organização (custo padrão, custo médio contínuo, custo médio mensal ponderado, PEPS, UEPS, Custo de reposição) e também dependendo dos regulamentos contábeis vigentes e das normas internas da companhia. As que definem por exemplo o limite de valor que a empresa considera seguro adotar, abaixo do qual a compra de um material é integralmente apropriada como despesa do exercício, são estritamente subjetivas, baseadas integralmente na experiência do contador responsável pelas demonstrações financeiras em interpretar os regulamentos da receita federal.

Dessa forma é no mínimo temerário pensar os dados macroeconômicos da mesma forma que um físico olha para um termômetro (cujo erro é conhecido) ou químico para uma balança.



O que existe, na melhor das hipóteses é um arcabouço legal, a partir do qual o quadro de executivos de uma organização vai decidir sobre qual é o impacto aceitável no resultado financeiro ao mesmo tempo que minimiza a exposição ao risco de assumir um passivo fiscal e a comprometer a credibilidade da empresa. Essa decisão tem que ser negociada entre os diferentes departamentos encarregados de zelar por aspectos conflitantes.

Desse modo os executivos de operações buscam reduzir os estoques, as despesas e os custos, imobilizando o máximo possível no ativo fixo e buscando depreciar estes ativos no maior prazo possível. Os executivos da área financeira buscam maximizar a despesa com o propósito de minimizar a tributação sobre o resultado do exercício e reduzir o tempo de retorno dos investimentos. Os executivos da controladoria então tem que minimizar a exposição a um passivo fiscal, sendo conservadores na capitalização dos recursos investidos e nos prazos de depreciação, evitando que qualquer gasto cuja alocação seja duvidosa seja contabilizado como despesa.

Essa última questão é particularmente importante para o debate sobre o valor econômico da informação, já que os contadores vem se deparado com frequência e intensidade crescentes com situações nas quais a decisão de contabilização de despesas associadas a compra ou elaboração de ativos intangíveis precisa ser tomada sob escrutínio dos órgãos de fiscalização que atuam em uma zona de penumbra normativa.

Nesse contexto os diversos órgãos que estabelecem os padrões aceitos de contabilidade: FASB, IFRS, SEC, CVM, SRF, vem adotando conceitos provenientes da teoria econômica, capazes de fornecer algum fundamento à discussão, ao mesmo tempo em que lançam mão de normas *ad hoc* para situações específicas (Siegel & Borgia, 2007).

Dessa forma, seja no nível microeconômico, seja em uma análise quantitativa macroeconômica, a definição de capital vai sempre estar atrelada de algum modo a um caráter normativo legal ligado ao tema. Sob essa ótica o conceito de capital deriva do direito de propriedade sobre bens de produção, ou sobre

recursos que potencialmente serão convertidos em bens de produção. A discussão tem que convergir para as relações sociais que estabelecem o direito de propriedade e os mecanismos de legitimação dos processos de cessão e remuneração desses direitos como em Commons (COMMONS, 1924 p.29 e 211), e também em Böhm-Bawerk.

A abordagem a partir de um ponto de vista puramente econômico contudo, foi explorada mais frequentemente e gerou muito mais controvérsia. Böhm-Bawerk (1924) faz uma extensa revisão das diversas abordagens ao conceito de capital desde a origem etimológica da palavra (do grego *κεφαλαιον*, para o latim *capita*) como a parcela principal de uma quantia emprestada a juros, que se consolidou no uso quotidiano já a partir do século XVI, onde é mencionada em alguns glossários.

Böhm-Bawerk, devido a sua proximidade com Carl Menger, explicitamente se esforça para não estender ou deformar o uso da palavra para além do uso consagrado na linguagem quotidiana, e mantém durante toda a revisão histórica da evolução do conceito um paralelo entre as formulações teóricas e a utilização corriqueira pelos agentes de mercado. Com isso traçaria uma demarcação da validade do conceito já que as ampliações propostas pelos teóricos só poderiam ser consideradas válidas na medida em que não se distanciassem em demasia do uso comum.

Por exemplo, (BÖHM-BAWERK, 2010, p. 42) descreve o processo de ampliação do conceito de capital, de puramente monetário para o conjunto dos ativos, financeiros ou materiais, com potencial de geração de lucro (que, por sinal, é o conceito corrente na legislação brasileira, adotado nas leis no.10.303/2001 e 11.638/2007 em substituição à visão mais jurídica de “bens e direitos” contida na lei no. 6.404/76):

Em virtude de tais associações de ideias, chegou-se paulatinamente a conceber como capital, não somente importâncias em dinheiro que rendiam juros, mas também vários outros objetos de fortuna desde que se conseguisse imaginar que neles estavam corporificadas importâncias em dinheiro rendendo juros ou: dinheiro trabalhando.

Parece que essa importante ampliação do conceito de capital se introduziu relativamente cedo na linguagem. Já em um glossário datado do ano de 1678 encontra-se registrado um outro significado da palavra capital, além daquele de uma soma em dinheiro: *capitale dicitur bonum omne quod possidetur*<sup>23</sup>.

Já então a ideia de que o capital propriamente dito seriam os bens dificilmente se distinguia com clareza da ideia original de que o capital seria “o dinheiro contido nos bens”.

Logo em seguida Böhm-Bawerk discute como a ciência econômica se viu forçada a seguir as mesmas ampliações pela pressão da controvérsia em relação à ética da cobrança dos juros e pela necessidade de explicar o fenômeno observável do aumento da renda como decorrência da acumulação capitalística, e da crítica ao mercantilismo.

Assim, Turgot já traria essa ampliação do conceito de capital, esboçada anteriormente em Hume, o que acarretou em uma dificuldade adicional a qual seria a de distinguir, dentro do conjunto de bens da economia, quais seriam passíveis de compor o conjunto dos capitais e quais seriam os bens destinados exclusivamente ao consumo não produtivo.

Foi justamente essa dificuldade que gerou um longo e profuso debate de onde derivaram várias classificações e categorias do capital, a começar por Adam Smith, que estabeleceu uma distinção entre o capital para uso privado e o capital para uso como intermediário do processo produtivo, que posteriormente foi sedimentada nos conceitos de capital privado e capital social.

Böhm-Bawerk também criticou algumas das interpretações mais comuns de Adam Smith (BÖHM-BAWERK, 2010, p. 48):

---

<sup>23</sup> Glossário de Dufresne du Cange, citado em UMPFENBACH. Das Kapital in seiner Kulturbedeutung. Wuerzburg. 1879. p. 32. Baseado num documento ainda mais antigo, Fisher (Precedents. Op.cit. p. 394) cita, tirando-a do MURRAY'S Dictionary, uma definição de COTGRAVES do ano de 1611: "capital, wealth, worth".a "Denomina-se capital todo bem que se possui"

E assim surgiu – introduzida e possibilitada pela confusão no conceito de capital, que desde Say (ano) até mais ou menos os nossos dias [1924] manteve a ciência [econômica] presa em sua nefasta servidão, e que infelizmente ainda hoje não está superada. Somente os autores socialistas, ou de inspiração socialista do nosso tempo começaram a combater a confusão conceitual com a sua distinção entre capital como categoria “puramente econômica” e capital como categoria “histórico-jurídica”

Essa distinção entre uma concepção sociológica do capital, histórico-jurídica nas palavras de Böhm-Bawerk, e uma concepção determinística mecanicista, ou puramente econômica, já é um reflexo do debate anterior sobre a natureza do valor econômico.

A partir da visão sociológica, o foco deveria estar dirigido às relações sociais e à sua dinâmica. Não se tratava então de mensurar o capital, mas de compreender as relações de poder e com isso demonstrar claramente a legitimidade, ou ilegitimidade da apropriação do valor econômico que o capital representaria.

Um exemplo desse tipo de abordagem pode ser encontrado em Marx, quando apresenta as implicações éticas da lógica de divisão manufatureira do trabalho e de como essa forma de organização afetaria a as relações de poder entre o trabalhador assalariado e o empregador capitalista (MARX, p.420):

A divisão manufatureira do trabalho, nas bases históricas dadas, só poderia surgir sob a forma especificamente capitalista. Como forma capitalista do processo social de produção, é apenas um método especial de produzir mais-valia relativa ou de expandir o valor do capital, o que se chama de riqueza social, *wealth of nations*, etc, à custa do trabalhador. Ela desenvolve a força produtiva do trabalho coletivo para o capitalista, e não para o trabalhador, e, além disso, deforma o trabalhador individual. Produz novas condições de domínio do capital sobre o trabalho. Revela-se de um lado, progresso histórico e fator necessário do desenvolvimento econômico da sociedade, e, do outro, meio civilizado e refinado de exploração

Outro exemplo dessa mesma aproximação pode ser visto em COMMONS (1924, p.211):

Se o valor fosse um objeto fixo e externo, possuindo existência física, só poderia haver um único valor para cada coisa em um mesmo lugar e tempo. Mas valor é um processo de avaliação e então o propósito da avaliação é que determina qual será o valor. Se o propósito for o de estabelecer uma relação ética entre comprador e vendedor, credor e devedor, empregador e empregado, soberano e cidadão, expressa em preços, então haverá tantos valores para uma mesma coisa quantas forem as variedades destas relações humanas elementares. Sendo o preço então uma medida de justiça ou injustiça, bem como um efeito de oferta e demanda, e quando preços tornam-se largamente controlados por governos e associações do capital ou de trabalhadores, tornam-se ainda mais, uma medida de justiça e injustiça além de uma decorrência da oferta e demanda.<sup>24</sup>

É interessante observar que para Commons, o valor expresso no preço é ao mesmo tempo resultado do equilíbrio de oferta e demanda e do equilíbrio de poder nas relações sociais e institucionais entre os agentes de mercado. Ou seja, o conceito de capital surgiu como uma expressão de uso comum da atividade comercial sendo posteriormente incorporada pelos teóricos da ciência econômica para descrever dois conjuntos distintos de fenômenos que contribuíam para a formação da renda como uma variável observável.

O primeiro desses conjuntos está ligado às relações sociais institucionalizadas, e o segundo é ligado ao valor presente descontado dos ativos tangíveis, exceto a terra.

O fato de colocar sob o mesmo conceito ou sob a mesma palavra, dois conjuntos distintos de fenômenos, quanto a dificuldade em delimitar a abrangência do conceito e a sua distinção de outros conceitos já em uso corrente, tanto na

---

<sup>24</sup> If value were a fixed external object, having a physical existence, there could be but one value of a thing at one time and place. But value is a **process of valuing** then the **purpose** of the valuation determines what the value shall be. If the purpose is that of setting forth an ethical relation between buyer and seller, creditor and debtor, employer and employee, sovereign and citizen, expressed in prices, then there might conceivably be as many values of the same thing as there are varieties of these elementary human relations. For price is then a measure of justice and injustice, as well as an effect of demand and supply, and when price comes to be largely controlled by governments and by associations of capital or labor it becomes increasingly a measure of justice and injustice as well as an effect of demand and supply

linguagem comum quanto no vocabulário acadêmico, como descrito por Böhm-Bawerk:

Ver-se-á então claramente, por exemplo, que a linguagem está pronta, em várias expressões ocasionais, a classificar como “capital” do trabalhador a própria pessoa dele, porém resiste vigorosamente à tentativa de tirar as consequências terminológicas dessa denominação, isto é, qualificar o trabalhador de “capitalista” e o salário do trabalho de “juros do capital”. Eis aqui um claro sintoma de que o espírito da língua só está disposto a atribuir o nome de capital em seu “sentido próprio”, ou seja, como designação técnica, a um determinado grupo mais ou menos restrito de bens. (BÖHM-BAWERK, 2010, p. 66)

Essas dificuldades precisam ser interpretadas como uma deficiência epistemológica do conceito nas suas formalizações propostas tanto pela economia neoclássica, quanto pela abordagem sociológica dos marxistas e institucionalistas. Ainda mais que esta deficiência vem se exacerbando e tornando-se paulatinamente mais evidente em decorrência do desenvolvimento tecnológico.

Desde as décadas de oitenta e noventa, os ativos intangíveis vem ganhando importância. Processos organizacionais, marcas, patentes, networking, base instalada, têm assumido tal relevância que tiveram que passar a ser incluídos nas contas de capital das demonstrações contábeis das empresas uma vez que a sua omissão implicaria em um descolamento inaceitável entre o total dos ativos e o valor reconhecido pelo mercado.

Isso obrigou contadores, auditores, receita federal e legisladores a rever toda a definição de capital de tal forma que fosse possível ao menos reduzir as distorções observadas entre os valores de mercado e o valor dos ativos capitalizados.

No Brasil esse esforço apareceu inicialmente no NPC-VIII do instituto de auditores do Brasil (IBRACON) em Agosto de 1979 no grupo de contas do ativo diferido (IBRACON - Instituto dos Auditores Independentes do Brasil, 1979):

as aplicações de recursos em despesas que contribuirão para o resultado de mais de um exercício social. Estão compreendidas nesta classificação, entre outras, as despesas de organização, custo de estudos e projetos, despesas pré-operacionais, despesas com investigação científica e tecnológica para desenvolvimento de produtos ou processos de produção e encargos incorridos com a reorganização ou reestruturação da entidade.

Em 29 de Janeiro de 2008 a Comissão de Valores Mobiliários publicou a deliberação no. 553 a qual tornou obrigatório para as companhias de capital aberto a aplicação do pronunciamento técnico CPC-04 que trata da capitalização dos ativos intangíveis, à exceção de direitos de exploração de jazidas, contratos de arrendamento mercantil, ágio pago por expectativa de rentabilidade futura (*goodwill*) e ativos diferidos resultantes dos direitos contratuais de seguradoras. Estas exceções são igualmente reconhecidas como ativos intangíveis mas são excluídas do CPC-04 por serem objeto de outros regulamentos específicos. Para o CPC-04 um ativo intangível é um “ativo não monetário identificável sem substância física”, ou seja uma abstração ou idealização que é corporificada apenas como capital contábil.

No parágrafo 119, o CPC-04 sugere uma lista de classes de ativos intangíveis para efeito das demonstrações financeiras:

- Marcas
- Títulos de periódicos
- Softwares
- Licenças e franquias
- Direitos autorais, patentes e outros direitos de propriedade industrial; de serviço e operacionais
- Receitas, fórmulas, modelos, projetos e protótipos

O que fica evidenciado neste e em outros regulamentos similares adotados em todo o mundo (IFRS, FASB) é que eles refletem a ampliação do conceito de capital para muito além dos meios físicos de produção.

Toda essa ampliação, que as normas incorporaram apenas como meio de espelhar a práxis de mercado, e que eventualmente foi incorporada a vários modelos econômicos, seja nos modelos de crescimento endógeno, seja nos modelos estruturais de neo-schumpeterianos (DOSI, 1988) e (TEECE, 1988) reforça a ideia de que o conceito é bem menos sólido do que os livros texto de economia fazem supor.

Vale a pena aqui elaborar um breve sumário da evolução do conceito de capital:

(1612) *Vocabulario degli Accademici della Crusca* - O sentido historicamente adotado na língua comum: O de um valor dado como empréstimo em dinheiro.

(1766) Turgot - *Reflections on the formation and distribution of wealth* – Bens acumulados para uso futuro.

(1776) Adam Smith – *The Wealth of Nations* – Restringiu a definição de Turgot aos bens acumulados para gerar rendimento futuro ao seu proprietário.

(1832) Friedrich Von Hermann – *Staatswirtschaftliche untersuchungen über vermogën* – “Capital é toda base durável de uma instalação que possui valor de troca”.

(1871) Menger – *Princípios de Economia* - Bens econômicos de ordem mais elevada (bens de produção) disponíveis para uso futuro. Note-se que Menger faz uma distinção importante entre o capital e outros bens que geram renda, como a terra ou prédios, cuja “produtividade é de uma natureza essencialmente diferente daquela da riqueza durável que não é capital” (MENGER, 2007 p.304).

(1885) Friedrich Von Kleinwächter – *Die Grundlagen und ziele des sogennanten wissenschaftlichen sozialismus* – Apenas as ferramentas de produção, aquelas que são capazes de disparar os processos de produção e aquisição.

(1879) Jevons – *Theory of Political Economy* – “Riqueza empregada para facilitar a produção” de forma que o desdobramento lógico era que o capital limitasse-se às ferramentas de produção.



(1864) Marx – O Capital – Para Böhm-Bawerk a exploração do capitalista sobre o trabalhador era tão importante para Marx, que o fez inserir essa relação de exploração na essência do conceito de capital. Dessa forma o capital seria composto apenas pelo conjunto de instrumentos de produção que, nas mãos dos capitalistas, serviriam de meio de exploração e escravização do trabalhador. Para Böhm-Bawerk, o desdobramento lógico dessa proposição seria que os mesmos instrumentos de produção nas mãos do próprio trabalhador não poderiam ser contabilizados como capital.

(1874) Léon Walras – *Elements d'Economie Politique Pure* – Na abordagem de Walras o conjunto de todos os bens seria dividido em capital e receita (*income*). Onde capital seria todo bem utilizável mais de uma vez, enquanto que as receitas seriam decorrentes de um bem que seria consumido irreversivelmente, como alimentos ou combustíveis. Nessa concepção é possível identificar a aplicação de alguns elementos da lógica que Georgescu-Roegen utilizou para dividir os recursos de tal modo que o capital será um fundo e a renda será identificada como um fluxo. Entretanto, à época da sua proposição, a proposta de Walras agregava coisas demais, e era inespecífica demais para apresentar-se como uma alternativa útil.

(1858) McLeod – *Elements of Political Economy* – Propôs o capital como algo mais abstrato e recorreu a metáforas como “estoque de trabalho acumulado”, “poder de compra” e “poder de circulação”. Essa abordagem também foi defendida pelo jurista Kùlnast, que defendia o capital como algo de natureza imaterial não sendo associado a um tipo de bem em particular. Essa concepção tem sido predominante na visão mais sociológica do valor.

(1885) Karl Knies – *Das Geld* – Faz uma tentativa de conciliação das diversas e conflitantes definições de capital. Nela seria o estoque dos bens com potencial de satisfazer as necessidades futuras de uma comunidade.

Na crítica que faz ao conceito de Capital proposto por Rodbertus, que escolhido por Böhm-Bawerk juntamente com Marx como exemplos entre os teóricos econômicos socialistas, explicando que a escolha de Rodbertus deveu-se à sua importância do ponto de vista da qualidade do embasamento teórico, enquanto que a escolha de Marx deveu-se pela importância decorrente do âmbito da disseminação do seu trabalho. Nessa crítica, Böhm-Bawerk ressalta a importância do conceito de irreversibilidade. Mais especificamente do consumo irreversível de recursos naturais na composição do custo de produção (BÖHM-BAWERK, *Capital and Interest: A Critical History of Economic Theory*, 1890).

Mesmo o dispêndio das dádivas mais raras da natureza é um dispêndio, é uma irresponsabilidade que atinge a pessoa, daquele mesmo modo exposto por Rodbertus em sua definição de custo e por aquele mesmo motivo alegado por ele para que o trabalho tenha valor.

O conflito de ideias surgiu porque Rodbertus, conforme Böhm-Bawerk, desqualifica os recursos naturais como *cost-drivers* uma vez que para ele: "a força natural ativa é infinita e indestrutível" e também "a matéria não é um dispêndio que o homem efetua em troca do bem; custo do bem é só aquilo que é custo para o homem". A posição de Böhm-Bawerk, contrária à de Rodbertus, entende que o custo surge da irrecuperabilidade. O custo do trabalho resulta da irrecuperabilidade do tempo dispendido pelo trabalhador para atender a uma necessidade impede que ele seja alocado para o atendimento de uma infinidade de outras necessidades. Um ponto em que Böhm-Bawerk e Rodbertus concordam. Mas para o primeiro, o mesmo raciocínio se aplica ao consumo dos recursos naturais, e cita como exemplo o caso de queima da madeira que uma vez reduzida a cinzas não pode mais ser consumida.

Essa discussão evidentemente fica muito mais clara quando introduzimos a visão de Georgescu-Roegen sobre o papel de entropia no processo econômico.

Assim, o custo de produção derivado da entropia do processo, de tal modo que tenta o trabalho humano, quanto o consumo de recursos naturais não renováveis tem um custo entrópico.

Assim, o raciocínio de Rodbertus é parcialmente correto porque considera que os recursos renováveis, como energia solar, são virtualmente ilimitados e isentos de custo, e ao mesmo tempo, Böhm-Bawerk está parcialmente correto porque considera que o custo da degradação irreversível dos recursos não renováveis teria que ser levado em conta no modelo econômico.

Por fim, os dois concordam que o custo do trabalho no decorrer da disponibilidade limitada do tempo do indivíduo, frente ao conjunto virtualmente infinito das demandas.

Neste ponto se encontra também com Georgescu-Roegen, que define o custo do trabalho como *enjoyment of life* irremediavelmente perdido para execução da atividade fabril.

A visão de Georgescu-Roegen de considerar o estoque de recursos de baixa entropia na análise do processo econômico é cuidadosa, no sentido de que a indisponibilidade destes recursos gera um impacto imediato e significativo no desempenho da economia.

Esse raciocínio está evidenciado nas consequências observáveis da crise hídrica na área metropolitana de São Paulo. No verão 2014/2015.

Entretanto, a ideia de computar esses estoques em uma matriz insumo-produto como é sugerido no capítulo IX de *The Entropy Law and the Economic Process* presume que a influência destes recursos no total de economia segue uma linearidade, quando na verdade o comportamento segue o padrão estabelecido pelo paradoxo de Sorites, uma vez que o estoque do recurso é percebido como sendo virtualmente inexaurível até que, em um momento muito próximo de completa exaustão ocorre uma súbita tomada de consequências de que a qualidade disponível é insuficiente para atender à demanda.

Nesse momento então, há uma descontinuidade na curva de custo do recurso, que previsivelmente era assumido como sendo custo zero ou desprezível, mas a partir desse ponto o preço do recurso passa a refletir não apenas a escassez mas a percepção de escassez pelos consumidores.

Isso não é apenas um comportamento do preço baseado na informação que então torna-se indispensável, mas também cria um ciclo de retroalimentação onde a percepção da escassez faz com que a demanda do recurso aumente, uma vez que todos buscam elevar seus estoques de segurança e estoques especulativos, o que acentua a percepção de escassez e impulsiona a perspectiva de lucro com o estoque em excesso. Esse processo de cria uma bolha especulativa que só se interrompe com a disponibilização de uma quantidade de material muito além da demanda, de tal forma que a percepção de escassez seja dissolvida, ou alternativamente com a continuação da escassez de tal forma que a utilização de materiais substitutos, ou de novas tecnologias de produção tornam-se viáveis.

No caso da crise hídrica no estado de São Paulo, que ainda está em curso no momento em que este trabalho está sendo redigido, é possível observar uma combinação dos dois efeitos: De um lado uma elevação no preço do recurso, com a companhia de abastecimento de São Paulo elevando as tarifas, com o objetivo de forçar uma redução no consumo e por outro lado, e simultaneamente, alternativas como a captação de água da chuva na área urbana, despoluição dos rios e recuperação florestal nas bacias hídricas passaram a ser articulados em caráter emergencial.

Com o petróleo também ocorre uma situação que se enquadraria no mesmo raciocínio. A partir da década de 1970 ocorreu uma tomada de consciência dos limites das reservas de petróleo, o que se consolidou na teoria do *peak-oil*. Estimado para ocorrer por volta do ano 2000, o que de fato aconteceu mas apenas em relação as tecnologias tradicionais de exploração e produção. Ao longo destes 30 anos contudo, a percepção de que ocorreria um esgotamento em algum ponto do tempo, suportou decisões de investimento em tecnologias alternativas tanto de geração de energia, como as gerações solar, hídrica, eólica e de biomassa, quanto as tecnologias alternativas de exploração e produção de petróleo, com a produção em águas profundas, pré-sal, *tar-sands* e *shale-gas*.

Isso desenvolveu-se até o ponto em que a oferta total de energia tornou-se potencialmente maior que a demanda e desmontou a estratégia posta em prática pela OPEP a partir de 1973, de utilizar especulativamente as reservas conhecidas

de petróleo. Note-se que iniciando em 2013 a própria OPEP reverteu sua estratégia tradicional de forçar alguma escassez no mercado de petróleo, elevando as cotas de produção de tal forma que a redução do preço internacional do barril de petróleo levantasse barreiras de entrada à outras fontes de energia e a outras tecnologias de produção de petróleo.

No momento em que este trabalho está sendo elaborado essa estratégia ainda está em curso. Mas é importante levantar a ressalva de que uma vez conhecida a informação de que as reservas são limitadas, e que considerada a demanda atual teriam sua duração bastante reduzida, então a decisão de desmobilizar ativos já capitalizados, ou em capitalização, tende a ser avaliada sob uma perspectiva mais sofisticada do que uma análise de custo sumária.

Em um caso como esse, os tomadores de decisão tendem a incorporar na análise a sua percepção de risco ao longo do horizonte de tempo que vai depender dos objetivos estratégicos estabelecidos institucionalmente. Neste caso, instituições maiores como corporações empresariais, ou órgãos de governo tem maior capacidade de realizar investimentos que tem prazos de retorno longos e grandes riscos associados.

## 4.2 O CONCEITO DE CAPITAL EM NORTH E NA NEI

Para NORTH<sup>25</sup> (1920 - ) as instituições constituem uma forma de capital. Isso é compatível com a ideia de que o capital é antes de mais nada um estoque de informação , uma vez que a definição de instituição é exatamente a de um conjunto de regras, explícitas ou não às quais os participantes da atividade econômica estão submetidos. Também é compatível com a ideia de que o Capital é um conceito amplo, que abrange vários conjuntos de informação, e do qual o capital físico, na forma de máquinas e instalações é apenas um caso particular.

---

<sup>25</sup> DOUGLASS NORTH – Cambridge MA, Economista de Harvard (1942) laureado com o Nobel de Economia em 1993 pela sua teoria da nova economia institucional NEI

Ele aponta para o fato de que a teoria neoclássica trata dos preços de equilíbrio sem incorporar os custos de transação, uma situação em crescente descompasso com a realidade, já que a participação dos custos de transação na economia foi avaliada por WALLIS e NORTH (1986, apud NORTH 1991) em 45%, um acréscimo de 25% em relação ao mesmo dado do século anterior.

Por outro lado demonstrou que estes custos são, em grande parte, relativos a remuneração de atividades que demandam conhecimento tácito (NONAKA & TAKEUSHI, 1997) o qual ele computa como parte do que denomina capital humano (NORTH, 1991, p.76).

NORTH criticou a historiografia positivista, centrada na tecnologia e ciência por levar a uma utopia que dependeria unicamente da elevação da produtividade para se realizar. Também criticou a historiografia Marxista por conduzir a uma utopia que dependeria unicamente de "uma mudança fundamental no comportamento humano" para tornar-se realidade.

Propôs em substituição a essas duas visões uma análise histórica baseada na busca do ser humano pela resolução dos problemas de cooperação para poder colher as vantagens, não apenas da tecnologia, mas também de todos os demais aspectos "da empreitada humana que constitui a civilização" (pág.78)

Na verdade ele é até bem parecido com Marx, na medida em que reconhece que os conflitos que afetam as relações sociais limitam a capacidade do indivíduo em tirar proveito dos benefícios da cooperação. A diferença é que ao invés de reduzir todos os conflitos sociais ao modelo esquemático da luta de classes, e assumir que apenas um dos agentes econômicos, ou uma classe de agentes econômicos, é a fonte do conflito, ou então de que um processo específico, como a criação de mais valia, é a fonte do conflito, ele realizou uma análise dos diferentes modos de transação e dos diferentes arranjos institucionais onde essas transações são realizadas, buscando uma abordagem capaz de incorporar essas diferenças no processo econômico. Para NORTH, não há uma solução única, mas um conjunto de soluções caso a caso, decorrentes do processo de análise. Dessa forma o modelo

de NORTH concentra-se muito mais em um método analítico do que em desenvolver uma diretriz ideológica prescritiva.

Dentro dessa concepção o capital é constituído não apenas pelo conjunto do capital físico, mas também pelo conhecimento, tanto tácito quanto explícito e pelo conjunto dos regulamentos que definem os custos de transação.

Em um mundo com custo zero de transações, o aumento no estoque de conhecimento e suas aplicações (os capitais físicos e humanos) proveria a chave do bem estar dos indivíduos e das sociedades. Aquilo que é deixado de fora da análise é o porquê deste potencial não ser realizado.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> In a zero transaction cost world, increases in the stock of knowledge and its application (both physical and human capital) provide a key to the potential well being of human being in societies. What was left out of the analysis was why the potential was not realized

## 5 O CONCEITO DE TRABALHO

### 1.1. O CONCEITO ECONÔMICO DE TRABALHO

A definição clássica de trabalho usada em economia pode ser discutida a partir da sua elaboração por Marx: *A utilização da força de trabalho é o próprio trabalho* (MARX, O Capital, p.211)

A extrema simplicidade dessa definição é possivelmente o segredo da sua utilização ampla e longa. Ao mesmo tempo isso significa que há uma complexidade associada à atividade produtiva que fica encoberta e que precisa ser discutida para tornar possível a reconciliação entre o conceito econômico e o conceito físico.

Para o economista, o trabalho é um composto que envolve o consumo de energia e o uso de informação. Ao mesmo tempo, o trabalho é definido como propriedade do indivíduo que exerce sua vontade e seu controle no processo de decidir onde aplicar sua energia e o estoque de informações de que dispõe (MARX, p.212):

Além do esforço dos órgãos que trabalham, é mister a vontade adequada que se manifesta através da atenção durante todo o curso do trabalho

Há todo um esforço, para diferenciar o trabalho humano do trabalho animal:

Pressupomos o trabalho sob forma exclusivamente humana. Uma aranha executa operações semelhantes às do tecelão, e a abelha supera mais de um arquiteto ao construir sua colmeia. Mas o que distingue o pior arquiteto da melhor abelha é que ele figura na mente sua construção antes de transformá-la em realidade.

Nesta passagem Marx já vislumbra que a distinção entre o trabalho humano e o trabalho animal está no modo como o ser humano lida com a informação e como



é capaz de materializar essa informação através do trabalho realizado conscientemente.

## 5.1 SOBRE A CONCEPÇÃO MARXIANA DO VALOR DO TRABALHO HUMANO

Para Marx, o aumento de produtividade decorrente do uso do maquinário gera o excedente de produção do qual o capitalista irá se apropriar na forma da mais-valia.

Ao fazer isso fica implícito que o valor do trabalho humano não decorre diretamente do trabalho mecânico gerado pelo trabalhador, já que a máquina é capaz de gerar muito mais trabalho, produto, mercadoria, em poucos minutos do que um trabalhador conseguiria em um dia inteiro. Isso é verdade hoje como já ocorria no tempo de Marx. Um motor a vapor podia gerar XXXX Kcal/hora enquanto um trabalhador não é capaz de entregar mais do que X Kcal/hora.

Mas não apenas o trabalho mecânico é multiplicado pelo capital, mas o conteúdo de informação adicionado pelo trabalhador varia com o capital, entretanto não de modo proporcional.

Na verdade o que ocorre é, no caso mais simples uma redução da quantidade de informação que o trabalhador agrega ao processo. A introdução de ferramentas especializadas e máquinas capazes de realizar o trabalho automaticamente, não apenas reduzem a quantidade de trabalho mecânico que o trabalhador tem que imprimir ao sistema produtivo, mas também permitem a substituição de um trabalhador habilidoso, alguém que acumulou informação ao longo do tempo a respeito de todos os detalhes necessários para a execução de uma tarefa: o aspecto visual do material, a pressão sobre a ferramenta, o odor característico do momento em que o material começa a se degradar, a memória muscular de uma pequena torção na ferramenta e da sensação de alívio da pressão de um parafuso que cede. Tudo isso pode ser substituído por um trabalhador que não precisa mais ter nenhuma dessas experiências já que seu trabalho se resume a

acionar um pedal, alimentar a máquina com o material a ser processado e então acionar um botão reiniciando a mesma série de movimentos logo em seguida.

Nessas condições o trabalhador contribui cada vez menos para a realização do produto. Do ponto de vista do capitalista isso significa que o estoque de trabalhadores aptos a desempenhar a tarefa que lhes é solicitada aumenta de tal forma que frente a um aumento da oferta é possível reduzir o preço de equilíbrio da mão de obra.

Do ponto de vista marxiano, o valor não pode estar nem no trabalho mecânico nem na informação necessária para a execução da tarefa. Assim resta apenas o tempo de vida dedicado à atividade produtiva. Um tempo dedicado a algo que o trabalhador não tem a necessidade individual mas que teria que ser trocado por um tempo de fruição.

Não é por mera coincidência que Georgescu-Roegen vai propor uma medida de valor econômico baseada nessa troca entre o tempo laborioso e o tempo de fruição.

Na concepção marxiana e nas abordagens por ela influenciadas esses tempos são excludentes, antagônicos. Nelas o trabalho é sempre um custo irrecuperável em tempo de vida humana, que seria a grandeza de valor fundamental.

Sob essa ótica o trabalho seria sempre a materialização do castigo bíblico ao qual a espécie humana foi condenada ao ser expulsa do jardim do Éden. O desdobramento lógico é de que em um mundo ideal o ser humano viveria em meio a natureza sem ter que trabalhar e sem passar por nenhuma privação ou sofrimento.

Naturalmente Marx nunca idealizou uma sociedade com essas características. Entretanto a decorrência lógica da sua concepção do valor não passou despercebida, e é uma fonte importante do fascínio da doutrina marxista.

Schumpeter (capitalismo socialismo e democracia) assinalou que o caráter profético do marxismo é mais importante na explicação da sua popularidade do que a solidez conceitual do seu modelo econômico (SCHUMPETER, 1954):

O socialismo marxista também pertence àquele subgrupo que promete o paraíso do lado de cá da sepultura. Eu acredito que a formulação destas características daria oportunidade a classificação e comentários que poderiam conduzir a uma essência sociológica mais profunda do marxismo que qualquer coisa que um mero economista possa dizer. No mínimo, este ponto explicaria o sucesso do marxismo<sup>27</sup>

## 5.2 ENJOYMENT OF LIFE

Georgescu-Roegen define a razão de ser do processo econômico em termos de propósito e *enjoyment of life*, mas não define essa grandeza de forma positiva. A definição que adota é por exclusão. Para Georgescu-Roegen todo o tempo de vida é contabilizado como *enjoyment of life* exceto o tempo dedicado ao trabalho que ele denomina *work drudgery*.

O fato de não decompor o trabalho em uma parcela de ação mecânica e outra de ação intelectual faz com que o modelo de Georgescu-Roegen seja insensível aos diferentes tipos de trabalho e às diferentes situações em que esse trabalho é realizado. Além disso ao tomar a fração que consiste no trabalho mecânico, a qual é comparativamente insignificante em relação ao conjunto do trabalho realizado na grande maioria dos casos, como sendo o todo, Georgescu-Roegen perde de vista que a transferência de informação do trabalhador para a ferramenta que permite ao proprietário da ferramenta substituir o trabalhador habilidoso por um trabalhador desqualificado, ou por uma fonte de energia não humana.

É como resultado da incorporação da habilidade do trabalhador no capital que ocorre algum tipo de expropriação, mas uma vez que a informação não é

---

<sup>27</sup> Marxist socialism also belongs to that subgroup which promises paradise on this side of the grave. I believe that a formulation of these characteristics would give opportunities for classification and comment which might possibly lead much deeper into the sociological essence of marxism than anything a mere economist can say. The least important point about this is that it explains the success of marxism

conservativa o capital, e não necessariamente o capitalista, também passa a ser um detentor dessa informação e portanto o valor de troca da informação entre trabalhador e capital simplesmente deixa de existir.

Note que para Georgescu-Roegen, como o trabalho é um dado unitário ao invés de um composto então qualquer tempo dedicado ao trabalho é um tempo roubado ao *enjoyment of life*, de forma que a hora trabalhada para Georgescu-Roegen tem sempre o mesmo valor, universal e absoluto, que é o tempo de vida desperdiçado.

Entretanto, ao observar a mesma situação sob a ótica da transferência de informação entre o indivíduo e o capital, o que vemos é uma quadro muito diferente:

Quando o indivíduo está utilizando informação da qual é o único detentor, pode negociar essa informação, o ainda melhor, o produto do trabalho obtido pela aplicação dessa informação ao sistema produtivo, de tal forma que ele se apropria do ganho com a informação, sem ter que transferi-la para o sistema, e assim preservando seu valor de troca.

Por outro lado, quando a informação é incorporada ao processo produtivo, o indivíduo perde a sua propriedade e o valor de troca desaparece. Nessa situação o indivíduo passa a entregar não mais um composto que contém informação, mas apenas o seu tempo, ou como diria Georgescu-Roegen, o seu *enjoyment of life*, a preço de trabalho mecânico. Mas, como fornecedor de trabalho mecânico, o ser humano é um motor de custo alto e baixo rendimento, termodinamicamente ineficiente e por isso a melhor opção é sem dúvida substituir o ser humano por um motor de alto rendimento/baixo custo, liberando o indivíduo para uma atividade onde o seu estoque de informação possa ser convertido em valor agregado.

### 5.3 A CONVERSIBILIDADE ENTRE TRABALHO E CAPITAL

Um postulado importante dos modelos neoclássicos é a conversibilidade dos fatores de produção, de tal forma que em uma função de produção dada por  $Y = AK^\alpha L^\beta$

Onde:

Y – Renda, usualmente representada pelo PNB ou PIB

K – Capital, definido pela formação bruta de capital fixo – FBCF

L – Trabalho, definido pela renda da população economicamente ativa

A – Constante exógena da tecnologia

$\alpha$  – coeficiente de elasticidade do capital

$\beta$  – coeficiente de elasticidade do trabalho

teremos  $\alpha + \beta = 1$  (condição Inada). Dessa forma, para qualquer acréscimo na influência do capital ( $\Delta\alpha$ ) haverá uma variação complementar ( $\Delta\beta$ ) no peso do fator trabalho de tal modo que o somatório seja sempre mantido.

Mas como isso seria possível? De que forma a simples acumulação de capital, seja na forma de maquinário, seja como um novo prédio, ou como um montante armazenado em um banco, seria suficiente para tornar supérfluas várias horas de trabalho humano?

Para Marx, a mais valia decorre do excedente de produção além da necessária para repor a força de trabalho resultante da elevação da produtividade conseguida pelo acúmulo do capital na forma de maquinário. O trabalhador continuaria sendo remunerado apenas pelas horas de trabalho cujo valor do produto seja suficiente para a sua sobrevivência e as horas restantes do dia seriam expropriadas pelo capitalista na forma de mais-valia.

Aqui a pergunta se repete: como é possível ao capitalista se apropriar do tempo de trabalho excedente? Para Marx a explicação é evidente e definitiva: A apropriação ocorre como exploração através das relações de poder institucionalizadas por um sistema político-jurídico.

Nem os economistas socialistas nem os neoclássicos aprofundaram a discussão do papel da transferência de informação entre trabalho e capital.

Ao mencionar o assunto, de passagem, Marx discute no capítulo X de O Capital a transformação da habilidade do artesão em um ferramenta que poderá ser acionada por uma força motriz externa, e então passa a se concentrar na questão da energia como forma de substituição do trabalho.

Mas, como veremos no exemplo da produção da ferramenta de cobre descrita na página 224, o componente mecânico do trabalho humano é muito menos significativo no composto do trabalho do que o conteúdo de informação.

Como o volume de trabalho mecânico gerado por um ser humano é praticamente desprezível, a sua substituição por outra fonte de energia, um boi, um cavalo, uma corrente de água, a pressão do vapor em uma caldeira, uma reação eletroquímica ou uma célula fotovoltaica, é um passo inevitável.

Mas a explicação da transferência do direito de propriedade do detentor da mão de obra para o detentor do capital não encontra justificativa no balanço termodinâmico do sistema. Que também é pequeno comparativamente ao conteúdo de informação.

Um aspecto essencial do investimento produtivo, como apontou Marx, é a transferência da habilidade do trabalhador para a máquina-ferramenta. Ao construir uma máquina-ferramenta que incorpora a habilidade de executar uma tarefa específica, o trabalhador perde a sua maior oportunidade de incorporar valor ao produto. Já que aquela habilidade que agora está cristalizada na forma de uma ferramenta ou molde não precisa mais ser executada por aquele indivíduo hábil. Agora o papel do trabalhador fica reduzido ao de alimentador da máquina. Privado do que anteriormente era um seu ativo intangível, a sua hora de trabalho transforma-se em *commodity* incorporada ao estoque de mão de obra desqualificada e, portanto de baixo preço de mercado.

A questão da conversibilidade então retorna, porque a única maneira de capital e trabalho se tornarem conversíveis é quando se viabiliza tecnicamente a incorporação do conhecimento de como fazer ao capital. Ou seja, quando o capital aumenta como resultado da informação incorporada.

Esse mecanismo de transferência é a atividade que está na raiz do processo de crescimento econômico. Isso remete à definição a ser adotada aqui para o conceito de capital, ou pelo menos define uma propriedade essencial que o capital deve apresentar:

Ao menos uma parcela da formação do capital deve ser resultado de um processo de incorporação do conhecimento da realização do produto ou serviço em uma ferramenta, note-se que a ferramenta pode ser tão concretamente física quanto um martelo, ou tão abstrata quanto um sistema organizacional, como a produção fordista ou o modelo Toyota de produção. De forma que a palavra ferramenta é utilizada aqui na acepção mais ampla possível, de forma que qualquer máquina, sistema organizacional, estrutura institucional, cadeia logística, produto de software, estará incluído nesta definição.

Assim, pode-se concluir que, ao menos parcialmente, o capital é constituído por informação. A informação das dimensões exatas do produto, no caso de um molde, por exemplo. Mas não apenas a informação direta, objetiva está ali contida. Ainda no exemplo do molde, das próprias dimensões do molde é possível derivar ou associar outras informações, como a espessura da folha de metal, as propriedades metalúrgicas desse metal e o tipo de prensa a ser utilizado.

Já uma série de outras informações, como a pressão de trabalho da prensa, o tempo de ciclo, o volume e tipo de lubrificante a ser usado, são alheias a ferramenta, ainda que sejam parte inseparável do processo. Nestes casos a informação é bem intangível e só como resultado de uma cláusula contratual deixa de ser propriedade do trabalhador e passa a ser propriedade da instituição.

#### 5.4 O CONCEITO DE TRABALHO NA FÍSICA

(OLIVEIRA, 2006, p. 83) discute o desenvolvimento dos conceitos de trabalho e energia seguindo a história da engenharia de máquinas nos séculos XVIII e XIX:

"Este princípio, que se foi desenvolvendo ao longo da história, de que os ganhos obtidos pela utilização das máquinas eram compensadas por certas desvantagens ou perdas, contém em si o germe do conceito de energia.

Ocorre nesse período, pela concorrência da física newtoniana e lagrangeana uma busca das relações entre o esforço dispendido e o deslocamento de um corpo e seu peso. Toda a mecânica é uma formalização das relações entre esforço, resultado e tempo.

A lógica elementar econômica, das trocas intertemporais entre esforço e recompensa contém os mesmos elementos que constituem a base dos conceitos físicos de força, energia e trabalho, de forma que a motivação no desenvolvimento da física, em especial ao longo do século XIX foi essencialmente econômica.

OLIVEIRA (p.87) sumariza a evolução do conceito de trabalho em algumas linhas distintas:

O estudo das condições de equilíbrio da alavanca, que se desenrola desde Arquimedes até Leibniz.

A busca de uma quantidade conservativa, constante, para sistemas que saem da condição de equilíbrio. Um conceito essencial para o desenvolvimento das máquinas.

O estudo do trabalho humano, onde o corpo humano é reduzido a uma máquina, de tal forma que sua potência pode então ser comparada à de um cavalo ou motor a vapor.

O estudo do trabalho em relação às perdas, na forma de calor, ruído e desgaste. Essa abordagem é a que conduziu ao desenvolvimento da termodinâmica por Clausius e Sadi Carnot.

Estas linhas convergiram para o conceito de vis viva, força vital, proposto por Leibniz entre 1676 e 1689, que estabelecia uma propriedade conservativa que era decorrência das relações entre massa e velocidade dos componentes de um sistema. Ainda que a conservação da vis viva apresentasse dificuldades evidentes, o conceito foi adotado na engenharia já que seu cálculo era mais prático que a conservação dos momentos proposta por Newton e Descartes. A sua utilização e a resolução dessas dificuldades é que abriram caminho para uma lei termodinâmica da conservação da energia.



Em meados do século XIX a expressão energia (Thomas Young , 1847 e William Thompson 1850) passou a substituir a vis viva que havia sido largamente usada nos trabalhos de engenharia do início do século (Lazare Carnot, Coriolis, Navier). A palavra energia serviu para unificar as diversas manifestações, eletricidade, magnetismo, combustão, atração gravitacional e força motriz, sob um mesmo conceito, mais abrangente.

A abrangência dos conceitos de força e energia deu-se em muito pelo caráter metafísico da energia herdado do conceito de vis viva, que pode ser observado tanto na mecânica newtoniana quanto na *nathurphilosophie* alemã, em contraposição ao empirismo positivista. Mesmo posteriormente, quando o mecanicismo se firmou como paradigma dominante, as dificuldades na explicação da origem causal dos fenômenos observáveis fez com que se estabelecesse um compromisso entre a aceitação de uma fenomenologia fundada sobre a metafísica e a dureza das limitações impostas por um empirismo radical, como o que veio a ser defendido posteriormente por William James. Esse compromisso se revelou em uma aceitação tácita dos conceitos intuitivos, mas pouco consistentes de força e energia.

É importante ressaltar que como consequência dessa solução de compromisso, o conceito de trabalho precisava ser despojado de aspectos intangíveis, como a habilidade do trabalhador, ou do conceito abstrato de informação, ficando reduzido a variáveis diretamente mensuráveis, como o deslocamento de um peso. Essa simplificação permitia focalizar a análise na comparação entre máquinas com eficiência diferente, buscando responder à questão de ordem econômica de como realizar a mesma atividade com menor quantidade de energia.

Por esse caminho o conceito de trabalho na física desvinculou-se do conceito social de trabalho, usado pelo pensamento econômico até então e em especial pelos clássicos. A disputa entre as diferentes abordagens na física, que teve origem em questões econômicas mas abandonou a visão social, estabeleceu uma ortodoxia própria e acabou por influenciar as ciências sociais de onde saiu (OLIVEIRA, 2006 p.128):

O projeto Laplaciano falhou em sua tentativa de montar um quadro explicativo e unificador para as ciências particulares do mundo físico nas primeiras décadas do século XIX...A mecânica, agora hegemonicamente representada pela mecânica Lagrangeana, passou a ser o paradigma das ciências sociais em especial a economia

O projeto de chegar a uma causa universal dos fenômenos físicos não era factível, como é possível observar no comentário a seguir, extraído de D'Alembert (Tratado de Dinâmica, citado por OLIVEIRA, p.151):

Quais são as causas capazes de produzir ou de modificar o movimento dos corpos? Nós não conhecemos até o momento senão dois tipos: Umas se manifestam a nós ao mesmo tempo em que o efeito que elas produzem, ou antes, na medida a que elas se apresentam; elas são as que tem sua fonte na ação sensível e mútua entre dois corpos, resultante de sua impenetrabilidade: Elas se reduzem à impulsão e outras ações derivadas daquelas; todas as outras causas não se fazem conhecer senão pelos seus efeitos e ignoramos inteiramente sua natureza; tal é a causa que faz cair os corpos pesados em direção ao centro da terra, a mesma que mantém os planetas em suas órbitas, etc

A mecânica mesma era objeto do mesmo dilema, como pode ser observado em Lazare Carnot (Princípios Fundamentais do Equilíbrio e do Movimento, citado por OLIVEIRA, p.152) :

Existem duas maneiras de ver a mecânica em seus princípios. A primeira é a de considerá-la como a teoria das forças, isto é das causas que imprimem os movimentos. A segunda é a de considerá-la como a teoria dos movimentos eles mesmos. No primeiro caso estabelecemos a racionalidade sobre as causas quaisquer que elas sejam, que imprimem ou tendem a imprimir movimentos aos corpos. No segundo caso, observamos o movimento como já impresso, adquiridos ou pertencentes aos corpos, e procuramos somente quais são as leis segundo as quais esses movimentos aparecem e se propagam, se modificam ou se destroem em cada circunstância. Cada uma dessas duas maneiras de estudar a mecânica tem as suas vantagens e desvantagens. A primeira é quase geralmente considerada como a mais simples; mas ela tem a desvantagem de estar fundada sobre a noção metafísica e obscura do que é

a força. Pois qual ideia nítida pode apresentar ao espírito nessa matéria o nome de causa?

Do ponto de vista da engenharia de máquinas, a principal preocupação era de ordem prática, o que explica a adoção do paradigma da mecânica como teoria das forças, e portanto o conceito de trabalho se reduziu ao das relações entre força e deslocamento de pesos, polias e alavancas, e deixou a cargo de outras áreas do conhecimento a descrição análise e interpretação das relações sociais e econômicas ligadas a atividade produtiva.

À época, o foco da pesquisa em física concentrou-se na conversão de tarefas realizadas manualmente em operações mecanizadas, justamente o processo que gera o maior deslocamento de capital intelectual do operário para o capitalista industrial.

A preocupação inicial era a de obter uma fonte de acionamento mais potente, no sentido estrito de obter mais trabalho em menos tempo diz Lazare Carnot, citado por OLIVEIRA (2006, p.172):

A parte final da memória de Carnot (Lazare) é dedicada a considerações gerais sobre as máquinas. A questão do trabalho volta novamente ao centro das preocupações quando ele indaga qual o verdadeiro objetivo de uma máquina? Ele afirma: Nós já temos dito que é poder variar à vontade e segundo o que as circunstâncias exigem, os termos da quantidade de ação FVT ou a produzida pelas forças solicitantes. Se o tempo é precioso e se a ação deve ser produzida em um tempo muito curto e que não temos senão uma força capaz de imprimir pouca velocidade, então com um grande esforço poderemos encontrar uma máquina para suplementar a velocidade necessária para a força. Se ao contrário, for necessário elevar um peso bastante considerável e se só tivermos uma fraca potência, mas capaz de uma grande velocidade, poderemos imaginar uma máquina com a qual o agente poderá compensar pela sua velocidade a força que lhe falta

Ou então

Por exemplo reconhecemos, supondo que um homem trabalhando durante 8 horas por dia, com uma manivela pode fazer continuamente um esforço de 25 lbs com uma velocidade de um pé por segundo, mas se forçarmos este homem a ser muito mais rápido crendo em avançar, há necessidade de retardarmos porque o homem não estará em estado de fazer um esforço continuado de 25 lbs durante 8 horas por dia, de sorte que a quantidade de ação FVT que ele produz diminuirá

O trabalho seria reduzido ao acionamento de uma manivela, nada além do necessário quando o objetivo era o de elaborar uma máquina capaz de substituir o trabalhador em tarefas simples com ganho de produtividade. Um trabalho conceitualmente dissociado do tempo, já que se resume à força necessária para a execução da tarefa.

Essa é a definição de trabalho que é adotada no livro de Coriolis: *Do Cálculo do Efeito das Máquinas*, em 1829. Obra que Oliveira considera como marco na história do conceito de trabalho já que é nela que o termo substitui as denominações anteriores de quantidade de ação ou potência mecânica.

Em seu trabalho, Coriolis introduziu depois a relação entre tempo e trabalho como forma de conciliar a sua definição, que era atemporal, com a noção intuitiva de que o valor econômico guardaria uma relação com a duração do esforço requerida para a realização de uma tarefa. Mas tanto para ele quanto para Navier, o trabalho como "moeda mecânica" teria que ser independente do tempo.

A partir daí o conceito físico de trabalho se dissocia do conceito econômico, o que de certa forma limitava a física em relação a um dos objetivos fundamentais que era a busca de soluções econômicas para a realização do trabalho:

Dentro deste quadro técnico-científico, Coriolis está consciente dos limites colocados ao projeto físico-econômico dos engenheiros politécnicos, o qual está fundado sobre o saber proveniente da mecânica do século XVIII. Quando se lança mão dos conceitos da mecânica racional, no sentido de resolver o problema econômico das máquinas eles se tornam insuficientes e estão em vias de serem substituídos por uma nova ciência

das máquinas, a termodinâmica, cujas bases cujas bases já haviam sido lançadas por Sadi Carnot poucos anos antes

(OLIVEIRA, 2006, p.235).

## 6 O CONCEITO DE INFORMAÇÃO

### 6.1 O PAPEL ECONÔMICO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO

O ser humano aprende através de uma acumulação sequencial de distribuições de frequência. A repetição de uma ação com diferentes resultados, produz uma percepção subjetiva do risco, em pessoas saudáveis. Damásio (1997) Elaborou o modelo de marcador somático, com base em experimentos de aprendizado e tomada de decisão projetados para essa finalidade.

O conhecimento adquirido através de estudo, leitura ou treinamento formal parte do princípio de que o instrutor é confiável e portanto o processo de tentativa e erro, e o acúmulo das frequências de resultados não precisa ser repetido. Apenas os resultados têm de ser memorizados, incorporados.

Ou seja, a essência do conhecimento humano está em um conjunto de distribuições de probabilidades, formais ou intuídas, para as diversas experiências da realidade do indivíduo.

Isso não quer dizer que o mundo seria probabilístico, mas sim de que a probabilidade seria o mecanismo básico do processo humano de apreensão da realidade.

Dessa forma, conceitos muito diversos como a irreversibilidade ao longo do tempo, a ideia de causalidade, a transmissão e interpretação de informação, a percepção de risco ou a atribuição de valor, repousam sobre o mesmo mecanismo essencial: O acúmulo de experiência sob a ótica humana na memória do indivíduo.

Isso vem se tornando progressivamente mais evidente, na medida em que esses conceitos têm sido formalizados, com o resultado surpreendente de que a estrutura formal de todos eles é essencialmente a mesma.

Então, a entropia termodinâmica e a entropia da informação não descreveriam características estruturais do universo, e portanto não precisariam ser

interpretadas como leis físicas que governam o universo, mas como a materialização da experiência adquirida pela humanidade.

Historicamente o conhecimento sempre foi reconhecido como uma das fontes do valor, mas a teoria econômica sempre considerou-o como um parâmetro não quantificável e que precisaria ser, na melhor das hipóteses, uma variável exógena do sistema.

Para os economistas clássicos a fonte da riqueza estaria na terra e no trabalho. Em *O Capital*, Marx delimita o papel da técnica ao de ampliar a exploração do trabalho e da terra, e tendo para isso o seu desenvolvimento incentivado pelo modo de produção capitalista **Fonte bibliográfica inválida especificada..** Mas não define a técnica-habilidade-conhecimento como um ativo, como algo passível de apropriação e, portanto de alienação. Entretanto é possível em uma leitura atualizada perceber na descrição da conversão da habilidade em máquina-ferramenta a essência de um processo de expropriação.

Os economistas neoclássicos a seu turno **Fonte bibliográfica inválida especificada.** em especial no modelo de crescimento econômico de Solon-Swan assumem a técnica como um dado externo que define uma isoquanta de produção ou de custo, entre várias outras, nesse caso o custo da técnica é incorporado ao modelo conceitual na forma do investimento a ser depreciado, de modo que o modelo torna-se ligeiramente mais abrangente. Ao detentor não apenas da habilidade, mas também dos meios para “comunicá-la” seja em um projeto conceitual, seja em uma máquina funcional, abre-se então a oportunidade de converter esse conhecimento em remuneração, recebendo antecipadamente por uma parcela da produção futura. Por outro lado, os equilíbrios neoclássicos presumem simetria de informação para os agentes econômicos. Essa outra parte do conhecimento, a informação, nunca está distribuída simetricamente, tendo sido apontada como sendo uma limitação significativa à teoria, em especial pelos

teóricos da NEI<sup>28</sup> como North. O modelo neoclássico torna-se então útil por aproximação, mas unicamente se o propósito é o de buscar uma função objetivo definida, geralmente lucro máximo, ou a sua contraparte, o custo mínimo. A abordagem neoclássica também é apropriadamente criticada por não embutir no modelo uma discussão humanística da meta a ser atingida. Não sendo pertinente ao modelo se a elevação da produtividade vai servir para libertar o ser humano de parte da sua carga de trabalho, ou para aumentar a pressão sobre o valor da hora trabalhada**Fonte bibliográfica inválida especificada..**

A síntese neo-schumpeteriana **Fonte bibliográfica inválida especificada.** buscou uma solução de continuidade para as organizações produtivas submetidas a um processo darwiniano de seleção, o que significa por vezes abrir mão dos resultados objetivos de curto prazo e reavaliar o papel da mão de obra na análise patrimonial. Para isso identificando na base de conhecimento e cultura da organização um conjunto de *firm specific assets*<sup>29</sup>, que são impossíveis de replicar porque resultam da trajetória histórica da firma. Esses ativos, materializados na equipe, patentes e práticas de negócio, constituem o diferencial competitivo de longo prazo, capaz de gerar uma apropriação econômica (e não apenas financeira ou contábil) desproporcional dos rendimentos gerados**Fonte bibliográfica inválida especificada..** Sob esse aspecto, o cerne da competição pelo futuro **Fonte bibliográfica inválida especificada.** não está na posse da ferramenta, ou da matéria-prima, no monopólio dos mercados consumidores, ou mesmo no acúmulo do capital. Todas essas vantagens competitivas são de alguma forma, transitórias e passíveis de depreciação.

A competição é sempre pelo conhecimento, tanto em sua forma de ciência: de saber-como. Quanto na forma de informação: de saber-o-quê. E o mecanismo

---

<sup>28</sup> NEI – Nova economia institucional

<sup>29</sup> Firm specific assets: Ativos específicos da firma. Estes ativos são principalmente constituídos pela cultura organizacional e conhecimento tácito da equipe, sendo um diferencial competitivo importante já que são resultado do processo histórico da organização e não são portanto imitáveis ou transferíveis.



dessa competição passa pela inserção dos agentes na definição da trajetória histórica**Fonte bibliográfica inválida especificada..**

## 6.2 A INTERPRETAÇÃO DE DANTAS SOBRE INFORMAÇÃO E ECONOMIA

O professor Marcos Dantas, titular da Escola de Comunicação da UFRJ. Doutor em Engenharia de Produção pela COPPE-UFRJ, é professor do Programa de Pós-graduação em Comunicação e Cultura da ECO-UFRJ e professor colaborador do Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação do IBICT-UFRJ possui uma obra extensa sobre a relação entre economia e informação, a partir de uma visão marxiana, discutindo como o conhecimento gera valor e como o desenvolvimento da tecnologia da informação tem sido alterado as relações, mas não a estrutura, do capitalismo.

Para ele (2006) a informação é definida como:

...uma modulação de energia que provoca algo diferente em um ambiente, algum tipo de ação ordenada, se nele existir algum agente capaz e interessado em captar e processar os sentidos ou significados daquela modulação.

Essa definição, expõe várias das dificuldades em se formalizar um conceito a partir de uma palavra cuja utilização na linguagem cotidiana está associada a uma contextualização, implícita ou explícita.

Ao falar em modulação de energia, tem de ser interpretado e é provável que esteja fazendo referência ao fato de que muito da interação entre o ser humano e o ambiente à sua volta é feita através da recepção de algum tipo de onda: eletromagnética ou sonora.

Em uma descrição um pouco mais rigorosa precisaríamos considerar que essa interação é feita sempre através de uma alteração da homeostase que será armazenada na memória, e que o que denominamos informação seria a fração dessa memória que é conscientemente associada a uma palavra-chave ou índice na nossa linha do tempo, de tal modo que torna-se possível recuperar intencionalmente a memória das alterações quanto realizar associações causais entre eventos. Além

disso, ao falar em "algo diferente em um ambiente qualquer" torna a definição tão vaga que faz com que perca sua utilidade para qualquer finalidade prática.

A análise sobre o papel econômico da informação buscou inserir a informação dentro de um modelo marxiano de criação de valor e circulação de mercadorias. Motivado pela percepção de que o fluxo de informação aumentado que foi observado na virada do século XXI definiu um novo padrão de acumulação do capital, baseado no trabalho de recuperar, processar, registrar e comunicar a informação.

Entretanto ao fazer isso é como se o valor econômico da informação só estivesse exercendo influência significativa sobre as relações sociais a partir da segunda metade do século XX, como decorrência do avanço das tecnologias de comunicação. O que é compatível com método marxista que precisa delimitar o contexto histórico do processo que está sendo analisado e acaba impondo restrições que talvez não precisassem ser seguidas tão estritamente. Como se o mundo deixasse de existir todas as vezes que fechamos os olhos, já que então não podemos vê-lo. Desse modo a relevância da informação sobre as relações sociais claramente não precisa ser restrita ao contexto da sociedade tecnológica da segunda metade do século XX em diante. Mais do que o trabalho, é o fluxo de informação que está na base das relações sociais.

Dantas chega a citar Brillouin (1960) mas não segue a definição de informação deste, que é formal e repousa sobre a capacidade do indivíduo em realizar escolhas baseado na probabilidade da ocorrência de um evento dentre as opções delimitadas por um conjunto fechado de eventos, o que ele desenvolve utilizando a entropia da informação de Shannon.

O modelo de Brillouin adota as limitações ao conceito de informação decorrentes do uso do conceito de entropia da informação de Shannon e de como esse conceito se relaciona com o uso corriqueiro da palavra informação (BRILLOUIN, 1960, p.9):

Nós adotamos na eq.1.1 uma definição estatística da palavra informação. Essa definição matemática será bastante útil na

discussão de vários problemas científicos e técnicos. Mas essa definição precisa é por isso mesmo uma limitação. Já que para obtê-la precisamos excluir e ignorar várias das conotações usuais para a palavra informação. Nós definimos informação como o resultado de uma escolha. ...Nossa definição estatística de informação é baseada apenas na escassez. Se a frequência de um evento é baixa ele contém informação.<sup>30</sup>

Mas a interpretação de que a quantidade de informações dependeria apenas dos caracteres da mensagem, independentemente de seu “conteúdo”, estaria sujeita à crítica de que frases coerentes teriam a mesma quantidade de informação que uma sequência de letras desconexas desde que ambas fossem compostas pelas mesmas letras, o que atribuiu-se a uma deficiência da definição.

Ocorre porém que a ortografia e a sintaxe também afetam a distribuição de probabilidade que define a quantidade de informação do conteúdo. De forma que uma mensagem que segue uma determinada ortografia e sintaxe obrigatoriamente terá uma entropia menor que uma sequência aleatória de caracteres. Na verdade, por definição se a distribuição de probabilidade for uniforme, e portanto a ocorrência de qualquer caractere for equiprovável, então a entropia atinge o seu ponto de máximo e a quantidade da informação é mínima.

O argumento posto dessa maneira parece ser tautológico, mas essa abordagem tem mais uma finalidade pedagógica, apelando à intuição ao mesmo tempo em que demonstra que a separação entre mensagem e conteúdo, que é motivo de discussão em vários autores (Brillouin, Georgescu-Roegen, Dantas), na prática resultaria de uma interpretação parcial do conceito.

Mesmo a negação da informação já constitui em si mesma uma informação. É esse caráter recursivo que faz com que a informação seja um processo não linear.

---

<sup>30</sup> We have selected in Eq.(1.1) a statistical definition of the word information. This mathematical definition will be very useful in the discussion of many scientific and technical problems...But this very precise definition is a limitation. In order to obtain it we must exclude and ignore many of the usual connotations of the word information. We define information as the result of a choice . Our statistical definition of information is based only on scarcity. If a situation is scarce, it contains information.

Além disso, o processo de troca de informação possui duas outras peculiaridades importantes, é não conservativo e irreversível.

A irreversibilidade do processo de troca de informação ocorre não porque a informação só possa fluir em um único sentido, do emissor para o destinatário, com  $\Delta H$  negativo. Mas sim porque uma vez transferida para o destinatário, a sua veiculação no sentido inverso não gera uma variação positiva da entropia. Em vez disso gera mais entropia negativa uma vez que ao devolver a mensagem para o emissor, o conteúdo da mensagem em si mesmo não aumenta o estoque de informação do emissor porque já fazia parte desse estoque, mas agrega a informação adicional de que o destinatário está confirmando que recebeu a mensagem correta e completa.

A irreversibilidade do processo de transmissão da informação, entretanto, não implica em que não ocorreria destruição ou perda de informação.

Ao estabelecer um paralelo entre as definições de informação de Dantas e Brillouin é possível compreender que, se por um lado a informação está na base do processo econômico, a sua definição estatística poderia fornecer o suporte quantitativo cuja falta acaba por impor limitações à instrumentalização dos conceitos dentro de um modelo marxiano.

A economia tendo seu eixo deslocado de uma teoria do valor para uma teoria da escolha teria forçosamente que, em algum momento, verificar seus conceitos e modelos sob a ótica da teoria da informação.

Pode-se criticar essa afirmação dizendo que a teoria da informação foi concebida exclusivamente para tratar os processos de codificação de mensagens e erros de transmissão de dados, o que é uma verdade, mas que ignora o fato de que a teoria da informação vem se desenvolvendo desde a publicação do artigo de Shannon (1962) e que já ampliou seu escopo para além do objeto original, sendo hoje muito mais um modelo dos processos de decisão sob incerteza e de acúmulo de informação pelo indivíduo ou pelas instituições.

Não se está postulando aqui que o ser humano é uma máquina de Turing e que todo o processo decisório humano é regido exclusivamente por um modelo matemático que poderia ser desenvolvido a partir do conceito da entropia da informação de Shannon. Mas apenas, de que esse é um modelo suficientemente bom para explicar alguns comportamentos que os mecanismos de escolha e os modelos de crescimento econômico neoclássico usualmente reconhecem como desvios do comportamento esperado, sendo tratados como adições ao modelo (Ramsey, Sala-I-Martin).

### 6.3 PRIMEIRAS DISCUSSÕES SOBRE O IMPACTO ECONÔMICO DO ERRO DE INFORMAÇÃO

Montenegro (2011) citando um artigo de Kelly (1956) faz referência a uma das primeiras aplicações do conceito de entropia da informação, que foi para tratar o processo de decisão em ambientes com resultados aleatórios e informação privilegiada.

Esse problema é semelhante ao paradoxo de São Petersburgo discutido por (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1954), no qual o jogador aposta uma fração do seu capital em um jogo de tudo ou nada sequencial. A questão levantada por Kelly era se o jogador, sabendo o resultado de antemão mas através de um canal de comunicação que tem alguma possibilidade de erro na interpretação da mensagem devido ao ruído do canal, teria sua chance de lucro aumentada, mas limitada exclusivamente pelo nível de ruído no canal de transmissão.

Dessa forma o processo se aproxima do paradoxo de São Petersburgo e se coloca como uma decisão a respeito da fração ótima do capital a ser apostada, dada a entropia da fonte,  $H(x)$ , para que o lucro seja máximo. Quando  $H(x)$  é máximo, a fonte tem probabilidade de erro de 50% e a informação antecipada perde a capacidade de agregar informação e o problema se assemelha ao do paradoxo de São Petersburgo. Quando a entropia da fonte é menor que  $H(x)_{\text{máx}}$ , e então é possível calcular o lucro máximo em  $N$  rodadas.

O aspecto interessante do trabalho de Kelly foi o fato de ter estabelecido uma relação formal entre a entropia da informação, o processo decisório e o potencial de ganho econômico.

## 7 O CONCEITO DE ENTROPIA

### 7.1 HISTÓRICO

É possível dizer que há poucas áreas do conhecimento onde a interface entre fenômenos sensíveis, como temperatura, pressão, volume e massa, além do tempo, interagem de forma tão explícita em constructos teóricos como calor, energia, trabalho, entalpia e entropia, como na termodinâmica.

Essa rede de conceitos foi elaborada principalmente ao longo dos séculos XVIII e XIX, em parte como decorrência da revolução científica do século XVII, e em parte como decorrência da evolução da técnica a partir do renascimento. Flamm, estabelece um marco no século XVII (FLAMM, 1997), como o momento em que foi estabelecida a natureza física do ar e da atmosfera. Estes conceitos eram pré-requisitos para a formalização do conceito de pressão e da lei dos gases.

Assim, no primeiro grupo de fenômenos sensíveis a serem transformados em conceitos formalizados temos a temperatura, que passou a ser passível de medição com os primeiros termômetros, desenvolvidos no século XVIII (1717 Fahrenheit e 1742 Celsius), a partir dos termoscópios do século XVII (Cornelis Drebbel, Robert Fludd, Galileo Galilei e Santorio Santorio).

O fato de se medir a temperatura permitiu separar o fenômeno da temperatura, da noção intuitiva de calor. A temperatura refletia um estado definido do material e percebido sensorialmente, enquanto o calor passou a representar uma entidade que ao ser transferida de um material para outro alteraria suas temperaturas. A aceção do calor como uma substância mantinha certa relação com a hipótese do flogístico (Becher, Stahl, Scheele) e do calórico (Lavoisier, Bertholet, de Fourcroy, de Morceau) ambas concepções materialistas em contraposição a abordagem impregnada de metafísica da mecânica newtoniana.

A elaboração dos fundamentos daquilo que posteriormente passou a ser conhecido como termodinâmica clássica, foi desenvolvida por Sadi Carnot (1824) ainda com base no modelo do fluido calórico, principalmente sob influência dos trabalhos de Black (1803).



Como um constructo teórico, a quantidade de calor (Q) não poderia ser medida diretamente, mas teria que ser calculada a partir de algum fenômeno sensível, por exemplo, a massa do objeto e a variação da temperatura:

$$Q \approx m \cdot \Delta T$$

Porém, a definição acima estaria incompleta já que a quantidade que está sendo transferida dependeria também de alguma característica intrínseca do material. Isso era compatível com a experiência sensorial de que algumas substâncias conduziam bem o calor enquanto que outras pareciam conduzi-lo muito mal.

A percepção de que o calor era alguma coisa que “fluía” de um corpo para outro, era consistente com a teoria do fluido calórico, cuja medida seria a quantidade de calor Q e então a proporção acima teria que ser modificada por uma constante que introduzisse a quantidade de fluido calórico que estaria sendo transferida. Essa constante dependeria de cada material, o “calor específico” do material, que foi proposta por BLACK (1803) e expressa em calorias por grama vezes grau Celsius (C). A definição de calor seria então dada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

O calor específico seria uma propriedade mensurável de cada material, medindo-se a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama do material em um grau Celsius.

Note que essa definição é circular. A quantidade de calor é definida pelo calor específico, mas a medição do calor específico depende da quantidade de calor. A solução adotada para resolver isso foi a de definir uma quantidade de calor padrão. Então uma caloria foi definida como sendo a quantidade de calor necessária para aquecer um grama de água em um grau Celsius. Daí todos os demais materiais passam a ter seus calores específicos medidos relativamente ao da água. Pode-se discutir que isso transforma a medida de calor em uma propriedade ordinal, ao invés de cardinal, uma vez que toda a tabela de calores específicos é um índice do comportamento de várias substâncias em relação ao referencial arbitrário da água.

A teoria do fluido calórico era essencialmente macroscópica e conservativa, de forma que não requeria ou pressupunha um modelo particulado para descrever os processos de transferência de calor ao mesmo tempo em que o calor não seria criado, estando presente na forma de temperatura ou na forma de calor latente, um calor que estaria contido no material e que seria liberado nos processos químicos ou de mudança de fase.

Entretanto isso criava algumas dificuldades para o modelo de Black, já que a influência da velocidade de compressão não deveria justificar diferenças na quantidade de calor gerado, o que era incompatível com os resultados experimentais. (FALK, 1985) comenta que os resultados práticos obtidos com os modelos desenvolvidos por Black, eram suficientemente importantes para que as contradições das mudanças de temperatura com quantidade de calor constante em virtude da mudança na pressão fossem relegadas.

Carnot levantou a questão da relação entre calor e trabalho, ainda dentro do modelo do calórico, mas introduzindo algumas alterações em relação ao trabalho de Black:

- a) Substituição da escala de temperatura arbitrária utilizada por Black, pela escala absoluta proposta por Lorde Kelvin.
- b) Carnot introduz além do calor, uma outra variável extensiva na forma de Energia ( $E$ ). Isso resolvia a questão do calor como uma variável conservativa, de tal forma que o calor poderia ser criado, mas não destruído, deixando de ser conservativo. Enquanto isso, a partir do enunciado de Joule, a energia assumia o caráter conservativo dentro de uma teoria do calor.

Com isso o trabalho de Carnot estabeleceu as leis da termodinâmica, e ainda que sob o nome de calórico, a definição de Carnot é essencialmente o que a partir de 1865 Clausius adotou com a denominação de entropia.

Em 1851, James Prescott Joule publicou um artigo no qual retomava o modelo particulado de comportamento dos gases com base na energia cinética das partículas. Esse modelo de “jogo de bilhar” já havia sido utilizado por Daniel

Bernoulli em 1738 (FLAMM, 1997), mas teve pouca repercussão. O artigo de Joule também não foi imediatamente reconhecido, até ser citado por Clausius em 1857.

A despeito de seus méritos, o modelo particulado sofria críticas pela sua dependência do conceito de energia, cuja capacidade de se “metamorfosar” passando de uma forma para outra, implicava em que calor e trabalho teriam de ser diferentes aparições da mesma entidade.

## 7.2 UMA NOVA COMPREENSÃO DO SIGNIFICADO DA ENTROPIA

O conceito de entropia estatística proposto por Boltzmann foi duramente criticado por não explicar a seta do tempo e, pior ainda, não ser capaz de justificar a irreversibilidade dos processos. De forma que Boltzmann viu-se obrigado a aceitar, por hipótese, que em um tempo suficientemente longo, todos os processos seriam reversíveis.

Essas críticas foram utilizadas por Georgescu-Roegen para invalidar a utilização da entropia estatística em sua análise do processo econômico. Para ele, apenas o conceito da entropia termodinâmica clássica seria necessário e suficiente.

Além disso, o fato de excluir a entropia estatística do seu modelo implicou também em negar a identidade entre a entropia termodinâmica e a entropia da informação de Shannon. O fato de que essa negação não é trivial pode ser observado no esforço realizado por Georgescu-Roegen, que dedicou o apêndice B de *The Entropy Law and the Economic Process* inteiramente a essa refutação.

Entretanto, se o conceito da entropia da informação de Shannon for compreendido não como a formalização dos fenômenos termodinâmicos, mas como um modelo descritivo do processo de construção do estoque de informação pelo indivíduo, inclusive da informação sobre os processos termodinâmicos. Seja através do processo de comunicação com outro indivíduo, o caso estudado por Shannon, seja pela interação direta com o meio ambiente, então é possível compreender que esse processo ocorre dentro da seta do tempo, e não apenas isso, mas que também seja irreversível e preferencialmente orientado no tempo.

Note-se que essa orientação não é necessariamente um fenômeno físico. Mas a característica humana de acumular informação ao longo do tempo, e também de perceber essa informação como um contínuo.

O fato de converter o conceito de entropia em algo antropocêntrico foi o motivo pelo qual Prigogine (1996, pp. 37,39) também criticou a ideia de que a entropia termodinâmica e a entropia da informação sejam a mesma coisa, e ressaltou o caráter surpreendente da destruição da equivalência entre a descrição individual e a descrição estatística dos sistemas de partículas:

A noção de probabilidade introduzida empiricamente por Boltzmann foi um lance de audácia imensamente fértil. Mais de um século depois, estamos começando a compreender como ela emerge da dinâmica através da instabilidade: esta última destrói equivalência entre o nível individual e o nível estatístico, de sorte que as probabilidades ganham, então, um significado intrínseco, irreduzível a uma interpretação em termos de ignorância ou de aproximação.

Mas é justamente o fato de se tratar de um conceito antropocêntrico que faz com que o conceito de entropia da informação assuma um caráter tão significativo para a análise econômica. A identidade entre a entropia estatística e a entropia da informação estabelece uma ponte entre a participação dos recursos naturais na economia, a informação cristalizada na forma de capital e o trabalho humano, o qual por sua vez é um compósito de entropia termodinâmica, como decorrência do trabalho mecânico aplicado pelo indivíduo, ainda que essa parcela seja cada vez menor, até o ponto de ser desprezível relativamente ao trabalho intelectual e ao uso de habilidades acumuladas pela experiência, que podem ser descritas pela entropia da informação.

Essa conexão não se deve a uma identidade universal dos fenômenos físicos, que reduziria todos os parâmetros econômicos a um conjunto de escalares comensuráveis, mas sim a uma limitação universal do ser humano que precisa submeter tudo a uma codificação básica que é então passível de ser acumulada pela memória.

Como a seu turno, o processo econômico é um fenômeno humano, cuja origem e essência está na percepção do tempo acumulado na memória e então por consequência, na antecipação do futuro, imaginado como um prolongamento do passado. É de se esperar que todos os seus elementos básicos sejam redutíveis ao denominador comum de uma unidade de informação.

### 7.3 O TRATAMENTO PROBABILÍSTICO DA INFORMAÇÃO

A partir do ponto de vista econômico, transmitir, receber e processar (entender) um texto ou mensagem, tem um custo e exige um esforço que somente se justifica se o benefício esperado é maior que o custo. O benefício depende da quantidade de informação contida na mensagem<sup>31</sup> (MONTENEGRO, 2011)

No parágrafo acima, MONTENEGRO estabelece como pressuposto da relação entre informação, entropia e economia, a noção de que a informação é um insumo, cuja utilização está sujeita a uma lógica econômica de equilíbrio de custo em relação a uma função utilidade. Também deixa aparente a dificuldade inerente a esta abordagem, que é a ausência de definições objetivas para uma série de elementos essenciais a essa análise. A definição de informação, se de algum modo a informação se distingue do conteúdo da mensagem, como são calculados esses custos, e qual é a medida de benefício a ser considerada.

Para lidar com essa questão, MONTENEGRO discute se, para uma mensagem que afirma: “o sol nascerá amanhã” existe alguma quantidade de informação adicionada.

A conclusão é que a quantidade de informação adicionada é desprezível, já que a grande maioria das pessoas é capaz de concordar, seja com base em sua experiência individual, seja com base em registros históricos, seja com base na

---

<sup>31</sup> Desde el punto de vista económico, transmitir, recibir y processar (entender) un texto o mensaje tiene un costo y exige un esfuerzo que solo se justifica si el beneficio esperado es mayor que el costo. El beneficio depende del nivel de información contenido en el mensaje

crença em um modelo conceitual do movimento dos planetas, que não há razões para imaginar que o sol não nascerá amanhã.

Porém, a mensagem: “o sol não nascerá amanhã”, contém uma quantidade adicional de informação, já que contraria nossa experiência passada e portanto nossas expectativas, construídas como uma função distribuição de probabilidade, pelo acúmulo de observações passadas do mesmo evento.

Intuímos que quanto maior for a surpresa daquilo que se transmite, maior será a quantidade de informação que contém a mensagem e vice-versa. O grau de surpresa pode ser associado ao conceito de probabilidade matemática; a surpresa é maior quanto menor seja a probabilidade de ocorrência do evento descrito e vice-versa. Especificamente, a quantidade de informação é inversamente proporcional à probabilidade de ocorrência do evento em questão.<sup>32</sup> (MONTENEGRO, 2011, p. 200)

Nessa linha de raciocínio, eventos com probabilidade igual a um, não agregariam nenhuma informação adicional, enquanto eventos com probabilidade zero agregariam informação máxima. O que poderia ser considerado como uma simplificação exagerada.

Ocorre que nos eventos extremos, com probabilidade igual a 0 ou 1, sempre se obtém o máximo de informação. Já que ou o evento certamente ocorre, ou o evento certamente não ocorre. O ponto de mínima quantidade de informação ocorre

---

<sup>32</sup> Intuímos que cuanto mayor se la sorpresa de lo que se transmite mayor será la cantidad de información que contiene mensaje, e vice-versa. El grado de sorpresa s puede asociar al concepto de probabilidad matemática; la sorpresa es mayor cuanto menor se ala probabilidad de ocurrencia del evento reportado y vice-versa. Especificamente, la cantidad de información es inversamente proporcional a la probabilidad de ocurrencia del evento in cuestión

exatamente quando todos os eventos possíveis são equiprováveis. Como no exemplo do gráfico a seguir<sup>33</sup>:

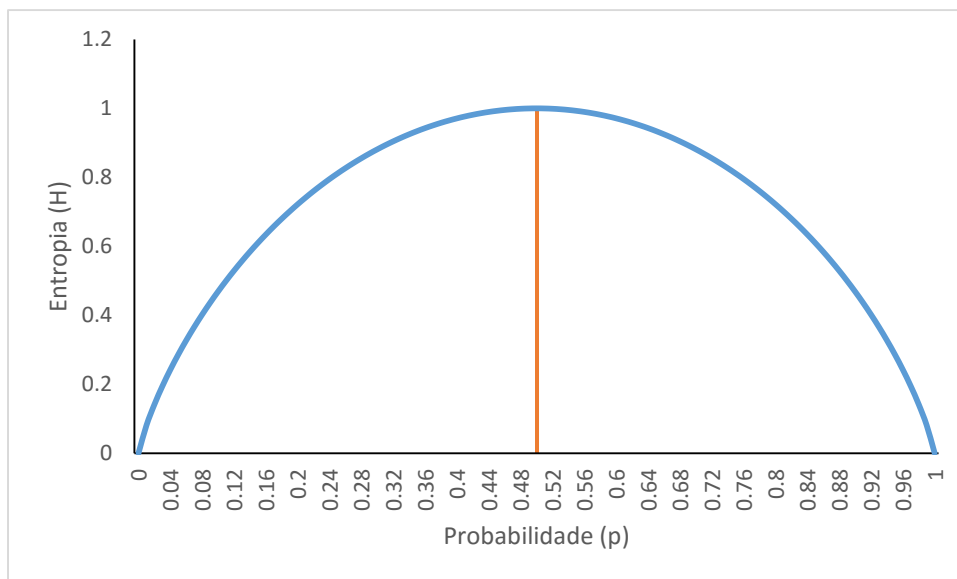


Figura 3 - curva de entropia como função da probabilidade

Isso significa, que eventos equiprováveis são os que sob a ótica econômica requerem menor esforço na obtenção da informação, uma vez que todas as opções igualmente prováveis, o tomador de decisão é indiferente a qualquer uma delas, ao mesmo tempo em que na hipótese de um prognóstico bem sucedido, o prêmio é o mais alto. De modo que conceitos como informação, expectativa, risco, prêmio e utilidade são não apenas correlacionados pelo hábito. Mas expressões diferentes de um fenômeno comum que é a maneira pela qual o ser humano acumula experiência, e de como esse reservatório de experiência molda as relações do homem com a natureza e com a sociedade.

Assim, é possível estabelecer um conceito de informação baseado na probabilidade de ocorrência de cada evento, o que é conveniente porque se aproxima do conceito da medida de informação de Shannon, ainda que o conceito

---

<sup>33</sup> No gráfico a função de distribuição de probabilidade é uma binomial em 100 lançamentos. Nestas condições a entropia é calculada como  $H = -p \log p - (1-p) \log(1-p)$  na base 2 e como resultado é expressa em bits. (BEM-NAIM, 2012 p.64).

de medida da informação de Shannon não seja estritamente ligado ao conteúdo de uma mensagem, mas apenas à quantidade de dados transmitida.

Mas do ponto de vista econômico, não apenas a probabilidade do evento conta, mas também o fato de que ela possa ser considerada como útil pelo destinatário, se aproximando do conceito de utilidade da economia neoclássica, se e somente se, a mensagem representar um acréscimo de informação àquela já existente no repositório do destinatário.

Essa variação da quantidade de informação no repositório do destinatário vai caracterizar uma mudança de estado nesse repositório. O que é compatível com a descrição fornecida pela medida de informação de Shannon (SMI), que define uma equação de estado para o sistema. Dito de outra forma, a entropia da informação (que Brillouin denominava de negentropia) é a diferencial da SMI entre os dois estados do repositório destinatário, antes e depois de receber a mensagem.

De maneira genérica, pode-se descrever uma grandeza chamada informação (I) como uma função da probabilidade de ocorrência de um evento (P), de tal modo que a informação diminui na medida em que a probabilidade da ocorrência do evento se eleva. Ou seja:  $I=F(1/P)$  (MONTENEGRO, 2011, p. 201).

Assumindo I como uma quantidade positiva, contínua em P, e que atinge máximo, igual a 1, então  $I(1)=0$ .

Para essas condições, CHEN e ALAJAJI (2005) demonstram que  $I=\log 1/P=-\log P$ .

Para uma conjunto de mensagens  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ ; cada uma caracterizada por uma probabilidade de ocorrência  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ , respectivamente, onde a probabilidade total:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = 1$$



Então, uma sequência de mensagens (S) de tamanho (N) pode assumir várias configurações diferentes, sendo que a probabilidade de uma configuração em particular é dada por :

$$P(S) = (P_1)^{P_1N} \cdot (P_2)^{P_2N} \dots (P_n)^{P_nN}$$

E se a informação é dada por:

$$I = -\log P$$

A medida da informação de Shannon (SMI) contida na sequência de mensagens (S), será dada por:

$$I(S) = -\log P(S) = -\log(P_1)^{P_1N} \cdot (P_2)^{P_2N} \dots (P_n)^{P_nN}$$

Que vai ser a diferença na quantidade de informação adicionada ao repositório após o recebimento da mensagem.

Note-se que a informação não é conservativa, de modo que na transferência de informação entre dois repositórios, o destinatário da mensagem aumenta seu estoque de informação em  $I(S)$ , mas o estoque de informação do emissor não se reduz.

Pelo contrário, agora o emissor detém a informação adicional que é o conhecimento de que o destinatário recebeu a mensagem (S), em um exemplo simplificado onde não ocorre perda no canal, e que seu estoque de informação foi aumentado em  $I(S)$ .

Além disso, quando a mensagem (S) é armazenada pelo destinatário, o conjunto final de mensagens potencialmente geradas pelo destinatário não aumenta em uma única unidade, mas em uma combinação de S com todo o estoque existente.

Assim, se o estoque de informação do destinatário continha n mensagens, a introdução da mensagem adicional (S), implica em um novo estoque, dado pelo número de combinações em potencial:

$$Novo_{estoque} = C_r^{n+1}$$

Onde  $r$  é o tamanho da nova mensagem, que vai desde a mensagem original unitária, até uma mensagem máxima que é a combinação de todas as  $n$  mensagens do repositório, de forma que  $1 \leq r \leq n + 1$ .

E o número total de mensagens no estoque aumentado será dado por :

$$Novo_{estoque} = \frac{(n+1)!}{r!(n+1-r)!} = \frac{(n+1)!}{r!n!}$$

E a nova quantidade de informação do estoque será dada por:

$$I(E) = - \sum_{i=1}^E P_i \log P_i$$

Utilizando o conceito de entropia da informação multivariada, (MONTENEGRO, 2011) (BEN-NAIM, 2012), na qual avalia-se a quantidade de informação de um evento, dado que se conheça a probabilidade de outro evento correlato.

Se as duas sequências de mensagens  $X$  e  $Y$  são independentes, o conhecimento de uma não diminui a incerteza em relação à outra. Assim, a entropia da informação será dada pela probabilidade conjunta de  $X$  e  $Y$ :

$$P(X, Y) = P(X_i) \cdot P(Y_j)$$

Para a sequência  $X$  contendo  $i$  mensagens, enquanto a sequência  $Y$  contém  $j$  mensagens, de modo que a quantidade de informação da distribuição conjunta será dada por:

$$I(X, Y) = - \sum P(x, y) \log P(x, y)$$

$$I(X, Y) = I(X) + I(Y)$$

Como a entropia da informação  $I(X,Y)$  é positiva para  $0 \leq P \leq 1$ , então a adição de  $I(X)$  a  $I(Y)$  aumenta a quantidade  $I(X,Y)$ , o que tem que ser interpretado como um aumento na incerteza associada ao estado do sistema.

Isso pode ser ilustrado pelo exemplo de um jogo de dados.

Para um único dado, o número de resultados possíveis é 6, enquanto que para dois dados o número de resultados se eleva para 36.

Entretanto, ao adicionar uma nova mensagem ao repositório destinatário, a quantidade de informação sobre o sistema aumenta, ainda que a incerteza, do ponto de vista matemático, aumente junto. Uma descrição alternativa para isso pode ser feita utilizando-se ainda o exemplo dos dados:

- a) Para um dado teremos apenas 6 resultados possíveis, mas se o sistema não se limita àquele dado em particular, mas abrange todos os dados do universo teríamos:

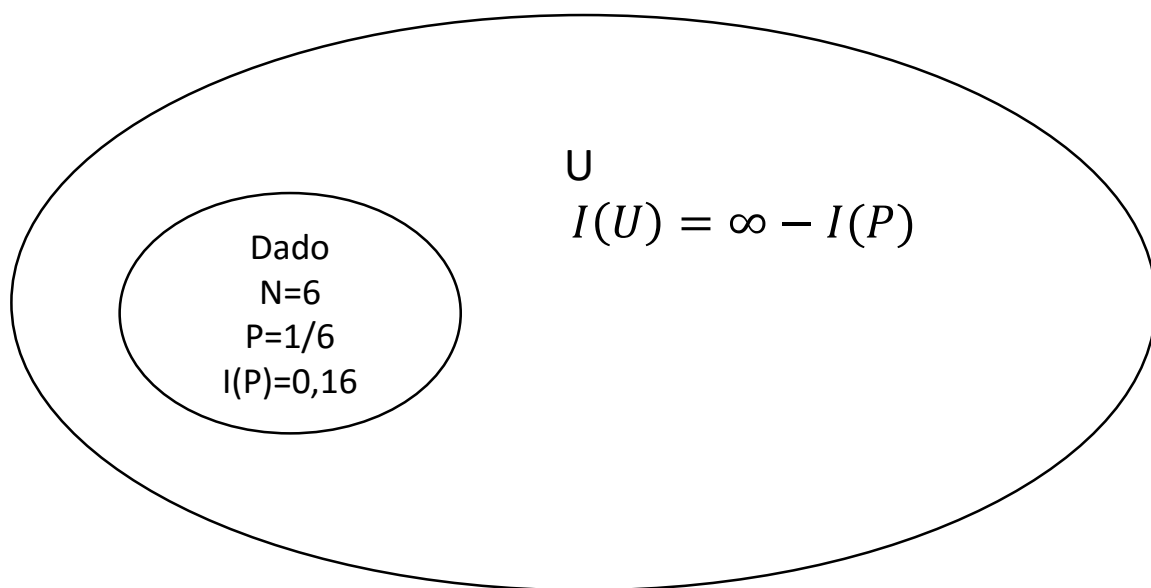


Figura 4 - Quantidade de informação de um dado em relação ao universo

- b) Quando incorporamos um segundo dado ao repositório, N se eleva de 6 para 36, de modo que a entropia da informação para a distribuição conjunta seria:

$$I(6,6) = 0,16 + 0,16 = 0,32$$

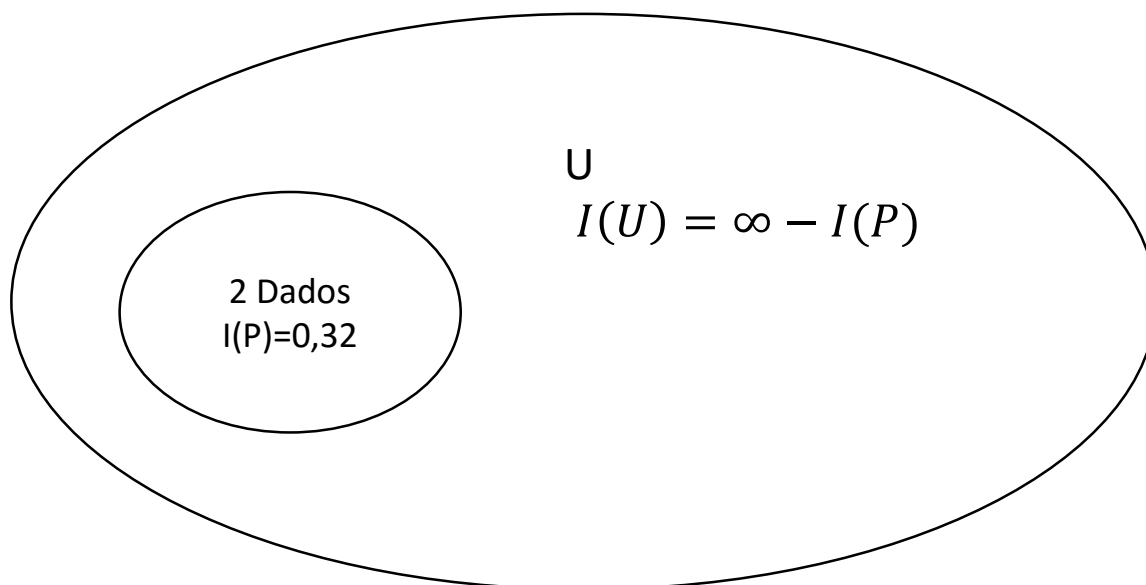


Figura 5 - Quantidade de informação de dois dados em relação ao universo

Ou seja a incerteza sobre o sistema conhecido aumenta em uma quantidade definida, enquanto que a incerteza sobre o universo é diminuída em um infinitésimo  $\frac{dI}{dN}$ .

Essa redução na incerteza sobre o universo tem implicações econômicas consideráveis, já que conhecer um evento e a sua probabilidade de ocorrência permite ao agente econômico planejar dois conjuntos de decisões, um para quando o evento ocorre, e outro para quando não ocorre.

Ainda mais significativo é o caso em que as mensagens tratam de eventos não independentes. Nesta situação o conhecimento de uma das mensagens condiciona a probabilidade de ocorrência da outra. Isso faz com que a probabilidade do evento dependente seja limitada a, no máximo, a probabilidade do evento independente. Então, a probabilidade condicional, de Y em relação a X, será dada por:

$$P(y_j, x_i) = \frac{P(y_j \cdot x_i)}{P(x_i)}$$

E a quantidade de informação associada a esta probabilidade é dada por:

$$I(Y, x_i) = - \sum_{j=1}^n p(y_j/x_i) \log p(y_j/x_i)$$

A entropia condicional de Y dado X é definida pelo valor medio de  $I(Y, x_i)$ :

$$I(Y/x_i) = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot I(Y, x_i)$$

$$I(Y/x_i) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot - \sum_{j=1}^n p(y_j/x_i) \log p(y_j/x_i)$$

$$I(Y/x_i) = - \sum_{i,j}^n p(x_i \cdot y_j) \cdot \log p(x_i \cdot y_j)$$

$$I(Y/X) = I(X, Y) - I(X)$$

Ou seja, a entropia condicional de Y/X é uma medida da redução na probabilidade de cada um dos estados possíveis do sistema, quando se insere uma nova informação, e essa informação trata de um evento dependente da informação já disponível no repositório. Neste caso, o aumento da incerteza é menor que seria se os eventos fossem independentes e pode ser formalizada como:

$$I(X, Y) = I(X) + I(Y/X) = I(Y) + I(X/Y)$$

BEM-NAIM (2012, p.97) apresenta um diagrama que ilustra as relações entre as entropias das mensagens para um sistema contendo X e Y:

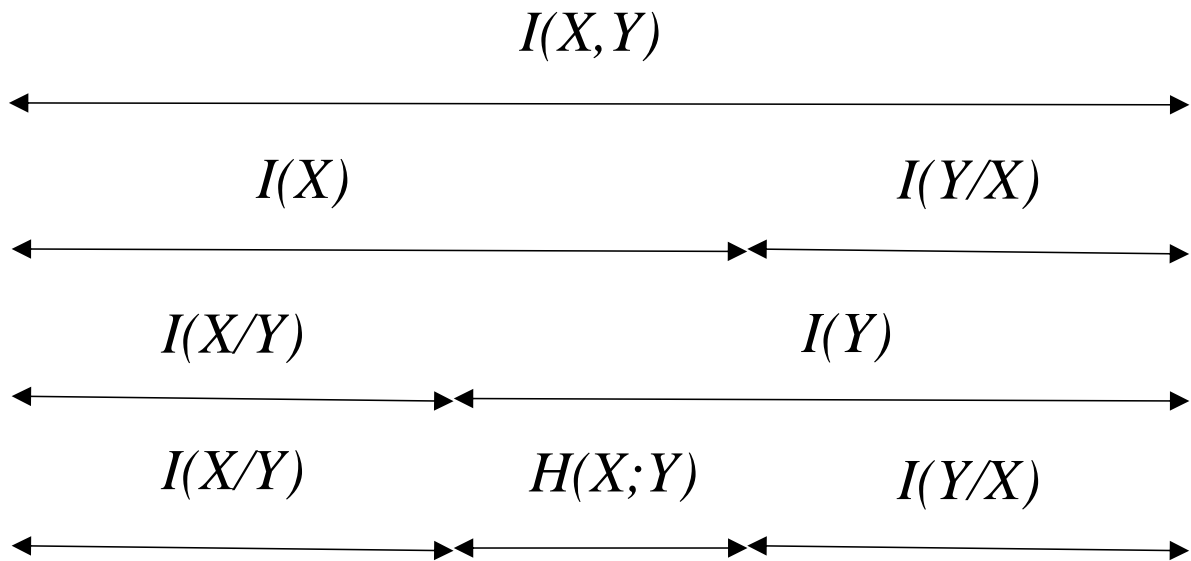


Figura 6 - Entropia bivariada de duas mensagens

Onde  $H(X;Y)$  é a média do logaritmo da correlação entre  $X$  e  $Y$ , e pode ser interpretado como a extensão da dependência em  $X$  e  $Y$  (BEN-NAIM, 2012, p. 96).  $H(X;Y)$  seria a informação adicional criada em decorrência da recepção da mensagem  $X$  pelo destinatário que a incorpora à informação  $Y$ , que já estava disponível anteriormente no seu repositório.

MONTENEGRO (2011, p.208) refere-se ao fato de que  $H(X;Y)$  é igual a  $H(Y;X)$ , ponderando que essa simetria reflete o fato de  $H$  representar a informação que uma variável é capaz de fornecer a respeito de outra. Portanto, no caso especial em que  $H(X;Y)=H(Y;X)=0$ , as variáveis  $X$  e  $Y$  são independentes.

Por fim, é possível desenvolver a mesma análise das expressões de entropia e entropias multivariadas para funções de distribuição de probabilidades contínuas, de tal modo que:

$$I(X) = - \int f(x) \log f(x) dx$$

$$I(X, Y) = \iint f(x, y) \log f(x, y) dy dx$$

$$I(X/Y) = I(X, Y) - I(Y) = - \iint f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{f(x)} dy dx$$

$$H(X; Y) = I(X) + I(Y) - I(X, Y) = - \iint f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{f(x) \cdot f(y)} dy dx$$

## 7.4 AS DUAS ABORDAGENS AO USO DA ENTROPIA EM ECONOMIA

1. A entropia termodinâmica como variável fundamental do crescimento econômico desenvolvida por Georgescu-Roegen. Esta abordagem vê a entropia como um "estoque", que ele chama de fator de fundo. Uma visão que parece herdada do fluido calórico e do flogístico. Esse estoque de reposição praticamente limitada ao influxo de radiação solar imporia uma limitação física não apenas ao crescimento econômico mas ao tamanho da população e às expectativas da sociedade em termos de conforto material, liberdade de escolha e legado para gerações futuras.
2. A entropia da informação como parâmetro econométrico proposto por Theil, computa o ganho de informação obtido quando se realiza um exercício de previsão (*forecasting*).



## 8 O PROCESSO ECONÔMICO NA VISÃO DE GEORGESCU-ROEGEN

### 8.1 A CONCEPÇÃO DE VALOR E DE CRESCIMENTO ECONÔMICO DE GEORGESCU-ROEGEN

Em seu livro, *The Entropy Law and The Economic Process* (1971) Georgescu-Roegen elabora muito cuidadosamente o seu modelo econômico, para então verificar como a degradação entrópica afeta a lógica econômica e quais seriam as implicações éticas destas relações.

### 8.2 A DESCRIÇÃO INICIAL DO SISTEMA ECONÔMICO

É importante notar neste modelo a economia é vista como um sistema, descrito inicialmente de modo simplificado mas que aos poucos vai revelando a sua natureza complexa.

Diagramaticamente o modelo do sistema econômico parte de um *processo elementar*, delimitado por uma fronteira, dentro destas fronteiras há um conjunto de *estoques*, este conjunto de estoques é alterado ao longo do tempo, seja por fluxos que atravessam as suas fronteiras. Como na figura a seguir:

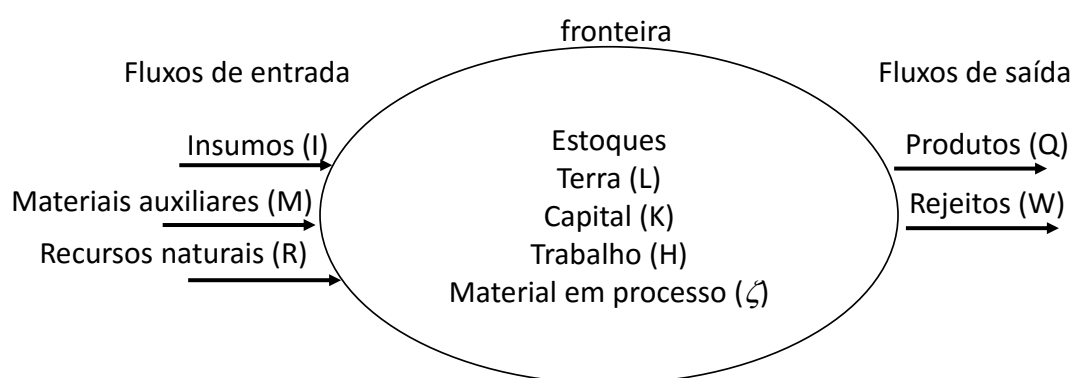


Figura 7 - O sistema econômico de Georgescu-Roegen

Uma ressalva importante é que os modelos econômicos existentes procuravam reduzir a descrição formal do sistema utilizando unicamente os fluxos, ou os estoques.

Em um primeiro grupo, o processo então seria caracterizado pelo fluxo que atravessa as suas fronteiras em um intervalo de tempo delimitado. Neste caso, toda a observação é feita externamente ao sistema, e não haveria nenhuma descrição da mecânica das transformações internas à fronteira.

No segundo caso, o processo seria caracterizado em função das alterações na composição dos estoques (representada pela letra  $S$ , e tendo o duplo significado de *Stocks* e *Stores*) entre dois instantes de tempo. Esse tipo de modelo não informa sobre as causas das alterações nos estoques. Se seriam decorrentes dos fluxos que atravessam as fronteiras do sistema, ou se decorreriam de processos internos, sem fluxos associados, ou finalmente, se as alterações decorreriam de uma combinação entre os fluxos e os processos internos.

Se  $\Delta S = S(t) - S(t_0)$ , onde  $\Delta S$  seria a variação total do estoque no intervalo de tempo. O fluxo, aparentemente, poderia ser calculado como  $\int_0^t S dt$ , para uma única mercadoria. Para um conjunto de  $n$  mercadorias o fluxo seria calculado como  $\int_0^t \sum_{i=1}^n S_i dt$ , assumindo-se que os estoques das diversas mercadorias são representados na mesma unidade de medida.

Mas essa abordagem iria requerer que os diversos estoques fossem “inertes”, isto é, que o processo econômico contemplasse apenas as transações de compra, armazenagem e venda. Caso existisse dentro das fronteiras do sistema alguma operação de transformação: montagem, desmontagem, fabricação, sucateamento, reação química ou tratamento físico, as variações nos estoques seriam contabilizadas como fluxos o que estaria em desacordo com o fenômeno observável.

Então, para caracterizar mais acuradamente um sistema, teríamos que mapear tanto a evolução dos estoques quanto os fluxos que atravessam as fronteiras do sistema.

Por isso, Georgescu-Roegen buscou uma função de produção de um processo econômico que contemplasse as variações daquilo que ele denominou

“fundos”, que abrangeriam os estoques bem como o capital, e também dos valores cumulativos dos “fluxos”.

Isso naturalmente requer uma delimitação e caracterização do que seriam considerados os fundos, como por exemplo no caso dos investimentos em máquinas (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 226):

Uma máquina é certamente material estoque, mas não no mesmo sentido que a palavra possui quando dizemos: “um estoque de carvão”. Se insistimos em manter a mesma palavra é no sentido de que a máquina é um estoque de serviço (usos). Entretanto, uma maneira mais apropriada (e portanto segura) de descrever uma máquina é dizer que esta é um fundo de serviços<sup>34</sup>.

Da mesma forma é preciso delimitar a diferença entre “estoques” e “fundos” (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 226):

A utilização de um fundo (ou seja, sua “desacumulação”) requer uma duração. Mais do que isso, essa duração é determinada dentro de limites estreitos, pela estrutura física do fundo.<sup>35</sup>

Ou seja, um fundo para ser consumido requer um certo período de tempo. Já que a sua taxa de consumo é limitada. A ideia é de que um fundo é constituído de máquinas ou instalações que se desgastam proporcionalmente à produção que geram. Como a capacidade de produção desses equipamentos é sempre finita, então a vida útil do equipamento depende da taxa de desgaste em relação à produção, de um lado, e do nível de utilização da capacidade produtiva, por outro.

---

<sup>34</sup> A machine is a material stock, to be sure, but not in the sense the word has in a “stock of coal” If we insist in retaining the word, we say that a machine is a stock of services (uses). But a more discriminating (and hence safer) way of describe a machine is to say that it is a fund of services

<sup>35</sup> The use of a fund (i.e. its “decumulation”) requires a duration. Moreover , this duration is determined within very narrow limits by the physical structure of the

Daí ele descreve o que seria um estoque (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 227):

Em contraste, a “desacumulação” de um estoque pode, em tese, ocorrer em um único instante, se assim desejarmos.<sup>36</sup>

E adicione-se a isso: (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 227)

Uma máquina não é montada pela acumulação dos serviços que ela fornece.<sup>37</sup>

Assim, os estoques são resultado de uma acumulação de um mesmo material, seja através do recebimento desse material através das fronteiras do sistema, seja através do processo interno de transformação.

Do ponto de vista da informação, a única informação disponível no estoque é a sua quantidade, além da especificação qualitativa do material. Um “fundo”, por sua vez, seria constituído por máquinas, ferramentas, instalações, e neste caso a quantidade de informação contida no fundo não se restringe à definição daquilo que ele produz. Em vez disso, o fundo contém a informação das etapas necessárias para o processamento e produção dos bens. Mas não apenas isso. A máquina é a forma cristalizada do conhecimento necessário para a execução de uma tarefa, ao mesmo tempo em que é produto do conhecimento necessário para a sua confecção.

Toda a descrição proposta por Georgescu-Roegen se inicia naquilo que ele denomina como processo elementar, então inicia uma análise dos diversos arranjos produtivos, com o objetivo de estabelecer um método que torne possível agregar os diversos processos elementares, sem incorrer em dupla contagem, e ao mesmo tempo capturando as sinergias resultante da integração das cadeias produtivas.

---

<sup>36</sup> In contrast with this, the decumulation of a stock may, conceivably, take place in one single instant, if we wish so

<sup>37</sup> A machine does not come in existence by the accumulation of the services it provides

É necessário então descrever os diversos arranjos produtivos: em paralelo, em linha e em centros de trabalho, para encaixar esses arranjos dentro do modelo de fundos e fluxos. Assim, exceto pela linha de montagem, os arranjos têm sempre uma ociosidade intrínseca, em seus “processos elementares” e isso torna difícil a contabilização dos recursos no tempo.

Nessa discussão, é importante levar em consideração o contexto histórico em que Georgescu-Roegen escreve. No início da década de 1970, os modelos teóricos de gestão industrial ainda estavam firmemente assentados sobre a lógica fordista. Caracterizada pela tríade baixa variedade/alto volume/produção em linha. A essa época, as inovações em gestão da produção introduzidas pela indústria japonesa ainda estavam restritas ao chão de fábrica, só sendo reconhecidas pela comunidade acadêmica a partir da segunda metade da década de 1980 (WOMACK, 1992), bem como as implicações da informatização e da robótica que só iriam se firmar a partir da década de 1990.

WOMACK (1992) realizou estudos entre 1971 – 1991 e trouxe à baila as questões ligadas a eficiência dos diferentes arranjos produtivos em função de fatores como diferenciação postergada (*postponement*), customização e *mix* de produção. A partir desses estudos tornou-se evidente que arranjos produtivos flexíveis geravam ganhos econômicos significativos através de economias de escopo.

Em função desse caráter contextual, poderia se considerar até que uma parte do modelo econômico formal proposto por Georgescu-Roegen ficaria fragilizada. Isso no entanto não invalida a ideia geral de tentar substituir os fatores de produção neoclássicos, capital (K) terra (T) e trabalho(L) por fatores de fundo e adicionar ao modelo os fluxos de materiais, recursos naturais, em especial a radiação solar e a chuva, e de geração de resíduos inaproveitáveis.

Ao dividir os fatores de produção entre fundos e fluxos, Georgescu-Roegen buscava uma função de produção que atendesse aos seguintes requisitos:

- i) Fosse capaz de tratar o caráter temporal do processo econômico, ao invés de ser uma redução a um único instante de tempo. O que está em

conformidade com a crítica que ele faz à função de produção neoclássica (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 234):

Porque uma função de produção de um processo é representada, na economia neoclássica, por <sup>38</sup>vetor ordinário (em que cada coordenada é um número) se, como foi mostrado, cada coordenada da representação analítica de um processo é uma função do tempo?

- ii) Não reduzisse os processos produtivos ao conjunto das relações quantitativas entre insumos e produtos (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 235):

Somos convidados a ler apenas a receita dos ingredientes, o que nos livros de receitas é impresso acima da receita propriamente dita, e então ignorar o resto. Obviamente, a receita sendo reduzida a “um tanto disso” e “uma pitada daquilo”, a descrição do processo também resume-se a uma lista de ingredientes.<sup>39</sup>

Ou seja, os teóricos neoclássicos, para viabilizar a formalização dos seus modelos abandonaram detalhes do processo de produção que teriam relevância econômica. Assim a função de produção deveria ser uma função agregada de várias funções descritivas de cada uma das etapas elementares do processo produtivo.

- iii) Incorporasse na descrição formal da função de produção outros fatores relevantes como a irradiação solar, chuva, consumo de energia e produção de rejeitos de alta entropia. Estes elementos constituindo o que

---

<sup>38</sup> Why is a production function process represented in neoclassical economics by an ordinary vector (in which every coordinate is a number) if, as I have argued, each coordinate in the analytical representation of a process is a function of time

<sup>39</sup> One is thus invited to read only the list of ingredients, which in cookbooks is usually printed above the recipe proper, and ignore the rest. Obviously, the recipe being reduced to “that much of this” and “that much of that”, the description of the process, too is reduced to a list of quantities

denominou “fluxos”, bem como o fluxo de insumos materiais e o fluxo de produtos finais que é retornado ao ecossistema como resultado do processo.

### 8.3 FUNÇÕES DE ESTADO E DEPENDÊNCIA DA TRAJETÓRIA

As funções neoclássicas de produção são caracteristicamente funções de estado. A implicação disso para uma teoria do crescimento econômico é que para sair de um estado inicial, e crescer economicamente em direção a um estado final qualquer, o caminho adotado para essa progressão seria irrelevante.

Ou seja, seria irrelevante, se isso fosse feito lentamente, através de um desenvolvimento baseado em fundamentos sólidos, e dentro de uma organização institucional estável, ou se, por outro lado, esse resultado fosse obtido no mínimo tempo possível, degradando as reservas de recursos ambientais e não renováveis, e assentando-se em arranjos institucionais frágeis e insustentáveis no longo prazo.

Do ponto de vista da ortodoxia econômica, estes fatores, consumo de energia, degradação ambiental, arranjo institucional, são todos externos ao modelo formal definido pelas equações de estado que costumam ser descritas na forma geral:  $Y = F(K, L)$ , onde ( $Y$ ) é a renda, ( $K$ ) é o estoque de capital e ( $L$ ) é a renda do trabalho assalariado.

Entretanto, como foi apontado por Georgescu-Roegen, o crescimento econômico é resultado de um sistema amplo, com muitos fatores relevantes, essencialmente dependente do tempo (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.248):

“Desenvolvimento econômico leva tempo” seria uma inscrição apropriada na porta de entrada de toda agência de planejamento econômico, de modo que os que ali passassem

fossem continuamente lembrados dessa verdade simples, mas desapontadora.<sup>40</sup>

Ocorre, que a variação de muitos destes fatores não pode ser adequadamente descrita unicamente por funções de estado. Fatores como o consumo de energia, a informação acumulada e principalmente a degradação entrópica, são todos dependentes da trajetória. Dessa forma, um crescimento econômico explosivo, perfeitamente desejável do ponto de vista neoclássico, apenas deveria ser limitado pela inflação de demanda, o que na verdade é curiosamente mais sensato do que algumas linhas heterodoxas que não reconheceriam nem mesmo esses limites.

No entanto, do ponto de vista de um sistema econômico onde a trajetória importa, a degradação gerada por um consumo agressivo de recursos deveria ser refletida no resultado final, de tal modo que ficaria evidente que o preço pago por um rápido aumento da produção teria que ser pago posteriormente e comprometeria o resultado final. Assim o sistema econômico pela ótica proposta por Georgescu-Roegen teria obrigatoriamente que debater a validade de um modelo de crescimento econômico, já que as decisões envolveriam trocas intertemporais de longo prazo. Neste caso surge uma questão central sobre quem teria a responsabilidade e a autoridade de decidir pelas gerações futuras e impor sanções à liberdade individual da geração corrente.

#### 8.4 A DEFINIÇÃO DE CAPITAL EM GEORGESCU-ROEGEN

GEORGESCU não explicita uma definição dos conceitos de capital (K) e trabalho (L), que são sempre referidos como conceitos ricardianos e assim torna-se necessário presumir que a referência a esses parâmetros segue a definição original de Ricardo.

---

<sup>40</sup> "Economic Development Takes Time" would be a very appropriate inscription above the entrance of every economic planning agency, so that the passers-by be continuously reminded of the bare truth, however disappointing.



A partir daí são separadas duas categorias de capital (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 239)

- i) Os inventários que tem a finalidade de assegurar a manutenção do fluxo no processo produtivo, protegendo-o das flutuações “naturais”, tanto do processo quanto da demanda. Ele denomina essa categoria como “S” que , pelo texto, tanto pode ser a representação de *stock* quanto de *store*.
- ii) A segunda categoria é denominada *process-fund*, essa definição é compatível com o que é normativamente contabilizado como material em processo, ou WIP (*work in process*). Trata-se do estoque que, já tendo passado por algum tipo de transformação no processo produtivo, ainda não encontra-se em um estágio que permita a sua comercialização. A preocupação de Georgescu-Roegen em incluir o WIP dentro do modelo econômico pode ser considerada um preciosismo, já que trata-se de um estoque assim como os demais do elenco das contas de estoque, como insumos, produtos acabados ou materiais de consumo indireto, MRO – Manutenção, Reparo e Operação (IUDICÍBUS, 1993). A descrição dos processos internos aos limites de bateria da unidade industrial não adicionaria informação relevante ao modelo econômico, uma vez que os balanços de massa e de energia nos limites de bateria têm soma zero.
  - A crítica de Georgescu-Roegen é de que ao não explicitar o saldo de WIP, nem as etapas de produção, que comporiam o roteiro de produção, o modelo macroscópico neoclássico perderia de vista os tempos consumidos no início e no fim das campanhas de produção, já que nestas duas situações há uma defasagem de tempo entre a entrada das primeiras unidades de insumos no processo produtivo (enquanto as linhas, inicialmente vazias, estariam sendo preenchidas com material) e a sua saída. Da mesma forma, no processo de desativação da unidade, ou ao fim da campanha, a linha de produção precisa ser “esvaziada”.
  - Levar esses tempos em consideração só faz sentido nos casos em que a campanha de produção é excepcionalmente curta em relação à cobertura proporcionada pelo estoque em processo (WIP). A cobertura

é definida como a razão entre o saldo do estoque e a demanda média do material (ACCIOLY F. , 2007).

- Em uma montadora por exemplo, o takt, ou o intervalo da produção entre duas unidades, está atualmente situado em torno de dois minutos, ou trinta unidades por hora por linha. Já o tempo total de atravessamento é de cerca de duas horas, e unidades de produção que operam dentro da filosofia *lean*, costumam ter um WIP de 2,5 a 3 horas de cobertura.
- Dessa forma uma montadora contemporânea tem um estoque desprezível quando comparado com o tempo de campanha da linha de montagem, que varia entre um e dois anos para um modelo específico.
- Mesmo se tomássemos o total dos estoques contabilizados nos demonstrativos financeiros, a cobertura total não passa de 10 a 15 dias, aí incluídos tanto os estoques de aço antes da estamparia, quanto os estoques de automóveis finalizados nos pátios.
- Neste caso, aquilo que Georgescu-Roegen denomina como *process fund*, o WIP, não tem como ser maior que 2 ou 3 dias. De qualquer modo, são números relativamente pequenos em comparação com as campanhas de produção.
- Mas esse definitivamente não é o ponto de vista de Georgescu-Roegen, que argumenta pela necessidade de se levar em conta o tempo, em especial o tempo de atravessamento do processo, *throughput time*, na formalização da função de produção.
- Para ele, uma função de produção neoclássica, que é uma função de estado, descreveria apenas um output potencial, mas não a trajetória completa.
- 
- Ou seja, os dados da função de produção nos dão uma correlação esperável, entre a disponibilidade dos fatores e a geração de produto, mas não dizem nada sobre os caminhos que foram percorridos ou as decisões que foram tomadas.
-

- Desde de que o processo econômico estaria essencialmente atrelado à conversão de reservas de baixa entropia em reservas de alta entropia, e desde que esse é um processo dependente da trajetória, então Georgescu-Roegen compreendeu a necessidade de uma função de produção que permitisse expressar esse fato.
- 
- Como as trajetórias do processo econômico afetam a produtividade, então a incorporação do tempo permitiria transformar a função de produção, de uma função de estado, em uma função dependente da trajetória. Naturalmente, para os casos em que a produção é realizada em um tempo que na prática é desprezível, essa função “degeneraria” em uma função de estado.
- Um modelo com essas características seria mais abrangente e consistente do que os modelos lineares e homogêneos tradicionais.

Um paralelo com a mecânica ajuda a colocar em foco a questão, como eu a vejo. Vamos imaginar uma bola em movimento (sem fricção) sobre uma mesa segundo a lei da inércia, i.e. em movimento linear e uniforme. De acordo com a mesma lei, esse Sistema não é capaz de alterar o seu próprio comportamento. Apenas uma força externa – como a atração gravitacional, que entra em ação assim que a bola atinge a borda da mesa – pode alterar a aceleração do movimento. Em contraste, um sistema econômico em estado estacionário possui dentro de si o potencial de mover-se mais rápido, em uma palavra, de crescer.<sup>41</sup>

- Essa distinção é uma percepção de que os sistemas econômicos seriam necessariamente mais complexos que os sistemas físicos, o que não é estritamente correto, já que o próprio modelo de mecânico

---

<sup>41</sup> A parallel from mechanics will set in sharp focus the issue as I see it. Let us imagine a ball moving (without friction) on a horizontal table according to Law of Inertia, i.e., in a linear uniform motion. According to the same law, this system cannot change by itself its reproductive manner of moving. Only an external force – say, the gravitational force that comes into play as soon as the ball reaches the edge of the table – can cause its motion to become accelerated. By contrast, an economic steady-going system has within itself the power to move faster, in a word, to grow.

precisa fazer uma série de simplificações, como a presunção da ausência de atrito, para se tornar computável.

- O ferramental disponível para Georgescu-Roegen na década de 1970 entretanto limitava a capacidade de lidar com sistemas com esse grau de complexidade e auto organização, que passaram a ser melhor compreendidos a partir das décadas de 1980 e 1990, como apontado por Williams (1997, p.233).

Auto-organização é a ação onde um Sistema capaz de propagar a si mesmo, sem influências externas move-se de um estado aparentemente irregular para algum tipo de ordem. Algo que parece refletir a tendência para um sistema dinâmico de organizar-se em estruturas mais complexas. Exemplos de auto-organização são a formação de um padrão ordenado por um conjunto de aves em uma revoada, de peixes em um cardume, e a demanda por produtos e serviços, mão de obra, salários e assim por diante, em economias de mercado.<sup>42</sup>

- Na verdade, sistemas econômicos seriam melhor descritos como sistemas complexos, dentro dos quais os sistemas caóticos formam um caso especial.

A descrição feita por Georgescu-Roegen também aponta para outra característica dos sistemas caóticos, a recursividade (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 269):

Mais exatamente, processos econômicos são produzidos da mesma forma que qualquer outro bem...Produzir um processo adicional implica na utilização de alguns bens já disponíveis. Em uma visão pragmática, investimento é a produção de processos adicionais, e poupança é a alocação de bens já disponíveis a essa produção. Mas o fato que eu gostaria de

---

<sup>42</sup> Self organization is the act whereby a self-propagating system, without outside influence, takes itself from seeming irregularity into some sort of order. It seems to reflect a tendency for a dynamical system to organize itself into more complex structures...Examples of self-organization are the organizing of birds into an orderly flock, of fish into a clearly arranged school...and of demand for goods, services, labor, salaries and so on, into economic markets

trazer à atenção dos leitores, é que até onde é possível afirmar, com base na revisão da literatura disponível, todos os modelos dinâmicos (incluídos aí os de crescimento econômico) tratam da produção de bens, mas não dos processos que produzem esses bens.<sup>43</sup>

Assim, o caráter recursivo do processo econômico, em que produtos são consumidos na elaboração de novos processos, os quais são utilizados para gerar novos produtos, possui limitações importantes em termos de formalização nos sistemas neoclássicos ortodoxos.

Os processos econômicos ao se retroalimentarem, bem como a complexidade decorrente desse mecanismo, estão na origem da capacidade de auto-organização do sistema, bem como do caráter instável e cíclico. Sob essa ótica, a alegoria clássica da mão invisível não seria completamente desprovida de fundamento. Entretanto, essa auto-organização caótica conduziria, não ao equilíbrio inescapável como na economia clássica, mas a estados apenas temporariamente estáveis, que ao longo de um diagrama de fase possivelmente caracterizariam um atrator.

Entretanto, desprovido deste ferramental, Georgescu-Roegen (1971, p.271 e 274) propõe um modelo de função de crescimento em uma matriz insumo-produto (Leontief) mas inserindo os seguintes fatores à lista usual dos fatores de produção:

- i) A taxa de crescimento já presente no sistema no início do período ( $t_0$ ) considerado para a elevação da produção ( $Y$ ).
- ii) A necessidade de aumento nos “fundos” de produção ( $\Delta B_n$ ) e nos estoques de material em processo ( $\zeta$ ) requeridos para a elevação da produção ( $Y$ ).

---

<sup>43</sup> More pointedly, economic processes are produced just as commodities are. ...To produce an additional process implies the use of some commodities already available. In a down to Earth view, investment is the production of additional processes, and saving is the allocation of already available commodities to this production. But the fact which I wish to bring to the readers attention is that, as far as one may search the economic literature, all dynamic models (including those concerned with growth) allow for the production of commodities but not for that of processes

- iii) A defasagem no tempo de resposta (*time lag*) entre o aumento dos insumos ( $x_n$ ) e o aumento da geração do  $i$ -ésimo produto ( $y_i$ ), causada pelo tempo necessário para o aumento dos fundos ( $\Delta B_n$ ) e ( $\zeta$ ).

Deste modelo ele extrai duas conclusões importantes:

- i) Para qualquer acréscimo  $\Delta y_n$ , na produção, há um tempo de resposta mínimo  $\Delta t$ , e dentro deste intervalo há uma defasagem (*time lag*), dada por  $t - \tau_n$ .
- ii) Independentemente de quão pequeno seja o acréscimo na produção ( $\Delta y_n$ ), e quão extenso seja o tempo total de resposta ( $\Delta t$ ), o sistema terá que passar por uma redução no consumo (poupança) antes de agregar o aumento ( $\Delta y_n$ ), já que precisa incorporar essa poupança ao estoque de fundos ( $\Delta B_n$ ) e ( $\zeta$ ).

## 8.5 RESUMO: A VISÃO SISTÊMICA DA ECONOMIA POR GEORGESCU-ROEGEN

A concepção de Georgescu-Roegen a respeito da natureza do problema econômico pode então ser resumida a um sistema, que é abrangente, na medida em que não se restringe a poucos fatores materiais, e que divide os fatores de produção entre fatores de fundo e fatores de fluxo.

Essa divisão permitiu tratar de forma diferente os fatores de produção em função de serem, ou não passíveis de descrição através de equações de estado.

Uma vez compilados estes fatores, Georgescu-Roegen discute a como integrar o sistema ao longo do tempo, de tal maneira que a trajetória possa ser adequadamente considerada.

Por fim, Georgescu-Roegen, relaciona as características dos sistemas econômicos que os definiriam como sistemas complexos. Entretanto, a percepção clara de que estariam sujeitos a comportamento caótico só se tornaria possível com

o paradigma de caos determinístico que surgiu mais de dez anos após a publicação de *The Entropy Law and The Economic Process* em 1971.

## 8.6 O PAPEL DA ENTROPIA NO SISTEMA GEORGESCU-ROEGEN

A dificuldade na interpretação do conceito de entropia é algo que uma breve revisão bibliográfica pode comprovar com facilidade. Nem mesmo o conceito de energia é tão rico em termos de bibliografia dedicada à sua explicação e às controvérsias sobre a sua interpretação.

Georgescu-Roegen dedica praticamente a primeira metade do de seu principal trabalho à uma revisão do conceito de entropia, e dedicou todo o capítulo X, à discussão de como esse conceito se relaciona com o pensamento econômico.

É importante notar, que para Georgescu-Roegen, o conceito de entropia é essencial e central ao pensamento econômico, mas em momento nenhum, e propositadamente, tenta estabelecer uma função de crescimento econômico baseada em uma medida de entropia.

A questão que ele coloca é de que em economia a formalização matemática não se traduz em uma instrumentalização. Do ponto de vista de Georgescu-Roegen, o caráter complexo e auto organizador do sistema econômico faz com que, mesmo que fosse possível utilizar acuradamente uma abordagem walrasiana para definição dos preços de equilíbrio, o próprio conhecimento que isso geraria alteraria as preferências dos agentes econômicos, de modo que o resultado bem sucedido da abordagem determinista seria a fonte da sua própria invalidação.

A partir daí, toda a argumentação da lógica econômica proposta por Georgescu-Roegen, foi assentada sobre a premissa de que a entropia é uma grandeza que foi criada sob uma ótica econômica, e que sintetiza tanto a utilidade de um recurso natural, quanto a viabilidade econômica de um processo de transformação (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 277):

A simples observação é suficiente para provar que toda nossa vida econômica se alimenta de baixa entropia [...] Mas essa

descoberta não deveria nos surpreender. Isso é a consequência natural do fato de que a ciência da termodinâmica se desenvolveu a partir de um problema econômico e, conseqüentemente, não poderia evitar que a ideia de ordem fosse definida de modo a distinguir, digamos, um pedaço de cobre eletrolítico, que nos é útil, e o mesmo cobre quando disperso em moléculas que para nós não tem nenhuma serventia. Nós podemos então aceitar, como verdade nua e crua, que a baixa entropia é condição necessária para alguma coisa possuir utilidade.<sup>44</sup>

Do ponto de vista epistemológico, a entropia é um conceito não apenas antropomórfico, mas dentro dessa condição, é um conceito criado para descrever uma lógica econômica, o que fica ainda mais evidenciado no comentário feito na nota de rodapé da página 278:

A essa altura o leitor já deve possuir mais que uma suspeita de que, pelo meu último comentário, eu desejo que se entenda que a lei da entropia não é mais do que uma convenção. É um milagre porém, que uma ordem construída antropomorficamente, se ajuste perfeitamente ao fato de que o carvão transforma-se em cinzas, sempre no mesmo sentido, do passado para o futuro, para todos os seres humanos.<sup>45</sup>

Apesar disso, não se atribui à simples coincidência o fato de que nos processos irreversíveis há uma degradação qualitativa nos estoques de recursos minerais de baixa entropia. Georgescu-Roegen observou corretamente que, tendo sido criado por Carnot para subsidiar a pesquisa de motores economicamente mais eficientes, ou seja, com melhor relação entre o trabalho mecânico gerado e a

---

<sup>44</sup> Casual observation suffices now to prove that our whole economic life feeds on low entropy. [...] But this Discovery should not surprise us. It is the natural consequence of the fact that thermodynamics developed from an economic problem and consequently could not avoid defining order so as to distinguish between, say, a piece of electrolytic copper which is useful to us – and the same copper molecules when diffused so as to be of no use to us. We may then take it as a brute fact that low entropy is a necessary condition for a thing to be useful

<sup>45</sup> By now the reader should know better than to suspect that by the last remark I wish to imply that the Entropy Law is nothing but a mere verbal convention. It is a miracle, though, that an antropomorphically conceived order fits also the fact that coal turns into ashes in the same direction, from past to future, for all humans.



quantidade de combustível queimado, o conceito de entropia não é, em sua essência, um conceito estritamente positivo (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 187)

Entre as várias ideias acerca da antinomia entre causalidade física e livre-arbítrio está a da inexorabilidade das leis físicas. Adequadamente compreendida, esta ideia é a de que o homem não tem como derrotar as leis da física, no sentido de fazer com que elas deixem de atuar.<sup>46</sup>

Aqui ele sinaliza corretamente que o fato de um evento estar inexoravelmente subordinado a uma lei física não significa que o seu resultado será obrigatoriamente determinado por uma equação linear e homogênea. Mas a formulação probabilística da Segunda Lei da Termodinâmica por Boltzmann levantou questões sobre a sua inexorabilidade (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 142).

Porém, preciso enfatizar uma dificuldade inicial, que ainda se constitui em sério problema à mecânica estatística. A mistura espontânea nunca foi apropriadamente definida. Analogias como o ato de embaralhar cartas, ou preparar um omelete têm sido usados em uma tentativa de explicar o significado do termo. Em uma analogia mais atraente, o processo tem sido comparado à destruição de uma biblioteca por uma horda enfurecida. Nada seria destruído (a primeira lei da termodinâmica) mas todo o conteúdo seria disperso aos quatro cantos do mundo<sup>47</sup>.

É notável que Georgescu-Roegen considere como a melhor ilustração para o aumento da entropia termodinâmica, justamente a alegoria da destruição de uma biblioteca, que retirou de um exemplo de Schroedinger. Nela, a matéria é

---

<sup>46</sup> Among the various ideas surrounding the antinomy between physical causality and freedom is that of the inexorability of the physical laws. Properly understood, this idea is that man cannot defeat the physical laws in the sense of preventing their working

<sup>47</sup> But I must emphasize one initial difficulty which still constitutes the stumbling block of statistical mechanics. The spontaneous shuffling has never been appropriately defined. Analogies such as the shuffling of playing cards or the beating of an egg have been used in an attempt at explaining the meaning of the term. In a more striking analogy, the process has been likened to the utter devastation of a library by an unruly mob. Nothing is destroyed (the First Law of Thermodynamics), but everything is scattered to the four winds.

preservada, mas a informação perdida. Entretanto, ao invés de explorar o caráter informacional do conceito, formulado por Shannon na década de 1960, optou pela interpretação da entropia como uma medida quantitativa do grau de ordenamento do sistema (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 142):

Dentro dessa estrutura conceitual, era natural que a entropia fosse definida como uma medida do grau de desordem<sup>48</sup>.

A inadequação da interpretação da entropia como sendo o grau de ordenamento foi extensamente discutida por BEN-NAIM (2012). Mas Georgescu-Roegen logo após fazer uso dessa metáfora, lança uma ressalva (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.142):

Porém, como foi apontado igualmente por alguns filósofos e por alguns físicos, desordem é um conceito muito relativo, senão completamente inadequado: algo está em desordem unicamente em relação a algum objetivo ou propósito. [...] A ideia de desordem aparece em nossa mente toda vez que nos deparamos com uma ordenação que não se encaixa em um propósito particular que tenhamos naquele momento.<sup>49</sup>

Ou seja, ele reconhece que a interpretação de entropia como ordem contém um vício de origem já que a definição de ordem ou desordem depende de um padrão idealizado pelo observador. Ele tenta contornar essa dificuldade explicitando o critério de ordenamento que vai adotar em seu próprio modelo(GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.142):

---

<sup>48</sup> in this theoretical framework, it is natural that entropy should have been redefined as a measure of the degree of disorder.

<sup>49</sup> But as some philosophers and physicists alike have pointed out, disorder is a highly relative, if not wholly improper, concept: something is in disorder only in respect to some objective, nay purpose. [...] The idea of disorder arises in our minds every time we find an order that does not fit the particular purpose we have at that moment.

Nós associamos um ordenamento randômico à desordem, porque ele não corresponde ao ordenamento analítico que esperamos encontrar na natureza<sup>50</sup>.

De forma que para Georgescu-Roegen, fenômenos descritos como funções de distribuição de probabilidade seriam menos ordenados que fenômenos descritos por funções lineares. Isso pode ser criticado como uma interpretação em conflito com o conceito de entropia estatística, já que pelo teorema H de Boltzmann, a entropia de qualquer sistema é descrita por uma função de distribuição de probabilidade. Assim, a medida de entropia não é uma escala quantitativa que descreve o quanto um sistema está mais próximo da linearidade ou da aleatoriedade. Além disso, interpretar ordem nesse sentido estrito, deixa de fora todos os sistemas não-lineares bem como os caóticos.

Outro aspecto importante da interpretação do conceito de entropia por Georgescu-Roegen (1971, p.143) é a discussão sobre o número de microestados do sistema, onde conclui que ainda que a formalização da entropia estatística de Boltzmann seja válida para um caso especial, isso não a transforma em uma variável cardinal, ou seja uma variável cuja escala seja absoluta, independente do observador, de tal forma que ele não reconhece a identidade entre a entropia estatística e a entropia termodinâmica clássica(GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.146).

...todas as tentativas de se estabelecer a equivalência entre (2)  $S = k \cdot \ln W$  e (7)  $S = \Delta Q/T$  para todos os casos, se apoiam em uma massa de erros lógicos e matemáticos, e em uma confusão generalizada na definição das quantidades básicas<sup>51</sup>.

---

<sup>50</sup> We associate de random order with disorder because it does not correspond to the analytical order we expected to find in nature.

<sup>51</sup> ...all attempts to establish the equivalence of (2) [ $S = k \cdot \ln W$ ] and (7) [ $S = \Delta Q/T$ ] for all cases rest on an aggregate of logical and mathematical errors and a general confusion in the definition of the basic quantities.

E assim, é com base no conceito de entropia da termodinâmica clássica que Georgescu-Roegen vai elaborar a sua proposição de pensamento econômico. Esse pensamento parte da análise dos processos econômicos sob a ótica da demanda por recursos de baixa entropia e da geração dos rejeitos de alta entropia, para identificar que fatores de produção necessitam ser mapeados e como esses fatores devem ser integrados. Dessa forma ele estabelece uma equação do valor, que não tem a pretensão de ser quantitativa, apenas esquemática, e também estabelece uma matriz insumo-produto (Leontief) com os fatores relevantes do ponto de vista da entropia. É a partir dessa matriz que toda uma escola de ecologia da economia irá desenvolver seus modelos quantitativos (DALY H. E., *Elements of environmental macroeconomics*, 1991), (KÜMMEL, AYRES, & LINDENBERGER, 2010), (McMAHON & MROZEK, 1997)

## 8.7 POR UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA À FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

A crítica fundamental de Georgescu-Roegen à função de produção neoclássica, bem como às concepções ricardiana e marxista da produção, seria o caráter materialista de todas essas abordagens.

Em todas essas abordagens, mas em especial na função de produção neoclássica,  $Y=F(K,L)$ , a finalidade do processo econômico é a criação de um fluxo material (Y) com base nos estoques de equipamentos na forma de capital (K), e de trabalho na forma quantitativa da população economicamente ativa (L).

Assim, o consumo dos estoques de recursos não renováveis, a degradação ambiental, e acima de tudo o valor para o ser humano, que ele define como *enjoyment of life*, estariam excluídos do processo econômico com visto pelo olhar da economia desde Ricardo até os neoclássicos (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.282).

Portanto, o processo econômico é realmente mais eficiente que e degradação espontânea na produção de alta entropia, i.e. desperdício. Qual então poderia ser a *raison d'être* de um tal processo? A resposta é que o verdadeiro resultado do processo

econômico não é um fluxo físico de rejeito, mas o *enjoyment of life*.[...] É evidente então, que não poderemos desenvolver uma descrição completamente racional do processo econômico enquanto nos limitarmos a tentar fazê-lo utilizando conceitos puramente físicos. Sem os conceitos de *purposive activity* e *enjoyment of life* não poderemos adentrar o universo econômico<sup>52</sup>.

Em função disso é proposta uma medida simbólica do *enjoyment of life* ( $e$ ) (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.285):

$$e = \text{consumption enjoyment} + \text{leisure enjoyment} - \text{work drudgery}$$

que vai ser desenvolvida em uma função estilizada para uma forma geral do valor econômico(GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.287):

$$\text{valor } E = \text{valor}(\Delta \times r) + \text{valor}(\Delta \times L) + \text{valor}(\Delta \times K) + \text{valor}(H' \times I_2') + \text{valor}[H \times I_2 \times (1 - \delta)]$$

Onde:

$E = e$  é o *enjoyment of life* total diário da população, gerado pelo processo econômico.

$\Delta$  = duração do dia de trabalho, calculada como o produto do número de turnos ( $n$ ) pela duração do turno de trabalho ( $\delta$ ),  $\Delta = n\delta$ .

$(\Delta \times r)$  é o fluxo de recursos naturais consumidos no processo.

$(\Delta \times L)$  é a alocação do estoque de terras ao dia de trabalho

$(\Delta \times K)$  é a alocação do estoque de capitais ao dia de trabalho

---

<sup>52</sup> Hence, the economic process actually is more efficient than automatic shuffling in producing higher entropy, i.e. waste. What could then be the *raison d'être* of such a process? The answer is that the true output of the economic process is not a physical outflow of waste, but the **enjoyment of life**.[...] It is thus seen that we cannot arrive at a completely intelligible description of the economic process as long as we limit ourselves to purely physical concepts. Without the concepts of **purposive activity** and **enjoyment of life** we cannot be in the economic world.

$H'$  é a parcela da população total que não compõe o mercado de trabalho (crianças e velhos)

$H$  é a população economicamente ativa

$I'_2$  é a intensidade média do desfrutar a vida para  $H'$

$I_2$  é a intensidade média do desfrutar a vida para  $H$

$(H' \times I'_2)$  é o tempo de lazer da fração da população que não trabalha

$[H \times I_2 \times (1 - \delta)]$  é o tempo de lazer da população economicamente ativa, descontando-se a parcela do dia destinada ao trabalho, que para GEORGESCU-ROEGEN é considerada um custo irrecuperável. Na verdade Georgescu-Roegen refere-se a esse termo como representando uma função da desutilidade do trabalho (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.287).

Essa pode ser considerada como a equação geral do valor, já que cada uma das principais doutrinas do valor econômico podem ser demonstradas como casos particulares da equação geral<sup>53</sup>.

A ideia central neste caso, não é a de formular uma lei do valor ao estilo marxiano, mas de obter uma forma geral descritiva que permitisse comparar as diversas propostas em uma mesma base.

Por exemplo, para a forma ricardiana do valor:

Renda = royalties + rendimento da terra + juros - salários = receita líquida – salários

Os fatores ligados ao tempo de lazer teriam valor zero:

$valor(H' \times I'_2) = 0$

---

<sup>53</sup> I propose to refer to this equation as the general equation of value for the reason that every major doctrine of value can be shown to be a particular case of it.

$$\text{valor}[H \times I_2 \times (1 - \delta)] = 0$$

O que seria compatível com uma teoria econômica baseada no valor trabalho, e que o conceito de receita líquida, tendo sido criado com o objetivo de formar uma base de taxação, não poderia incluir um valor intangível como o tempo de lazer.

Da mesma forma, ao analisar o modelo marxiano, não apenas o lazer não teria valor, mas também os valores resultantes da alocação dos estoques de capitais, terras e recursos naturais também teriam valor zero:

$$\text{valor}(\Delta \times r) = 0, \quad \text{valor}(\Delta \times L) = 0, \quad \text{valor}(\Delta \times K) = 0$$

Assim o valor do lazer total para uma teoria onde a única fonte de valor seria o trabalho, obrigatoriamente teria que ser igual a zero:

$$\text{valor } E = 0$$

De tal forma que o fluxo de geração de produtos (commodities,  $c$ ) será dado exclusivamente pelo valor das horas trabalhadas ( $\delta$ ) pela população economicamente ativa ( $H$ ):

$$\text{valor}(\Delta \times c) = \text{valor}(\delta \times \delta H)$$

Assim, o valor da produção excedente ao mínimo necessário para a subsistência do trabalhador seria o alvo da disputa entre as classes, já que a teoria econômica desassociaria esse valor, do valor que ele poderia agregar à qualidade de vida da população como um todo ( $H + H'$ ).

Georgescu-Roegen ainda faz uma ressalva de que seria errôneo questionar o materialismo da visão marxiana em decorrência da associação do valor ao trabalho humano e não à propriedade material. Para ele, o materialismo marxista decorre da concepção de que o trabalho humano transfere o seu valor exclusivamente ao resultado do processo produtivo e não do *enjoyment of life* (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p.289):

Isto significa que o enjoyment of life - o qual, em conformidade com a minha proposta, é a única fonte de criação de valor – não possui valor algum. O completo materialismo da economia de Marx, ainda que analisada separadamente do materialismo histórico, não precisaria, assim, suscitar qualquer dúvida em nós<sup>54</sup>.

Por fim, ao analisar o modelo econômico neoclássico, Georgescu-Roegen assinala que o seu conceito de *enjoyment of life* se aproxima muito do conceito de utilidade, já que apenas o último termo da equação os salários substituiriam o lazer (*leisure income*). Para Georgescu-Roegen, a diferença entre os termos seria que no modelo walrasiano apenas o tempo trabalhado teria valor.

Ou seja, com base no conceito de entropia, Georgescu-Roegen não apenas elabora uma teoria do valor econômico, mas também utiliza esse modelo como base para uma análise comparativa dos modelos clássico, marxiano e marginalista, apontando as limitações de cada um destes modelos em relação à criação de valor para o ser humano. Também elabora um modelo quantitativo formal com o objetivo de obter um meio instrumental de planejamento econômico (matriz insumo-produto) mais abrangente que a abordagem neoclássica e que seja coerente com a sua proposição de valor econômico.

## 8.8 A CRÍTICA DE GEORGESCU-ROEGEN AO MARGINALISMO:

Georgescu-Roegen discute as críticas e ressalvas feitas à possibilidade de uma medição direta da utilidade marginal, dentro dos moldes propostos pela abordagem cardinalista. Os cardinalistas, ao contrário dos ordinalistas, tem buscado uma medida não relativa da utilidade marginal.

Georgescu-Roegen afirma (1954, p. 505) que apesar do debate haver se estabelecido em torno do axioma da independência forte a real origem do problema

---

<sup>54</sup> This means that the enjoyment of life itself – which according to my contention is the only basis from which value springs – has no value whatsoever. The full-fledged materialism of Marx's economics, even if viewed separately from the doctrine of historical materialism, need not therefore raise any doubts in our minds.



estaria na descrição do mecanismo de escolha do consumidor utilizado pelos ordinalistas. De modo que o argumento cardinalista derivaria obrigatoriamente nesta descrição. Sendo o cardinalismo um desdobramento natural, então, do ordinalismo.

Georgescu-Roegen critica tanto os ordinalistas quanto os cardinalistas, por construírem seus modelos sobre um *Homo Economicus* cuja lógica de escolha é “simultaneamente invariável e perfeitamente exata” (1954, p. 506) o que os afastaria demais de um ser humano real, o qual é continuamente mutável em sua estrutura de decisão, e seriamente afetado pela psicologia da percepção na avaliação das variáveis que afetariam o processo decisório.

Para sustentar sua crítica Georgescu-Roegen enumera os postulados básicos do modelo ordinalista:

II.1) *HOA* é confrontado apenas com alternativas representadas por combinações de várias commodities cuja escolha não envolve riscos ou incertezas. As commodities são mensuráveis quantitativamente e cada ponto  $C(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  no espaço de valores de  $C$  é uma alternativa possível.

II.2) Quando confrontado com duas alternativas,  $C^1$  e  $C^2$ , *HOA* irá:

a) preferir uma à outra, descrito como  $C^k P C^j$ , ou

b) considerar as alternativas como indiferentes, descrito como  $C^1 I C^2$  ou  $C^2 I C^1$  a ordem não tem significado neste caso.

II.3) A preferência de *HOA*, será a mesma sempre que *HOA* seja confrontado com  $C^1$  e  $C^2$ .

II.4) Existe uma região no sistema coordenado onde  $C^1$  é preferido a  $C^2$ , se  $C^1$  é obtido pela adição de outra commodity

II.5) A relação  $\bar{P}$ , de não-preferência, é transitiva, ou seja, se  $C^1 \bar{P} C^2$  e  $C^2 \bar{P} C^3$  então  $C^1 \bar{P} C^3$ .

II.6) se  $C^1 \bar{P} C^2$  e  $C^1 \bar{P} C^3$ , então  $C^1 \bar{P} [\alpha C^2 + (1 - \alpha) C^3]$ , onde  $0 \leq \alpha \leq 1$

Este postulado descreve a estrutura interna do mecanismo de escolha: Ele pode ser chamado de princípio de complementariedade, e afirma que cem por cento do mix de alternativas preferidas ainda é uma situação preferida, não importa a composição do mix.

Georgescu-Roegen ressalva que este postulado não é válido se os valores de preferência forem quantificados unicamente de forma ordinal, já que não é possível estabelecer valores definidos unitários. Para ele, qualquer lei que descreva a estrutura do comportamento do consumidor depende do tipo de medida utilizado para as commodities.

II.7) Se o conjunto preferencial  $C^\alpha$ , contém  $C^\beta$ ,  $C^\gamma$ , e se  $C^\beta PC$ ,  $C^\gamma PC$ , então contém  $C^\alpha PC$ . Este postulado define formalmente um critério de indiferença. Para ele, nenhuma medida ordinal poderia ser obtida se esse postulado. Argumenta que toda a estrutura da doutrina cardinalista depende de  $C^c$  ser, ou não, um conjunto vazio, ou seja, se aceita-se o postulado (II.7) e não depende do Axioma de Independência forte.

### 8.8.1 NECESSIDADES E UTILIDADE

Georgescu-Roegen a partir da discussão do postulado (II.7), questiona a validade das proposições baseadas no conceito de utilidade, argumentando que toda a discussão baseada na análise do modelo formal é invalidada pela falsidade da premissa de exatidão nas medições de utilidade. Retoma então a discussão da questão do valor econômico.

Georgescu-Roegen aponta que, apesar de toda a dificuldade, a proposta da definição marxista de valor econômico baseada em “valores-equivalentes” seria mais bem estabelecida do ponto de vista de teoria científica que o modelo simplificado dos marginalistas Jevons e Walras (nesse ponto ele não cita Menger, mas vai citar mais a frente).

Independente da abordagem, ele considera que o uso de conceitos como valor equivalente utilidade, satisfação, necessidade, são só a substituição de uma abstração por outra, cuja efetividade seria igualmente questionável já que a definição em termos objetivos e portanto a medição seriam impossíveis.

É bastante razoável identificar aqui o questionamento fundamental que vai levar Georgescu-Roegen a buscar uma grandeza física, objetivamente definida e mensurável, para suportar a sua análise econômica. Essa grandeza é naturalmente a entropia e é por essa mesma razão que ele vai rejeitar o conceito da entropia probabilística de Boltzmann e limitar o uso à entropia clássica de Carnot (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1954, p. 512).

Observamos que antes de se falar em utilidade, valor ou comportamento do indivíduo, é necessário mencionar necessidades, desejos, etc. Estes conceitos estão, é verdade, longe de estarem definidos com precisão, mas ocorre o mesmo com os conceitos de utilidade ou satisfação, se nos dermos ao trabalho de analisar detalhadamente o caso<sup>55</sup>.

É neste ponto que Georgescu-Roegen faz a sua crítica mais contundente ao marginalismo:

A falta de definições precisas não deveria nos preocupar demasiadamente, nas ciências morais, mas conceitos construídos de maneira inapropriada, ao atribuir-se ao indivíduo faculdades que ele efetivamente não possui, certamente deveriam<sup>56</sup>.

A crítica de Georgescu-Roegen aos marginalistas é a de que o *Homo Economicus* tem um comportamento invariável e uma capacidade de avaliação exata e não viciada.

Isso é uma característica do trabalho de Georgescu-Roegen. O fato do modelo ser uma simplificação da realidade, apenas suficientemente boa para fornecer meios instrumentais cujos resultados possuam uma probabilidade minimamente aceitável na prática, é algo que ele não reconhece, ou ao menos

---

<sup>55</sup> We find that before anyone speaks of utility, of value or of how the individual behaves, one mentions needs, wants, uses, etc. These better concepts are, it is true, far from being precisely defined, but so is utility or satisfaction, if we care to look into the matter

<sup>56</sup> Lack of precise definition should not, however, disturb us in moral sciences, but improper concepts constructed by attributing to man faculties which he actually does not possess, should

questiona, como sendo cientificamente válida. Então ele sente a necessidade de construir um modelo econômico sobre uma grandeza objetiva, da mesma forma que fez Marx ao buscar no trabalho uma grandeza objetiva e mensurável.

### 8.8.2 O PROBLEMA DA IRREDUTIBILIDADE DA FUNÇÃO UTILIDADE.

Georgescu-Roegen analisa (p.516-518) o problema da utilidade marginal decrescente, criticando a abordagem marginalista quanto à redutibilidade de todas as necessidades humanas a uma medida universal de utilidade (1954, pp. 515-517).

A classificação dos produtos, um procedimento necessário a qualquer teoria de formação de preços é, todavia, mais um fator que aumenta nossa dificuldade em ver através do mosaico de necessidades.[...] Mas nem todas as necessidades humanas podem ser reduzidas a uma base comum. Em contraste com os princípios descritos aqui, o princípio da irredutibilidade das necessidades parece ter escapado a atenção dos economistas neoclássicos<sup>57</sup>.

Segundo este princípio, a produção excedente de um bem, por um lado, não é capaz de atender a necessidade de um outro bem. Um pão a mais do que o necessário para matar a fome não pode ser convertido em água para atender a necessidade de saciar a sede. Por outro lado, ainda que ao satisfazer completamente a demanda, de tal modo que a sua utilidade marginal é zero, mas uma unidade a mais tem utilidade diferente de zero.

## 8.9 LIMITAÇÕES DA PROPOSTA DE GEORGESCU-ROEGEN

Georgescu-Roegen propôs a entropia termodinâmica clássica como o insumo universal e portanto como o limite natural ao crescimento econômico.

---

<sup>57</sup> The classification of commodities, a necessary procedure for any price theory, is therefore likely to increase our difficulty of seeing through the mosaic of wants but not all human wants can be reduced to a common bases. In contrast with the principles already mentioned, the Principle of the Irreducibility of Wants seems to have escaped the attention of neoclassical economists.

O que se propõe aqui é que seria a entropia, em sua forma estatística, o denominador comum a todos os demais fatores de crescimento econômico. Uma abordagem decorrente e complementar à originalmente elaborada por Georgescu-Roegen.

Ocorre que a natureza como limite da economia, ou ainda melhor, o ecossistema como limite da economia não depende exclusivamente do conceito de entropia. A proposta de Georgescu-Roegen busca relacionar o caráter limitante do ecossistema onde a economia está inserida, com uma grandeza física fundamental. Mas a viabilidade de formalização desse relacionamento em um modelo instrumental que permita fazer projeções ou interpretações da série histórica de crescimento econômico é levantada pelo próprio Georgescu-Roegen. Seria possível especular que modelos dinâmicos baseados em alguma relação entre a degradação entrópica de reservatórios e seu impacto no aquecimento global poderiam ser mais viáveis e mais úteis na projeção do crescimento econômico do que a proposta de utilizar uma matriz insumo-produto.

Por outro lado, o uso da entropia da informação como fator de produção em um modelo de crescimento econômico endógeno é capaz de explicar razoavelmente porque o capital não tem um comportamento conservativo ao longo do tempo e talvez até permita desenvolver um modelo formal, baseado em variáveis proxy dos estoques e dos fluxos de informação.

Alguns exemplos seriam o volume de dados, em múltiplos de bits, armazenados em bancos de dados específicos, ou mesmo no total da internet, ou o volume de informação de uma população, em relação ao vocabulário médio dos indivíduos, com base no perfil demográfico e sócio econômico.

## 9 DESDOBRAMENTOS DO TRABALHO DE GEORGESCU-ROEGEN

### 9.1 HISTÓRICO

Georgescu-Roegen fez seu *debut* na Universidade de Harvard (1934-1936), debruçando-se sobre os escritos de Pareto e mais particularmente sobre os postulados da teoria neoclássica. Aluno de Schumpeter, que teria lhe proposto a coautoria em um tratado de teoria econômica, retornou à sua Romênia natal para tentar contribuir na condução econômica do país entre 1938 e 1948 após o que, mudou-se definitivamente para os EUA e em 1950 assumiu como professor na *Vanderbilt University* onde lecionou até 1976. Entre seus principais discípulos está Herman Daly (1938 - ), economista sênior do Banco Mundial e ex-professor da universidade de Yale. Daly é considerado o fundador da economia da ecologia e tornou-se a principal referência no tema para estudos posteriores, mas distanciou-se de Georgescu-Roegen ao defender uma economia de estado estacionário, enquanto Georgescu-Roegen adotou uma posição mais radical ao propor a necessidade do decrescimento econômico.

### 9.2 O DEBATE SOBRE RELEVANCIA DA ENTROPIA NA ECONOMIA

McMahon e Mrozek contrapõe duas abordagens à questão da relevância da entropia no debate sobre o crescimento econômico. Em uma primeira abordagem, neoclássica, a entropia seria irrelevante, enquanto que em uma abordagem ecológica, seria um fator relevante. Fazendo uma revisão dos argumentos utilizados pela abordagem neoclássica, e de como esses argumentos seriam refutados, concluindo pela validade da abordagem ecológica e prescrevendo atitudes que poderiam mitigar ou contornar problemas originados por uma gestão econômica pautada pela ortodoxia neoclássica.

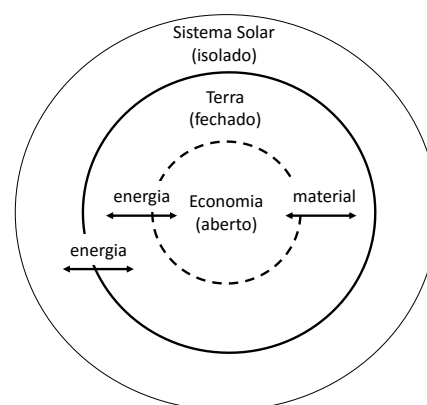
### 9.3 O PAPEL DOS RECURSOS AMBIENTAIS NO ESTUDO DA ECONOMIA

O primeiro passo dessa discussão consistiu em revisar o papel do meio ambiente e dos recursos naturais dentro das diversas escolas de pensamento econômico, já que, por definição, a economia trata da alocação dos recursos escassos. O que no entanto levanta questão da conceituação possível e adequada do que seriam esses recursos escassos.

Então, seria necessário propor uma definição alternativa de economia, como ciência ocupada com a sustentabilidade. Onde sustentabilidade é definida como a “habilidade de manter ou aumentar o bem estar ao longo do tempo.” (McMAHON & MROZEK, 1997, p. 503), o que seria uma versão modificada da definição mais usual estabelecida pelo relatório Brundtland (WCED, 1987).

Essa habilidade é situada em um modelo que relaciona a economia com o ambiente onde está inserida e mapeia as trocas materiais e de energia entre os elementos desse sistema.

O modelo pode ser descrito esquematicamente no diagrama ao lado, onde o



universo de interesse da economia é limitado ao sistema solar. Dentro do sistema solar o planeta terra é um elemento fechado à trocas materiais, mas aberto para trocas de energia. Por fim a economia, vista aqui como um todo que não leva em conta fronteiras políticas ou geográficas, é caracterizada como um sistema aberto, incorrendo em trocas materiais e de energia com o restante.

Figura 8 - Diagrama do sistema econômico em relação ao ecossistema

Partindo das proposições de Georgescu-Roegen (1971), McMahon e Mrozek propuseram os limites da economia em relação à troca de energia com o sistema solar como sendo o limite máximo de uma economia sustentável, inserida no planeta.

Delimitado por esse contexto tornou-se possível discutir os argumentos levantados pelos economistas neoclássicos, segundo os quais a preocupação em relação aos fluxos da economia com os sistemas onde está inserida seria justificável. Ou porque seriam irrelevantes, ou porque o tamanho da economia em relação aos sistemas onde estaria inserida é que seria irrelevante, ou ainda porque estas relações não seriam computáveis e portanto não seria possível estabelecer ações concretas a partir dessas informações, tanto no âmbito da firma quanto no macroeconômico.

A linha desenvolvida por Georgescu-Roegen se desdobrou em críticas à abordagem neoclássica que se concentraram no reexame das premissas fundamentais dessa abordagem:

- Axioma do valor material

- Axioma da abundância. Este axioma porém acaba sendo desdobrado em um terceiro, que seria o axioma da abundância tecnológica.

#### 9.4 AXIOMA DO VALOR MATERIAL

O axioma do valor material seria a percepção de que os recursos não possuem valor intrínseco, afora seu valor de mercado. Essa é a posição sustentada pelos marginalistas desde Menger (ACCIOLY & OLIVEIRA, 2013) e como citado por (YOUNG, 1991) caracteriza a entropia como uma conceito antropomórfico que estabelece o que é útil, e seria em última instância dependente da tecnologia.

A esse argumento insurge-se a concepção proposta inicialmente por Georgescu-Roegen e adotada por McMahon e Mrozek da entropia como uma lei natural que estabelece um limite físico ao crescimento econômico e que uma fonte de baixa entropia por outra não significa que exista um substituto para a baixa entropia em si mesma .

Essa concepção não rejeita explicitamente a validade de um modelo econômico construído sobre uma epistemologia empirista, mas isso é feito



indiretamente ao criticar o modelo neoclássico por não ser capaz de formular um mecanismo de definição de valor não distorcido pelas assimetrias de informação.

A alternativa seria compreender a entropia como grandeza física fundamental por detrás de todo o mecanismo de formação do valor. De tal modo que, pelo menos em tese, seria possível estabelecer o real valor dos recursos ambientais na medida em que a entropia seria uma medida das perdas qualitativas e irreversíveis do sistema que contém a economia, o que no diagrama é representado pelo planeta terra.

Isso seria necessário porque o crescimento econômico ilimitado levaria a economia a criar demandas de recursos ambientais maiores que os “limites do sistema fechado onde está inserida” (McMAHON & MROZEK, 1997, p. 506), e a entropia então seria a grandeza de referência para se avaliar se os níveis de produção estariam além da capacidade física de regeneração do sistema.

Essa é uma argumentação um pouco simplificada em comparação ao proposto por (GEORGESCU-ROEGEN N. , 2012, p. 124), que também discute o problema do tamanho da economia, mas o faz em relação não somente quanto ao consumo de recursos de baixa entropia, mas em relação ao tempo, colocando a questão de qual seria o tamanho limite da população no planeta, com que grau de consumo de recursos e por quanto tempo.

## 9.5 AXIOMA DA ABUNDÂNCIA

Outra premissa dos modelos neoclássicos que é criticada por Georgescu-Roegen, Daly e McMahon e Mrozek, o axioma da abundância, presume que as ordens de grandeza da economia e da história humana são tão pequenas em comparação com a totalidade dos recursos ambientais, que para todos os efeitos práticos o capital natural seria ilimitado. Ressalvado o fato de que para incorporar os limites da primeira lei da termodinâmica, os economistas neoclássicos tiveram que aceitar a existência de limites significativos ao capital natural em pelo menos alguns recursos específicos. Dito de outro modo, a disponibilidade global de recursos poderia ser considerada como infinita, mas isso não significa que todos os recursos

são infinitos e que face ao esgotamento de um recurso haveria a necessidade de substituição por um outro recurso.

Assim, teria sido possível a manutenção do axioma da abundância pela abordagem neoclássica, desde que fosse desdobrado em um novo axioma, que é o da capacidade infinita do desenvolvimento tecnológico, que viabilizaria essa sequência de substituições na medida em que os recursos fossem se esgotando. Uma visão que encontra críticas em teóricos dos limites da técnica, como Ellul (1965) e Schwartz (1975), para quem a ortodoxia tecnológica aceita a introdução contínua de inovações sem no entanto levar em conta os ramos negativos que cada nova técnica obrigatoriamente carrega.

McMahon e Mrozek denominam Axioma da Abundância Tecnológica, a essa versão modificada do Axioma da Abundância. Segunda a qual, a tecnologia irá sempre encontrar substitutos entre as fontes de recursos ambientais e que, portanto, o essencial para a manutenção de um crescimento econômico sustentável seria manter o fluxo constante da inovação tecnológica.

Em resposta a esse conceito, a percepção de que as ferramentas neoclássicas têm se mostrado inadequadas para a avaliação e gestão dos recursos ambientais, torna-se necessário propor como abordagem mais adequada uma “nova ciência” a economia ecológica.

Essa ciência trataria da escassez ecológica. Definida como um conjunto de restrições, distintas porém inter-relacionadas e que, em última instância, limitariam o crescimento econômico. Isso porque essas inter-relações seriam responsáveis pelo fato de que a possibilidade de substituição, ao contrário do previsto no axioma neoclássico, não seria infinita já que a escassez de um recurso criaria ou exacerbaria a escassez de outros.

Além disso, com base nestas mesmas percepções, os críticos da abordagem neoclássica rejeitam o axioma do valor material em favor da crença de que parcelas do meio ambiente possuem valor intrínseco propondo a entropia como medida fundamental do uso econômico dos recursos ambientais.

A proposição é que, em sendo possível rejeitar o axioma da abundância. A escassez dos recursos ambientais ficaria comprovada e a entropia assumiria o papel de fundamento lógico da sustentabilidade, fornecendo um referencial teórico para a unificação das ciências físicas, economia e ecologia.

## 9.6 O DEBATE ENTRE YOUNG E DALY

O economista norte-americano Herman Daly (1938 - ) foi aluno de Georgescu-Roegen na Vanderbilt University onde concluiu o doutorado em 1967. Mas, mais do que Georgescu-Roegen, Daly tem sido o referencial teórico mais adotado nos estudos que são classificados como economia ecológica. Uma das principais distinções entre a visão de Georgescu-Roegen e a de Daly é o posicionamento em relação ao crescimento econômico. Onde Daly aceita uma economia em “estado estacionário”, ao que Georgescu-Roegen se contrapõe, defendendo um “decrescimento” radical.

Em relação ao axioma da abundância Daly desenvolveu um acalorado debate com o economista Jeffrey T. Young<sup>58</sup> (YOUNG, 1991) e (DALY H. E., Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? Yes of course it is!, 1992) sobre a relevância da entropia como limitante do crescimento econômico e precificação dos recursos ambientais.

YOUNG sustenta a posição de que o conhecimento tornaria possível a exploração contínua, a taxa constante e por tempo indeterminado dos recursos ambientais de um sistema fechado. Algo que Daly aponta como um moto-perpétuo que claramente violaria a segunda lei da termodinâmica.

Porém a argumentação de Daly é criticada mesmo por alguns de seus discípulos por repousar exclusivamente sobre evidências colhidas sobre casos isolados, fazendo a ressalva de que a prova da relevância da entropia deveria ser

---

<sup>58</sup> Jeffrey T. Young: PHD em economia pela universidade do Colorado e professor de economia da St. Lawrence University.

suficientemente rigorosa para sobrepujar a base conceitual do axioma da abundância.

Entre estes discípulos estão McMahon e Mrozek que propõe então que a falha no argumento de YOUNG é que este seria uma reprodução do paradoxo sorites.

O paradoxo sorites decorre de um tipo de argumento silogístico onde, por uma inconsistência na definição do objeto do argumento, tornar-se-ia impossível estabelecer o limite além do qual o consumo de um recurso de um reservatório seria inviável, já que o recurso deixaria de existir como reservatório.

Já que este limite não poderia ser estabelecido de maneira inequívoca, um reservatório aparentaria ser abundante, ou inesgotável, até pouco antes do colapso completo do suprimento.

Sob essa ótica, a caracterização do axioma da abundância como um caso de paradoxo sorites serviria como argumento epistemológico suficiente para invalidar o axioma, e além disso, demonstrar que a economia neoclássica possuiria um vício de origem já que os indivíduos não dispõe de informações para medir precisamente, e portanto atribuir valor adequado, a recursos naturais escassos. Portanto um mercado dirigido pelo somatório das preferências individuais não poderia ser mais bem sucedido na gestão dos recursos ambientais do que os indivíduos que o compõe.

Dentro dos limites deste trabalho, não foi possível encontrar uma prova formal dessa argumentação, assim como não foi identificada se seria possível estendê-la até as questões de delimitação econômica dos reservatórios de recursos. A delimitação econômica estabelece, na prática, quando os reservatórios de um determinado recurso tornam-se inacessíveis em função do preço de venda máximo aceito pelo mercado (considerada a elasticidade preço da demanda) comparado aos custos de extração definidos pela tecnologia disponível.

Normalmente se justifica o fato de não desenvolver estes argumentos, por uma questão de computabilidade, assumindo-se que estas análises poderiam ser

levadas a cabo apenas para determinados recursos isoladamente, mas não para o conjunto da economia, considerando as interações entre os diversos recursos ambientais, que criam um sistema complexo e de previsibilidade limitada.

Entretanto essa argumentação também é passível de alguma crítica. A primeira crítica diz respeito a possibilidade de conhecimento da existência e dimensão exata dos reservatórios, bem como dos meios para sua exploração. Como não é possível estabelecer a extensão do conhecimento disponível em relação a disponibilidade real dos recursos, tem-se que assumir que toda projeção é *coeteris paribus*. O que não deixa espaço para as ampliações decorrentes de novas informações e tecnologias.

A segunda crítica, associada a primeira, é de que se as preferências individuais são incapazes de elaborar avaliações adequadas para a precificação de ativos escassos, não seria possível que uma outra instância, basicamente uma agregação dessas preferências individuais se torna-se capaz de fazê-lo.

Isso significa que caso o conhecimento completo da disponibilidade de recursos ambientais fosse computável, a ação individual seria uma alternativa tão válida quanto qualquer outra e portanto, ao contrário da afirmação do artigo, o pressuposto neoclássico de precificação pela preferências individuais seria válido, ainda que o axioma da abundância, em si, não fosse.

Tanto Daly quanto McMahon e Mrozek, criticam ainda o argumento teleológico desenvolvido por Young. Reconhecendo inicialmente que este argumento é ainda mais difícil de refutar do que o argumento baseado no axioma da abundância. Neste caso, afirmam, é necessário observar que o conceito de entropia é muito mais amplo do que a formulação de Clausius para a segunda lei da termodinâmica, à qual o argumento de Young estaria restrito.

Nessa discussão, os argumentos neoclássicos a favor do crescimento econômico sustentável seriam redutíveis ao que se segue:

- A existência de estoques virtualmente ilimitados de reservatórios de recursos de baixa entropia (negentropia).

- A continuação do desenvolvimento tecnológico elevaria a eficiência do uso dos recursos até o ponto em que a taxa de geração de entropia em relação ao consumo de recursos de baixa entropia (negentropia) seja desprezível. Para isso a reciclagem teria que atingir níveis suficientemente próximos de cem por cento de tal modo que a depleção de recursos fosse compensada pela principal fonte de baixa entropia “inexaurível”, a radiação solar.

O primeiro argumento seria refutado pela sua caracterização como um caso do paradoxo sorites, enquanto que o segundo argumento poderia ser refutado com base na substituição do conceito empírico de entropia pelo conceito de entropia estatística, de tal modo que a entropia poderia ser definida como um princípio organizador do conhecimento.

Haveria uma distinção entre lei natural e princípio organizador do conhecimento. O caráter deste último seria mais restritivo, não pretendendo ser universal ou atemporal, mas aplicável apenas a sistemas delimitados e de tamanho finito. Entretanto, descrevem a entropia como “uma condição a priori, afetando a história subsequente de todos os eventos reais (eventos envolvendo tanto matéria quanto energia). Como tal, a entropia não pode ser logicamente deduzida e é, portanto, axiomática a qualquer sistema formal usado para descrever o universo físico” (MCMAHON E MROZEK,1997 p.508). Essa afirmação contradiz a própria ampliação do conceito de entropia estatística, proposta como refutação ao argumento de Young, mas é essencial à proposição de que a entropia seria a grandeza unificadora da física, ecologia e economia.

## 9.7 OS LIMITES DA TECNOLOGIA

Por outro lado Young teria argumentado a favor da ideia de que a tecnologia, evoluindo constantemente, sustentaria uma criação ilimitada dos meios para aproveitamento dos recursos ambientais. Contra isso os adeptos da economia ecológica argumentariam que o que o teorema da incompletude demonstra é a capacidade limitada dos modelos formais em avaliar corretamente ou prever respostas coevolucionárias e/ou significativamente caóticas, de sistemas naturais complexos em face da atividade econômica da humanidade. De forma que a

tecnologia não seria capaz de resolver todos os problemas de recursos escassos, e que frequentemente pioraria a situação.

Além disso criticariam também a premissa de neutralidade da tecnologia, argumentando que, devido a assimetrias de mercado, alguns agentes poderiam buscar a maximização dos seus retornos, mesmo que isso significasse uma depleção ou um aproveitamento sub ótimo de bens comuns, em especial capital natural sem direitos de propriedade bem estabelecidos.

## 9.8 A RELEVÂNCIA DA SEGUNDA LEI NA ANÁLISE ECONÔMICA

Young propôs, a seu turno, uma refutação das propostas elaboradas por Georgescu-Roegen (2012) e Daly (1991), na qual a entropia representaria um limite físico intransponível ao crescimento econômico.

Essa refutação basear-se-ia em um conjunto de três argumentos:

- I) A entropia dos materiais não poderia ser definida independentemente da tecnologia.
- II) Seria impossível tratar o conteúdo entrópico dos diversos reservatórios de forma agregada e portanto estabelecer um limite global.
- III) Não faria sentido falar em um limite para o consumo dos recursos materiais de baixa entropia, uma vez que a terra não é um sistema isolado, recebendo continuamente energia do sol.

Young nunca negou que a análise econômica tradicional, que utiliza modelos de crescimento econômico baseados no paradigma neoclássico, ignorou ou não incorporou considerações físicas sobre energia e entropia e, em especial, sobre a segunda lei da termodinâmica.

Ele ressaltou que há semelhanças importantes entre o conceito de entropia e a lei dos rendimentos decrescentes, e entre a segunda lei da termodinâmica e o conceito de escassez econômica, mas que a segunda lei da termodinâmica seria aplicável apenas à quantidade de energia útil em um sistema fechado. Portanto,

como a terra recebe energia do sol em regime contínuo, assim como dissipa energia que é perdida para o espaço, caracteriza-se como um sistema aberto.

A Terra só seria um sistema fechado em relação ao balanço de massa<sup>59</sup>. De forma que a elevação da entropia do sistema (i.e. do planeta) em relação ao estoque de material seria a única limitação que poderia ser levada em conta nos modelos de produção e crescimento econômico.

Ele questionou que o conceito de entropia pudesse ser aplicado ao material, da mesma forma que é aplicado à energia e citou Georgescu-Roegen que estaria ciente de que a extrapolação do conceito de entropia só seria aplicável aos processos de transformação de material como analogia. Assim, segundo Young não seria possível afirmar que o processo de transformação de material obedece, ou não, à segunda lei da termodinâmica.

Uma das críticas ao trabalho de Young que aparece em Mrozek e McMahon (1997), é sobre a sua interpretação do conceito de entropia e da segunda lei da termodinâmica. que restringiu a aplicação da segunda lei ao fluxo de energia em sistemas fechados, delimitou o consumo de recursos *in situ* como significando uma mudança na quantidade de ordem do sistema.

É possível discutir ambas as afirmações já que o fato da medição da entropia ser feita sobre a variação na quantidade de energia de um sistema não significa que a entropia seja uma propriedade exclusiva deste sistema. Além disso, seguindo a definição de entropia proposta por Ben-Naim (BEN-NAIM, 2012) não faria sentido falar em um estado mais ou menos ordenado do sistema. A ideia de ordem é um conceito estritamente cultural, de modo que a ilustração do conceito de entropia como grau de ordenamento não tem como ser formalizada e por isso não contribui para sustentar o argumento de Young.

---

<sup>59</sup> Mesmo considerando a massa de meteoritos recebida anualmente pelo planeta, essa quantidade em relação ao montante dos recursos minerais disponíveis e as suas características qualitativas, basicamente material de alta entropia com pouco interesse econômico como fonte de energia, permitem que esse dado seja considerado irrelevante para a análise em discussão,



Young fez uma ressalva muito interessante, reconhecendo como uma discussão importante o uso da eficiência energética como medida na seleção econômica de tecnologias e na tomada de decisão para alocação de recursos, nos moldes propostos por Ayres (KÜMMEL, AYRES, & LINDENBERGER, 2010).

O principal questionamento que ele colocou, foi se o conceito de entropia aplicado aos estoques de materiais, e não apenas ao estoque de energia, seria mesmo necessário como forma de incorporar a gestão dos recursos ambientais à análise econômica.

Para isso, dividiu a argumentação em duas partes. A primeira sendo uma revisão da literatura que discute a utilização de propriedades físicas como variáveis explicativas do modelo de crescimento econômico. E a segunda, a proposição de um modelo simplificado de crescimento econômico, estabelecido com base nas premissas definidas por Georgescu-Roegen e Daly. Esse modelo aplicado permitiu uma avaliação de suas implicações, submetendo o sistema a um caso limite, no qual a entropia diminuiria em um sistema fechado.

#### 9.8.1 1ª PARTE

Começando pela discussão do trabalho de Ayres e Kneese, que introduziu a conservação da massa e da energia nos modelos de crescimento econômico neoclássico, Young discutiu o conceito de que, não havendo destruição de matéria, os processos de transformação não implicariam em uma redução física, mas puramente econômica dos estoques. Essa observação faz bastante sentido justamente do ponto de vista neoclássico, já que a diferença qualitativa entre o produto do processo de transformação e o seu insumo, seria resultado unicamente da percepção dos agentes de mercado. Note-se que isso vai na direção oposta à da visão heterodoxa proposta por Georgescu-Roegen, Daly e Mrozek, para quem a diferença qualitativa resultaria da transformação de um insumo de baixa entropia em um resíduo de alta entropia caracterizando uma degradação absoluta que independeria do observador, e que ignoraria a possibilidade de introdução de inovações capazes de utilizar os rejeitos de baixa entropia.

É necessário considerar também o contexto histórico, relacionando o surgimento das propostas heterodoxas ligadas à questão ecológica, com as crises ambientais e do petróleo na década de 1970, em especial no caso do trabalho de Georgescu-Roegen, o primeiro a estabelecer a entropia como a origem física da escassez econômica, de tal modo que essa seria a condição necessária, ainda que não suficiente, para a criação de valor econômico.

Seria plausível que a explicação da má recepção dos economistas às ideias de Georgescu-Roegen seria resultado do fato da entropia ser um conceito elaborado posteriormente à lei dos rendimentos decrescentes de Ricardo, proposta cerca de cinquenta anos depois, por Clausius e em relação à qual seriam redundantes, contra intuitivas, e repousariam sobre uma grandeza física que careceria de explicação em si mesma. A entropia.

Young contudo, fez a ressalva de que Ricardo não poderia ser considerado um precursor de Boltzmann, e que a lei dos rendimentos decrescentes pressupunha que os estoques de um recurso seriam consumidos em uma ordem específica, ao passo que a entropia aumenta sempre, independente da trajetória de degradação do sistema. Seguindo essa visão histórica é possível fazer uma revisão do trabalho de Daly que, aprofundaria a proposta inicial de Georgescu-Roegen, caracterizando a entropia como uma tendência inexorável em direção a uma escassez absoluta, onde o papel da ciência econômica seria o de gerir os recursos ambientais para reduzir o ritmo da degradação até um estado-estacionário, o que implicaria em impor restrições ao crescimento econômico.

O fato de que Georgescu-Roegen não simpatizaria com a economia em estado estacionário de Daly, sendo mais radical na sua crítica ao paradigma neoclássico de crescimento infinito. Ocorre que a crítica de Georgescu-Roegen aos neoclássicos é, nesse sentido, mais incisiva que a de Daly, já que advoga não um estado estacionário mas sim um programa de decrescimento econômico (GEORGESCU-ROEGEN N. , 2012, p. 155).

Do ponto de vista da ortodoxia econômica, independente de efetivamente representar um limite econômico ou um referencial universal da escassez, a

entropia não foi incorporada à análise econômica ortodoxa basicamente porque a sua influência na efetividade dos modelos não seria significativa. Os trabalhos de Ayres poderiam ser relacionados como uma das poucas exceções, onde se considera que a segunda lei da termodinâmica teria um impacto significativo nas premissas das funções de crescimento econômico.

Por exemplo, no caso de uma função de produção Cobb-Douglas,

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta}R^{\gamma}$$

Onde

Y é a produção

A é a constante definida pela tecnologia disponível e é maior que zero ( $A > 0$ ).

K e L são respectivamente capital e trabalho.

R é o consumo de recursos não renováveis de baixa entropia, usualmente limitado aos combustíveis fósseis.

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são as elasticidades de substituição que em um modelo ortodoxo são tais que  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ .

Para um modelo com capital constante, trabalho não significativo ( $\beta = 0$ ) e estoques de insumos diminuindo assintoticamente ( $R \rightarrow 0$ ) teríamos as seguintes situações para a curva de crescimento econômico em função dos estoques de recursos para diversos valores de  $\alpha$ .

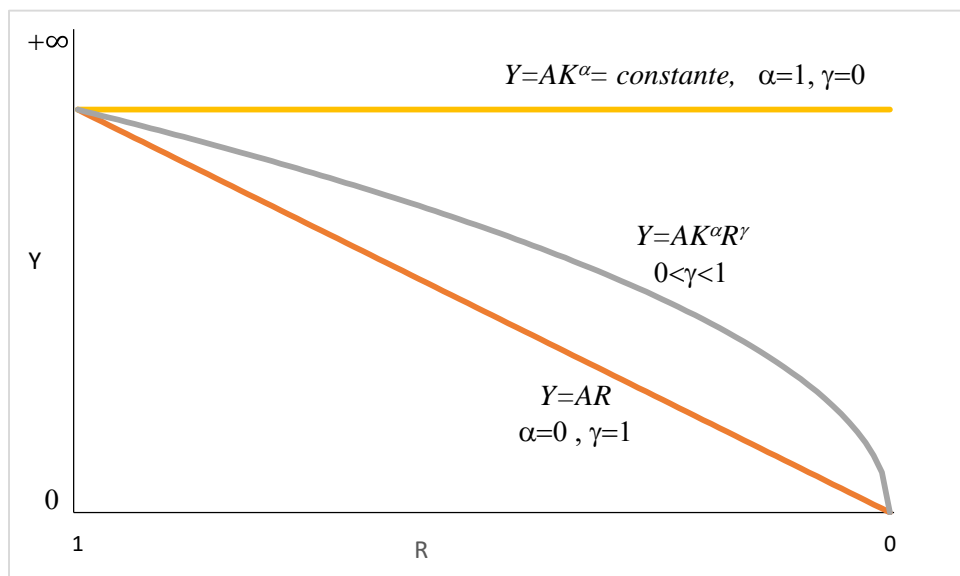


Figura 9 - Gráfico de produção (Y) em relação ao consumo do estoque de Recursos (R). Elaboração própria

Ou seja, para valores de  $\gamma=0$  ( $\alpha=1$ ) a produção (Y) não depende do input de material e, portanto, o capital (K) seria capaz de sustentar a produção sozinho (o que caracterizaria o estado estacionário da economia neoclássica). Para valores de  $\alpha=0$  a produção dependeria linear e exclusivamente do input de material, e para  $0 < \alpha < 1$  a curva de produção cairia até que para  $R=0$  não existiria produção. Para essas condições de contorno a tecnologia (A) afeta o nível de produção mas não o seu comportamento.

Para Ayres, se ocorrer uma das três condições descritas a seguir, o fato de R ser um recurso ao mesmo tempo finito e necessário para a produção não implica em uma estagnação ou declínio da produção na medida em que o estoque de recursos é consumido.

- a) A elasticidade de substituição entre R e K é maior que 1. Ou seja  $\alpha + \gamma > 1$ .
- b) A elasticidade de substituição é igual a 1 e a fração do capital é maior que a dos recursos. Ou seja  $\alpha + \gamma = 1$  e  $\alpha > \gamma$ .
- c) Ocorre um aumento da disponibilidade dos recursos, como resultado da inovação tecnológica (A).

Mas (a) só fica assintótico em direção a  $Y=0$  se  $\alpha$  e  $\beta$  forem maiores que 1. Se  $0 < \alpha < 1$  ou  $0 < \gamma < 1$ , então a produção diminui linearmente, de tal modo que a hipótese (b) não pôde ser visualizada em nenhuma situação específica. Já a hipótese (c) transforma o modelo em um sistema não linear (recursivo) já que o consumo de recursos (R) gera incrementos tecnológicos (A) o que permitiria aumentar a produção (Y) mesmo com a redução progressiva do fluxo de recursos.

A observação de Young a esse respeito, é de que não apenas  $R > 0$  é uma condição necessária, mas que as curvas de produção neoclássicas exibiriam propriedades assintóticas que violam a lei da conservação da matéria. Afirmando ainda que seria claramente impossível reduzir R a um valor infinitesimal, apenas fazendo o capital (K) crescer rápido o suficiente, qualquer que fosse o valor da elasticidade de substituição entre o capital (K) e os recursos (R). Mas essa afirmação dependeria da definição adotada para o produto (Y).

Se (Y) é a renda obtida exclusivamente pela produção dos setores agrícola e industrial, então a dependência de Y em relação a R efetivamente impede a manutenção de um fluxo constante de Y caso o fluxo de R caia demais.

Por outro lado, quando se analisa a produção ligada a propriedade intelectual, então a relação com o consumo de recursos naturais esgotáveis (R) torna-se muito menos significativa. Em alguns casos, como a produção de software, os recursos materiais são exclusivamente indiretos, de modo que a função produção pode ser perfeitamente adequada apenas com base no capital e trabalho. A observação de Young nesse sentido poderia ser considerada restrita ao contexto de 1991, entretanto ele levantou esse aspecto como algo que corroboraria o argumento de Georgescu-Roegen, Daly e Ayres em favor da relevância da termodinâmica, ainda que não necessariamente da entropia ou da segunda lei, na análise econômica.

Seguindo essa linha ele concordou que seria relativamente simples incluir uma condição de contorno na função de produção, de modo que  $R \geq R_0$  e  $R_0 > 0$ . No entanto, Young não considerou que isso introduziria uma mudança radical no pensamento econômico ortodoxo. Talvez porque essas premissas, mesmo não

sendo explicitadas, seriam tacitamente reconhecidas nos modelos tradicionais, cuja pretensão limita-se a constituir uma aproximação suficientemente boa para torna-lo instrumental.

Além disso, Young questionou que, mesmo que essas restrições fossem inseridas, isso não introduziria um limite termodinâmico ao crescimento econômico. No máximo restringiria o otimismo em relação a um crescimento econômico sustentável.

### 9.8.2 2ª PARTE

A segunda parte do argumento de Young foi construída a partir da elaboração de um modelo formal para a função de produção utilizando as premissas estabelecidas por Georgescu-Roegen, Daly e Ayres.

Esse sistema possuiria apenas dois insumos genéricos distinguíveis: material e energia. Esses insumos seriam processados com os recursos de capital (K) e trabalho (L) disponíveis. Como premissas, Young considerou que as leis de conservação de massa e energia seriam aplicáveis ao sistema, assim como a entropia do sistema, que teria que se comportar em conformidade com a segunda lei da termodinâmica, o que implicaria no conjunto de características do sistema que são descritas a seguir:

- a) Toda produção requer o consumo de trabalho e energia, inclusive a produção de trabalho (L) e capital (K).
- b) Todo o consumo de energia deve ser apurado tanto antes quanto depois da execução do processo produtivo.
- c) Os estoques totais de material e energia são constantes e totalizam as respectivas quantidades disponíveis no planeta. Em um momento qualquer, esses estoques se dividem em uma parcela que pode ser encontrada *in situ* e outra que está dispersa na forma de dos estoques de produtos acabados e de resíduos não aproveitáveis.

Note que apesar da separação entre material *in situ* e material disperso, Young não fez uma distinção qualitativa entre estes materiais. Ele aplicou a segunda lei da termodinâmica em termos de um “grau de ordenamento” presente no estoque. Este ordenamento teria então que diminuir ao longo do tempo.

Nesse modelo, restringiu-se o estoque de energia àquela incorporada nos estoques de combustíveis fósseis. Desconsiderando propositalmente, em favor da simplicidade, os fluxos de energia recebidos e dissipados pela atmosfera, de tal forma que o sistema foi isolado de fontes externas de material e energia. A mesma regra de simplicidade implicou na exclusão de fontes geotermiais, energia eólica e energia atômica.

Young propôs então uma função de produção que explicitaria o capital (K), trabalho (L), energia (E), material (M) e tempo (t),  $Y = F(K, L, E, M, t)$ .

Note-se que o tempo (t) é inserido como uma variável que serve para incorporar a evolução tecnológica. Em substituição ao usualmente adotado parâmetro A, já que a introdução de novas tecnologias faria com que as elasticidades de substituição se alterassem ao longo do tempo. Além disso, neste modelo simplificado, o estoque de capital é constante, não sofrendo depreciação no tempo.

Assim, ele começa formalizando a evolução do estoque de material ao longo do tempo, considerando que, em conformidade com a primeira lei da termodinâmica e com a premissa de sistema fechado, ter-se-ia o seguinte balanço de material:

$$S_m(t) = S_m(0) - \int_0^t MS(t)dt + \int_0^t D_m(t)dt + \int_0^t M_s(t)dt \int_0^t G(t)dt$$

onde:

$S_m(t)$  , estoque de material em t

$S_m(0)$ , estoque inicial de material

$MS(t)$ , consumo de Matéria Prima

$D_m(t)$ , geração de material rejeitado

$M_s(t)$ , geração de Produto Acabado

$G(t)$ , geração de material reciclável.

E o balanço de energia seria dado por:

$$S_E(t) = S_E(0) - \int_0^t ES(t)dt + \int_0^t D_E(t)dt$$

Onde:

$S_E(t)$  estoque de reservas fósseis em t

$S_E(0)$  estoque inicial de reservas fósseis

$ES(t)$  quantidade extraída das reservas

$D_E(t)$  energia dissipada em perdas e reservas irrecuperáveis

Neste ponto é que Young introduziu o raciocínio que veio a ser criticado por McMahon e Mrozek (1997) como constituindo uma forma de paradoxo sorites.

O paradoxo sorites decorre de um tipo de argumento silogístico onde, por uma inconsistência na definição do objeto do argumento, tornar-se-ia impossível estabelecer o limite além do qual o consumo de um recurso de um reservatório seria inviável, já que o recurso deixaria de existir como reservatório.

Já que este limite não poderia ser estabelecido de maneira inequívoca, um reservatório aparentaria ser abundante, ou inesgotável, até pouco antes do colapso completo do suprimento.

No caso específico do modelo de Young, isso seria formalizado por:  $S_E(t)=S_E(0)$ .

Ou seja. A extração de das reservas de energia entre (t) e (t=0) seria desprezível. Bastando para isso que a extração de energia fosse equivalente à perda por dissipação, que é definição formal do estado estacionário:



$$\int_0^t ES(t)dt = \int_0^t D_E(t)dt$$

O problema neste caso é que a quantidade de energia extraída da reserva durante o tempo (t) não seria grande o suficiente para fazer  $S_E(t) > S_E(0)$ .

Na sequência do argumento Young definiu negentropia, o estoque de material de baixa entropia e facilmente conversível em trabalho mecânico, como sendo o “estoque disponível de material”,  $AS_m(t)$ , e formalizado como:

$$AS_m(t) = S_m(0) - \int_0^t MS(t)dt + \int_0^t G(t)dt$$

Ou seja, a negentropia  $AS_m(t)$ , ou estoque de material útil para geração de produto sofre mudança ao longo do tempo como resultado do estoque inicial de material  $S_m(0)$ , menos a produção acumulada de bens acabados,  $\int_0^t MS(t)dt$ , mais a acumulação de estoques de materiais recicláveis,  $\int_0^t G(t)dt$ .

Neste ponto então ele fazia a distinção entre a formalização da primeira e da segunda lei da termodinâmica quando aplicadas a economia.

Para ele, as identidades que definem os estoques totais de material,  $S_m(t)$ , e energia,  $S_E(t)$ , no instante (t) seriam a formalização da primeira lei da termodinâmica de modo que, em um sistema fechado não haveria perda de energia ou matéria.

Já as equações que definem os estoques disponíveis de material e energia,  $AS_m(t)$  e  $AS_E(t)$  respectivamente, traduzem uma alteração qualitativa nesses estoques que representaria a degradação entrópica irreversível dos recursos ambientais. Lembrando que no modelo de Young o estoque de energia é limitado às reservas de combustíveis fósseis.

Então, se a geração de refugos e poluição  $D_m(t)$ , dissipação de energia, ou acúmulo de reservas irrecuperáveis  $D_E(t)$  forem maiores que zero, a entropia é positiva e sob o ponto de vista econômico o sistema estaria sofrendo uma

degradação, que no caso extremo, como postulado por Georgescu-Roegen, implicaria não na estagnação, mas na cessação completa do fluxo de produto.

Young formalizou a perda de capacidade econômica como uma alteração qualitativa dos estoques de material, representada por  $Q$ , uma variável dependente dos fluxos de extração de material ou energia, e do tempo:

$$Q_m = g_1(MS, t)$$

$$Q_E = g_2(ES, t)$$

Onde, em conformidade com a segunda lei da termodinâmica temos:

$$\frac{\partial Q_m}{\partial t} < 0$$

$$\frac{\partial Q_E}{\partial t} < 0$$

Formalizando a degradação dos estoques de materiais de baixa entropia.

Depois de alguma produção e descarga de material. O estoque total  $M$  teria que ser o mesmo, porém, estando então mais disperso, ou desordenado.

Young utiliza a ideia de ordem, ou ordenamento, associando um índice de qualidade do estoque disponível,  $AQ_m$ , como medida desse ordenamento. Representando a progressiva perda da qualidade dos recursos remanescentes, *in situ*, após a extração.

Neste ponto torna-se possível traçar uma diferença entre a entropia e a lei dos rendimentos marginais decrescentes de Ricardo.

Segundo os rendimentos decrescentes, se você iniciasse a extração pelos recursos menos produtivos, deixando os mais produtivos para o final ( o que equivaleria a colher primeiro as maçãs localizadas no topo das copas, deixando as mais fáceis de pegar para o final do dia), os rendimentos se tornariam crescentes.

Matematicamente, essa situação seria representável em um gráfico como o que se segue:

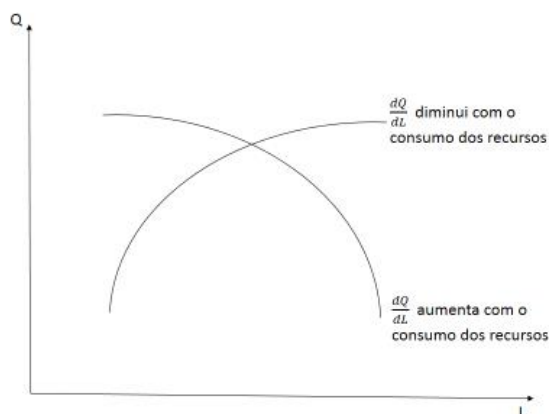


Figura 10 - Rendimentos crescentes pelo argumento de Young

Então, do ponto de vista da entropia do sistema, a variação seria sempre positiva, independentemente da ordem em que os recursos fossem consumidos, já que,  $AS_m(t) = S_m(0) - \int_0^t MS(t)dt + \int_0^t G(t)dt$ , neste modelo o estoque de recursos de baixa entropia disponíveis diminui ao longo do tempo, não importando a ordem em que seja consumido.

Isso também vale para o balanço de energia. Ainda que a velocidade com que a energia seja consumida pudesse variar em função da produtividade da extração, o balanço final do estoque disponível de energia será sempre negativo.

Dito de outra forma, independentemente da sequência da extração a entropia sempre aumenta já que o processo de produção consome os recursos ambientais de baixa entropia, produzindo um bem acabado de entropia ainda mais baixa, mas simultaneamente descarregando no sistema uma quantidade de refugos materiais e energia dissipada que, somados, resultam em um balanço entrópico positivo.

Todavia, o comportamento dos agentes de mercado acaba por levar em conta a eficiência energética nos processos de extração, na medida em que a progressiva redução na qualidade dos recursos disponíveis, *in situ*, demandaria quantidades crescentes de trabalho, energia e tecnologia para assegurar a

continuidade do fluxo de produção. De forma que ao longo do tempo ocorre uma redução progressiva dos retornos.

Nestas circunstâncias a renda decresceria com o consumo dos recursos, o que seria representado formalmente como  $\frac{\partial Y}{\partial AQ} > 0$ . Entretanto, para que isso fosse verdadeiro a qualidade dos recursos teria que variar no mesmo sentido que a produção, de modo que os dois diferenciais fossem simultaneamente maiores ou menores que zero.

Entretanto, ainda que a renda  $\partial Y$  variasse proporcionalmente menos que a negentropia  $\partial AQ$ , o sentido dessas variações seria sempre contrário uma em relação à outra já que a produção aumenta como decorrência do maior consumo dos recursos.

Isso significa que para  $\partial Y > 0$  teríamos  $\partial AQ < 0$ , e que  $\frac{\partial Y}{\partial AQ} < 0$ , obrigatoriamente.

Há aqui uma outra questão interessante, levantada por Young: "...não é o conhecimento, que não se conserva quando usado (comunicado), fundamentalmente antientrópico?" (YOUNG, 1991 p.177). A questão viria a propósito do papel da tecnologia como uma força contrária à lei dos rendimentos decrescentes. Capaz não de reverter a degradação entrópica, mas de reduzir o ritmo da depleção dos recursos ao longo do tempo. Young ainda amplia o impacto da evolução tecnológica ao afirmar que as mudanças tecnológicas mais importantes criaram recursos a partir de materiais não econômicos.

Ao fazer essa afirmação Young introduziu uma divisão que não havia sido previamente estabelecida no seu modelo, separando os recursos entre econômicos e não-econômicos.

Essa separação não foi reconhecida por Georgescu-Roegen ou Daly, para quem o conjunto das reservas ambientais do planeta era considerado sempre em sua totalidade. Sob essa ótica o estoque inicial de material abrangeria o planeta como um todo, ainda que não detivéssemos conhecimento completa do sua

existência, extensão, ou dos meios para a sua exploração e conversão em bens e renda .

Seria possível afirmar que Young e Georgescu-Roegen estavam se referindo ao mesmo conjunto de recursos. Mas como Young iniciaria seu modelo apenas com as reservas conhecidas, deixando de fora todo o estoque de materiais não mapeados, ficaria com a impressão de que a tecnologia foi capaz de criar reservas de baixa entropia.

Essa questão traz a discussão para mais perto do conceito de medida de informação de Shannon. Assim, a entropia não se configuraria como uma grandeza física inerente ao estoque de material. Mas como uma medida da quantidade de informação disponível.

Young questiona superficialmente o significado do conceito de entropia, ou mais especificamente o de negentropia. Ele argumenta que o conceito é antropomórfico e intimamente associado com o que pode ser considerado como útil e seria, portanto, definido pela tecnologia disponível.

Entretanto, o fato do conceito ser antropomórfico e dependente da tecnologia disponível não desqualificaria a entropia como um descritor útil para a função de produção.

É possível especular sobre uma certa cegueira de paradigma nesta crítica de Young, que estaria limitado pela abordagem de Georgescu-Roegen, para quem a entropia seria uma propriedade fundamental da natureza, à qual todo valor econômico seria redutível. Isso seria perfeitamente compatível com o objetivo e a delimitação de escopo do trabalho de Young, que apenas lembrando, pretendia avaliar a relevância do uso do conceito de entropia, como formulado por Georgescu-Roegen e Daly, na análise econômica da geração de renda.

Uma crítica que Young faz ao modelo, seria a de considerar uma única fonte de recursos, materiais ou energéticos. Assim, a cada vez que a evolução tecnológica viabilizasse a exploração de uma nova fonte de baixa entropia, a entropia total do sistema diminuiria ao invés de aumentar. Esse argumento, porém,

não é fiel ao raciocínio de Georgescu-Roegen, para quem a entropia do sistema no estado inicial ( $t=0$ ) abrangeria a totalidade dos materiais encapsulados no planeta. Portanto, afirmar que a entropia do sistema diminuiria como decorrência do avanço tecnológico, que tornaria possível a exploração de recursos considerados fora do sistema em  $t(0)$ , seria uma interpretação incompleta.

Uma interpretação mais abrangente teria que traçar alguma forma de distinção entre a entropia dos recursos não-econômicos e a entropia dos recursos econômicos. Sob essa ótica o avanço tecnológico representaria um duplo papel:

- a) Elevando a eficiência no uso dos estoques de recursos disponíveis. Isso não implicaria em uma redução na velocidade da depleção dos estoques, uma vez que a demanda pode seguir crescendo, seja pelo aumento da quantidade de consumidores, seja pelo surgimento de novas aplicações.
- b) Deslocando a entropia dos estoques de recursos, do conjunto dos recursos não econômicos para dentro do conjunto dos recursos econômicos. Do ponto de vista físico, isso não representa uma redução da entropia do sistema mas uma ampliação do potencial de criação de valor econômico.

A incorporação de novas reservas só poderia ser considerada como uma ampliação das fronteiras do sistema.

O interessante, neste caso, é que o processo poderia ser formalizada como um acréscimo na quantidade de informação disponível, avaliado pela medição da informação de Shannon, proporcional à entropia útil das reservas que forem agregadas ao estoque. Onde o fator de proporcionalidade seria a eficiência termodinâmica para a fonte de recursos em especial.

Young argumenta que a entropia dos estoque não econômicos de material não poderia ser levada em conta no cálculo dos estoques disponíveis, porque neste caso o material rejeitado também deveria ser incluído no estoque disponível. De fato o material rejeitado está disponível, e a diferença é exatamente a negentropia do estoque total.

Young referiu-se a tentativa de aplicação da segunda lei da termodinâmica à economia como um tipo de cientificismo contra o qual Hayek e Popper teriam lançado alertas. De fato, a proposição de Georgescu-Roegen poderia ser manipulada para se concluir que, dada as limitações impostas à economia pela termodinâmica, seria justificável impor um programa econômico capaz de otimizar a utilização dos estoques de recursos de baixa entropia e a reboque legitimaria uma ação política nesse sentido.

O gambito indesejável em uma situação assim seria a inversão dessa lógica de causalidade. Legitimando-se a imposição de uma ação política a partir do argumento de que a necessidade de uma gestão ordenada dos recursos ambientais seria sustentada por argumentos científicos.

Ainda seguindo a linha de raciocínio de Popper, nenhum regime político poderia ser legitimado sobre um modelo científico fechado, a exemplo do modelo proposto por Young e também no descrito por Mrozek, elaborados sobre a lógica proposta por Georgescu-Roegen, já que isso implicaria igualmente no fechamento da sociedade. Apenas recapitulando que a visão Popperiana de sociedade aberta presume a impossibilidade do conhecimento de todos os fatores que sobre ela atuam ou atuaram, de forma que novos dados precisam ser continuamente incorporados ao equilíbrio de forças dentro dessa sociedade.

## 10 A ECONOMIA DA INFORMAÇÃO EM THEIL

### 10.1 HISTÓRICO

Henri (Hans) Theil (1924-2000) foi um economista Holandês, contemporâneo de Georgescu-Roegen (1906 - 1994) e Herman Daly (1938 - ), que desenvolveu um extenso trabalho em econometria, com uma abordagem própria interligando conceitos de crescimento econômico, análise de risco e decisão sob incerteza, com a recém criada teoria da informação.

Publicou em 1966 , apenas quatro anos após a publicação do artigo de Shannon, o livro: *Economics and Information Theory*, onde utiliza extensivamente o conceito de entropia da informação para estabelecer o impacto da informação sobre o erro em projeções econométricas e suas relações com o crescimento econômico e com as estruturas de distribuição de renda, para as quais desenvolveu o que ficou conhecido como índice de Theil.

A abordagem de Theil deu origem a uma linhagem fecunda, ainda que menos popular, de economistas como Koshnevisan e Sengupta.

Nesta seção é feita uma revisão das críticas à teoria do valor trabalho que conduziram à formalização da teoria da utilidade marginal, em seguida é apresentada a crítica de Georgescu-Roegen à teoria da escolha para, então, apresentar a proposta de Theil que introduz a informação como fator probabilístico na teoria da escolha sob incerteza. Por fim são apresentadas as aplicações de Khoshnevisan e Sengupta que se desenvolveram a partir do modelo de Theil.

### 10.2 CRÍTICA MARGINALISTA À TEORIA RICARDIANA DO VALOR-TRABALHO.

Stigler (STIGLER, 1950, p. 316) descreveu a crítica de Jevons à teoria Ricardiana do valor trabalho, onde são apontadas três deficiências:



1ª) Ricardo teve que lançar mão de uma teoria especial para produtos com suprimento limitado, como por exemplo, estátuas raras. Isso seria a comprovação que o custo da mão-de-obra não seria essencial à definição do valor.

2ª) custos elevados de mão-de-obra não seriam capazes de conferir um valor também elevado a um produto, se a previsão de demanda for incorretamente estabelecida muito acima da demanda real.

3ª) o trabalho é heterogêneo, e os diferentes tipos de trabalho só podem ser comparados através das diferenças de valor dos seus produtos. Assim, uma teoria do valor a partir do trabalho dependeria de uma tautologia.

Naturalmente, sendo cronologicamente muito próximos de Marx, e atuando em círculos muito distintos, nem Jevons, nem Walras ou mesmo Menger, discutem a teoria marxista do valor-trabalho. O valor em Marx é uma relação entre a utilidade do material (valor-de-uso) e a quantidade de trabalho social médio (a produtividade média) sendo essa relação expressa no valor-de-troca.

A criação do trabalho social abstrato para Marx parece ser uma tentativa de contornar a 3ª deficiência apontada por Jevons na teoria Ricardiana do valor trabalho:

Todavia, o trabalho que constitui a substância dos valores é o trabalho humano homogêneo, dispêndio de idêntica força de trabalho. (MARX, p.60)

Cada uma dessas forças individuais de trabalho se equipara às demais, na medida em que possui o caráter de uma força média de trabalho social e atue como essa força média, precisando, portanto, apenas do tempo de trabalho em média necessário ou socialmente necessário para a produção de uma mercadoria. Tempo de trabalho socialmente necessário é o tempo de trabalho requerido para produzir-se um valor-de-uso qualquer, nas condições de produção socialmente normais existentes e com o grau social médio de destreza e intensidade do trabalho. (MARX, p.61)

“O que determina a grandeza do valor, portanto, é a quantidade de trabalho socialmente necessária ou o tempo de trabalho

socialmente necessário para a produção de um valor-de-uso. “(MARX, p.61).

Mercadorias que contém iguais quantidades de trabalho, possuem, conseqüentemente, valor da mesma magnitude.

É possível identificar nas passagens acima o esforço de Marx para relacionar a grandeza social chamada de valor, com um conjunto abrangente de variáveis explicativas: a produtividade média para um determinado bem, a qual por sua vez depende da tecnologia disponível e da qualificação do trabalhador, duas variáveis que são situadas no contexto histórico e social. O objetivo marxismo era obter uma formulação do valor que fosse resultado da ação coletiva, independente de axiomas introspectivos.

### 10.3A ABORDAGEM MARGINALISTA À MEDIÇÃO DA UTILIDADE.

Stiegler (1950) menciona que: *without exception, the founders [Jevons, Walras, Menger] accepted the existence of utility as a fact of common experience, congruent with most casual introspection.* (p.316) sinalizando o conceito como axiomático.

A descrição marginalista do conceito de utilidade é a de uma percepção humana, individual e portanto subjetiva.

Entretanto, o fato social de que essa percepção é a base das relações econômicas, suscita a necessidade de uma explicação, ou melhor, da elaboração de um modelo formal, que permita estabelecer previsões sobre o comportamento dos agentes econômicos.

Então, essa percepção humana individual, que é a utilidade, não seria possível de medição objetiva (assim como o valor marxiano) mas estaria presente nas relações objetivas de preço, quantidade consumida e mix da cesta de produtos. De tal forma que, mesmo tratando-se de uma abstração incomensurável, a razão entre duas utilidades diferentes seria passível de quantificação.

De maneira simplificada, se um consumidor tem uma quantidade finita de dinheiro para alocar entre diversos itens diferentes, ele vai fazê-lo de tal forma que a utilidade marginal obtida em relação ao preço de cada mercadoria seja a maior possível.

Como a utilidade marginal diminui com o aumento da quantidade consumida (princípio da utilidade marginal decrescente) então a relação,  $\frac{MU}{p}$ , atinge um máximo, e a partir desse ponto, o consumidor começa a alocar seus recursos em um outro item da cesta até que o ponto de máximo também seja atingido.

No limite, o orçamento do consumidor seria alocado em uma cesta contendo um mix de produtos, todos com a máxima relação,  $\frac{MU}{p}$ , onde este ponto de máximo é uma constante, de tal forma que

$$\frac{MU_1}{p_1} = \frac{MU_2}{p_2} = \frac{MU_3}{p_3} = \dots = \frac{MU_n}{p_n}$$

De tal forma que a razão entre os preços é diretamente proporcional à razão entre as utilidades marginais:

$$\frac{MU_1}{p_1} = \frac{MU_2}{p_2} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} \propto \frac{MU_1}{MU_2}$$

Essa abordagem é uma simplificação nem sempre aceita. Georgescu-Roegen por exemplo a criticou por assumir que o consumidor seria consistente na sua avaliação e que o conjunto das necessidades não poderia ser limitado a uma cesta de produtos, segundo o princípio do crescimento das necessidades estabelecido pelo próprio Menger (GEORGESCU-ROEGEN 1954, p.514).

A utilidade marginal é quantificada também por uma equação de Estado (assim como a entropia). Assim, para um bem hipotético, para o qual a utilidade seja

quantificável, uma mudança na “quantidade” de utilidade do bem, de um estado inicial  $S_1$ , para um estado inicial  $S_2$  é dada por:

$$\Delta U = U(S_2) - U(S_1)$$

Se  $S_1$  e  $S_2$  são distinguíveis pela variação de um único parâmetro,  $g$ , então é possível assumir uma razão direta entre  $\Delta U$  e  $\Delta g$ , *ceteris paribus*

$$\left. \frac{\Delta U}{\Delta g} \right|_{c.p.}$$

Na abordagem neoclássica, a utilidade marginal seria então essa razão, no limite em que  $\Delta g$  tende a zero:

$$UM = \frac{\partial U}{\partial g} = \lim_{\Delta g \rightarrow 0} \left. \frac{\Delta U}{\Delta g} \right|_{c.p.}$$

O princípio de Gossen, da utilidade marginal decrescente, assume que a derivada segunda é menor que zero, de tal modo que

$$\frac{\partial^2 U}{\partial g^2} < 0$$

Ao combinar o princípio da máxima utilidade marginal com as curvas de equilíbrio de oferta e demanda, Walras chegou à formulação geral de equilíbrio de mercado (citado por Stieglar, p.322)

Produção, em um mercado governado pela livre concorrência, é uma operação através da qual os serviços [produtivos] podem ser combinados em produtos do tipo e quantidade apropriados de modo a fornecer a maior satisfação possível das necessidades, dentro dos limites da dupla condição que cada

serviço e cada produto possui apenas um único preço de mercado, no qual demanda e oferta se equiparam, e no qual o preço e o custo de produção são iguais.<sup>60</sup>

#### 10.4 DIFERENÇAS NO TRATAMENTO DO PROCESSO DE ESCOLHA

Georgescu-Roegen (1954) discutiu a abordagem marginalista ao processo de escolha, que seria toda baseada no estabelecimento de uma hierarquia de preferências e em um encadeamento lógico.

Assim, para três produtos,  $C^1$ ,  $C^2$ ,  $C^3$ , se  $C^1$  é preferível a  $C^2$ , formalizado como  $C^1 P C^2$ , e se  $C^2$  é preferível a  $C^3$ , formalizado como  $C^2 P C^3$ , então:  $C^1 P C^3$ .

A partir daí a questão a colocar é se seria possível estabelecer algum tipo de referência que definisse uma grandeza escalar capaz de transformar as relações de preferência em variáveis de um sistema universal de valor econômico (GEORGESCU-ROEGEN, 1954 p.522)

Mas como as percepções de preferência, utilidade e valor, ou as “distâncias” entre as duas ou mais preferências são sujeitas a distorções e vieses psicológicos, ou mesmo à mudança contínua à qual todo indivíduo está sujeito, qualquer tentativa de estabelecer uma grandeza escalar que se aproxime da utilidade abstrata seria impossível.

Já a abordagem da teoria da informação ao processo de escolha prevê as probabilidades de uma trajetória em uma árvore de decisões no qual o agente econômico tem sempre a possibilidade de consumir ou não consumir um dado produto. Então, para um conjunto de produtos com  $K$  diferentes itens, o número de escolhas possíveis será  $2^k$  (KHOSHNEVISAN, p. 6)

---

<sup>60</sup> Production in a market governed by free competition is an operation by which the [productive] services may be combined in products of appropriate kind and quantity to give the greatest possible satisfaction of needs within the limits of the double condition that each service and each product have only one price in the market, at which supply and demand are equal, and that the prices of the products are equal to their costs of production

Para estes autores, a utilidade marginal clássica pode ser denominada como utilidade intrínseca, mas o processo decisório é afetado pelo poder de escolha que o exercício da posse sobre o bem confere ao agente econômico. A isso eles denominam Utilidade Extrínseca. Sob esta ótica, todo produto tem alguma utilidade, de forma que a crítica que Georgescu-Roegen levanta, ao princípio de Gossen, que seria inválido para a utilidade marginal igual a zero, torna-se inválida, já que sempre haverá uma utilidade marginal extrínseca positiva.

Eles exemplificam com o caso da roupa de lã no verão (KHOSHNEVISAN, p. 5):

A utilidade não é mensurável apenas intrinsecamente pela capacidade de um produto em satisfazer uma necessidade de um indivíduo, mas também pela disponibilidade desse da produto em particular, em uma dado momento e numa localização específica que permitam ao indivíduo agir em consonância com suas intenções. Voltando ao nosso exemplo do casaco de lã, ainda que a utilidade intrínseca dessa peça de roupa no verão seja praticamente zero, a utilidade extrínseca resultante da informação da sua disponibilidade é suficiente para sustentar um efeito de substituição<sup>61</sup>

Assim, para a  $j$ -ésima utilidade marginal  $MU_j$  definida por:

$$MU_j = \frac{\partial U}{\partial C_j}$$

$$\frac{\partial U}{\partial C_j} - \lambda P_j = 0 \Rightarrow \frac{\partial U}{\partial C_j} = \lambda P_j$$

---

<sup>61</sup> Utility is not only to be measured by the intrinsic want-satisfying capacity of a commodity for an intending individual, but also by the availability of the particular commodity at that point in space and time to enable that individual to act according to his or her intention. Going back to our woolen jacket example, though the intrinsic utility of such a garment in summer is practically zero, the extrinsic utility afforded by its where availability can nevertheless suffice to up hold the law of substitution.

Onde  $\lambda$  é constante e é a máxima utilidade marginal por preço. Mas para que isso funcione a utilidade marginal extrínseca é maior que zero, para qualquer valor de  $j$ :  $\{MU_j > 0 \forall j\}$

$$S_{max} = \max_n [r(C_n) \cdot p(Ur_{(c)} > 0) \cdot p(r(C_n))], n \in N^+$$

$$p(Ur_{(c)} > 0) = \{0,1\} \Rightarrow S_{max} = \max_n [r(C_k) \cdot p\{r(C_k)\}]$$

Utilidade intrínseca  $Ur_{(c)}$ , definida por :

$$Ur_{(c)} = \sum_{j=1}^k r(C_j) \cdot p\{r(C_j)\} \text{ onde } j \in N^+ \text{ e } k \in N^-$$

Utilidade extrínseca  $U_x$ , as escolhas adicionais que se tornam possíveis a partir da simples existência da opção  $C_j$

Para um conjunto onde  $p(C) = 1 \Rightarrow k = 0$

“Expressando a frequência de escolhas alternativas em termos da probabilidade de obter o resultado  $r_j$  ao fazer a escolha  $C_j$ , a função generalizada da utilidade extrínseca pode ser descrita como uma versão modificada da função da entropia de Shannon, como se segue:

$$U_x = -K \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) \log_2 p(r(C_j))$$

Onde:  $j=1,2,\dots,2^k$  e onde o multiplicador  $-K=-n(0)$  é um fator escalar análogo à constante de Boltzmann da termodinâmica clássica, mas com o sinal invertido.”

Assim sendo, a maximização da utilidade geral extrínseca se reduz ao seguinte problema de programação não linear:

$$\max U_x = -K \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) \log_2 p(r(C_j))$$

$$\text{Sujeito às restrições: } \begin{cases} \sum p(r(C_j)) = 1 \\ p(r(C_j)) \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, 2^K \text{ ou} \\ j = 2^0, 2^1, \dots, 2^K \end{cases}$$

Colocando a função objetivo na forma usual do multiplicador lagrangeano, tem-se:

$$Z = -K \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) \log_2 p(r(C_j)) + \lambda \left( \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) - 1 \right)$$

Agora, pela condição de maximização de primeira ordem temos:

$$\frac{\partial Z}{\partial p(r(C_j))} = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial p(r(C_j))} = \frac{\lambda}{K-1}$$

O que significa que:

$$\log_2 p(r(C_j)) = \frac{\lambda}{K-1}$$

Assim, para um valor pré-estabelecido de  $K$ ,  $p(r(C_j))$  é independente de  $j$ , isto é, todas as probabilidades são necessariamente iguais ao valor constante:  $p(r(C_j))^* = 2^{-K}$  no ponto de máxima utilidade extrínseca,  $U_x$  e é também intuitivamente claro que, quando  $p(r(C_j)) = 2^{-K}$  para  $j=2^0, 2^1, \dots, 2^K$ , o indivíduo tem a máxima possibilidade de escolha em termos dos objetos dentro do seu conjunto de opções.

Ou seja, se a probabilidade  $p_r$  é constante e igual para todos os valores de  $r(C_j)$ , a quantidade de informação é mínima, de forma que as escolhas são indiferentes entre si, mas não em relação às escolhas deixadas de fora.



Para a escolha de um único objeto em um conjunto finito de opções, a utilidade extrínseca será dada como:

$$U_x = -p(r(C_j)) \cdot \log_2 p(r(C_j)) - [1 - p(r(C_j)) \log_2(1 - p(r(C_j)))]$$

E a inclinação da utilidade marginal extrínseca será dada por:

$$\frac{d^2 U_x}{dp(r(C_j))^2} < 0$$

E isso, adicionalmente serve como uma base alternativa para derivar a curva descendente e é portanto um valioso resultado adicional teórico.

Dessa forma, ainda que a expectativa matemática do prêmio,  $r$ , resultante de duas escolhas mutuamente exclusivas possa ser o mesmo e, portanto, confira a elas a mesma ordem em termos de utilidade intrínseca do prêmio esperado, o conteúdo de informação esperado como resultado de duas escolhas poderá ser bem diferente, dadas as diferentes probabilidades relativas aos demais prêmios.

Eles afirmam que o vetor a seguir fornece uma medida da utilidade total esperada do conjunto de commodities:

$$U = [U_r, U_x] = \left[ \sum r(C_j) \cdot p(r(C_j)), -K \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) \log_2 p(r(C_j)) \right]$$

Para  $j=2^0, 2^1, \dots, 2^K$

Com base nessa definição da utilidade total, eles tiram a restrição básica do modelo, que é a limitação da probabilidade ser igual a 0 ou 1:

$$p(U_{r(C_j)} > 0) = \{0, 1\}$$

Substituindo-a por um caso geral no qual a probabilidade da utilidade ser maior que zero está no intervalo entre 0 e 1:

$$0 \leq p(U_{r(C_j)} > 0) \leq 1$$

Essa substituição de um conjunto de dois pontos possíveis, por uma faixa de valores dentro de  $R^+$  faz com que o *Homo Economicus* não precise ter certeza em relação a utilidade intrínseca da commodity para fazer as suas escolhas. Ao invés disso, pode fazer suas escolhas baseado em um custo de oportunidade provável.

Se o custo de oportunidade provável for menor que o prêmio esperado, então,  $U_{r(C_j)} > 0$ . Se o custo de oportunidade for maior que o prêmio, então,  $U_{r(C_j)} = 0$ , ou se o custo de oportunidade for maior que o prêmio em potencial, então  $U_{r(C_j)} < 0$ . (KHOSHNEVISAN, p. 8)

Se a utilidade intrínseca  $U_{r(C_j)}$ , for definida por:

$$U_{r(C_j)} = \sum_j r(C_j) p(r(C_j)) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Então o vetor da utilidade total será dado por:

$$\left[ U_{r(C_j)}, U_x \right] = \left[ \sum_{j=1}^n r(C_j) p(r(C_j)), -K \sum_{j=1}^n p(r(C_j)) \log_2 p(r(C_j)) \right] \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n$$

Aqui,  $p(r(C_j) | U_{r(C_j)})$  pode ser estimado pelo critério de Bayes como:

$$p(r(C_j) | U_{r(C_j)} > 0) = \frac{[p(U_{r(C_j)} \geq 0 | r(C_j)) \cdot p(r(C_j))]}{[\sum_j p(U_{r(C_j)} > 0 | r(C_j)) \cdot p(r(C_j))]}$$

## 10.5 THEIL E O GANHO ECONÔMICO DA INFORMAÇÃO

Um aspecto importante de uma teoria do crescimento econômico baseada no conceito de entropia é o potencial de conectar a teoria do crescimento econômico com a teoria da distribuição de renda através do modelo de Theil.

Se a desigualdade de renda resulta do perfil de distribuição da informação, o desdobramento lógico a se esperar é que se um indivíduo deseja concentrar renda, irá buscar uma posição onde possa exercer um papel ativo na dinâmica do fluxo de informação. Da mesma forma a implicação disso é que as estruturas de poder tem

que ser relacionadas com a capacidade de acessar informação e de bloquear o acesso de outros agentes econômicos à informação .

Para Georgescu-Roegen o tempo de *enjoyment of life* seria a base do valor econômico, juntamente com o estoque de entropia termodinâmica disponível nos recursos naturais.

Já em uma visão centrada na informação, o tempo do indivíduo só adquire valor econômico quando é utilizado para acumular informação que poderá ser capitalizada posteriormente.

Esse processo de acúmulo de informação com potencial de geração de valor não ocorre apenas durante o processo fabril, mas sempre que o indivíduo está exposto a mudanças no ambiente, de tal modo que durante um momento de estudo ou lazer, durante uma negociação (não importa se o objeto negociado é uma carga de petróleo ou o horário em que sua filha vai voltar do cinema), o indivíduo está acumulando informação, o tempo de vida dedicado a isso terá valor econômico e poderá, ou não, ser precificado.

Paradoxalmente, a situação extrema inversa ocorre frequentemente no ambiente de trabalho. O operário, realizando uma tarefa repetitiva que não exige habilidade, em um ambiente neutralizado pela iluminação artificial, controle de temperatura e umidade e ruído uniformizado pelo conjunto do maquinário, onde qualquer variação é criteriosamente reduzida está privado de qualquer estímulo capaz de gerar informação adicional.

A privação do fluxo de informação causa então a sensação de tédio e falta de propósito comum m operários sujeitos a essas condições. Nestes casos, mesmo um salário razoável e benefícios de longo prazo dificilmente são percebidos como sendo suficientes para manter a motivação do indivíduo. Isso se explica porque os benefícios dependem da continuidade de uma situação em que o tempo é consumido sem que ocorra acúmulo de informação capaz de cobrir a exposição ao risco, já que o risco se amplia ao longo do tempo. Ou seja, o valor subjetivo é uma composição das percepções de tempo e exposição ao risco.

Assim, a cada dia de rotina passado, aumenta a probabilidade de ocorrência de um evento raro negativo, um cisne negro. Além disso a percepção do indivíduo sobre essa probabilidade pode aumentar muito mais rapidamente que a probabilidade em si mesma.

## 10.6 SENGUPTA: A INTEGRAÇÃO ENTRE INFORMAÇÃO E CRESCIMENTO ECONÔMICO

O trabalho de Jati K. Sengupta, professor de economia na University of California, publicado em 1993, não faz uma distinção clara entre o conceito de entropia termodinâmica e o conceito de entropia da informação de Shannon. É razoável especular que isso seria compatível com o período da publicação, em relação ao desenvolvimento destes dois conceitos já que outras contribuições, como as de Ben-Naim (BEN-NAIM, 2012) onde foi desenvolvida a segregação e interpretação desses conceitos são bem mais recentes.

Em função disso, relacionou as diversas abordagens ao problema da integração do conceito de entropia ao pensamento econômico e estabelece três rotas principais dessa abordagem:

- a) A abordagem de Theil (1966) que, dentro da teoria da firma, procurou utilizar a entropia da informação para quantificar a relação entre o nível de concentração, definido pela fração de participação da firma (*Market share*) em relação às concorrentes, e o poder de mercado da firma. Essa relação seria estabelecida com base na redução da incerteza decorrente do acúmulo de informação que vem com o aumento do *Market share*. Assim, se a entropia da informação sobre o mercado é dada por:

$$H(y) = \sum_{i=1}^n y_i \log(1/y_i) \quad (\text{EQ.1})$$

Onde  $y_i$  é o *market share* da  $i$ -ésima firma, no caso extremo em que  $y_i=1$ , ou seja, a concentração é total. A entropia da informação  $H(y)$  atinge o ponto mínimo (0). No extremo oposto, se  $y_i = 1/n$ ,  $H(y)$  é máximo, sendo o ponto de concorrência perfeita.

- b) Uma outra abordagem seria a proposta de (GEORGESCU-ROEGEN N. , 2012), que restringia o uso da entropia ao conceito da entropia termodinâmica clássica estabelecido por Clausius. Para Georgescu-Roegen a principal contribuição da termodinâmica para a economia é o estabelecimento de condições de contorno ao crescimento econômico. De tal modo que torna-

se necessário reconhecer a impossibilidade dos modelos neoclássicos em abordar de maneira adequada a exploração dos recursos ambientais, sob a ótica da preservação da sociedade no longo prazo.

- c) A última abordagem importante seria a de Arrow (1971), que buscou estabelecer o valor da informação como a variação na função utilidade de um canal de informação com entropia  $H(p)$ , assumindo que a função utilidade é logarítmica.

Sengupta discutiu a aplicação do conceito à teoria do crescimento econômico. A motivação estaria no sucesso de países recentemente industrializados, como Hong-Kong, Singapura e Coréia do Sul, que elevaram as taxas de crescimento econômico seguindo políticas de incentivo à exportação. O aumento das exportações implica em um acréscimo na escala de produção, o que por sua vez gera economias de escala e acelera a curva de aprendizado. Note-se que os modelos citados tiveram como característica o foco na exportação de bens intensivos em tecnologia.

Ele demonstrou isso em um modelo de função de produção de dois setores. Um setor de exportações “E” e todo o restante do setor produtivo, “A”, de forma que a produção global P seria dada por  $P=E+A$ , onde os insumos são capital (K) e trabalho (L).

Dessa forma a produção é expressa por:

$$\begin{cases} E = G(L_E, K_E, A) \\ A = F(L_A, K_A, E) \end{cases}$$

Que podem ser diferenciados em relação ao tempo:

$$\frac{dA}{dt} = F_K \frac{dK_A}{dt} + F_L \frac{dL_A}{dt} + F_E \frac{dE}{dt}$$

E

$$\frac{dE}{dt} = G_K \frac{dK_E}{dt} + G_L \frac{dL_E}{dt} + G_A \frac{dA}{dt}$$

Foi calculado o efeito das externalidades decorrentes da aceleração da curva de aprendizado, em função dos volumes de produção aumentados pelas exportações, como:

$$F_E = \frac{\partial F}{\partial E}$$

E para o setor não-exportador o efeito das exportações também seria sentido e dado por:

$$G_A = \frac{\partial G}{\partial A}$$

De tal modo que a taxa  $\frac{F_E}{G_A}$  pode ser utilizada como indicativo da predominância do setor exportador, caso em que  $\frac{F_E}{G_A} > 1$  ou da predominância do setor não exportador. Caso em que  $\frac{F_E}{G_A} < 1$ .

Com base nesse raciocínio foram relacionados os resultados da análise econométrica para a economia da Coréia do Sul nos períodos entre 1964-1983, 1964-1986 e 1969-1986, encontrando taxas de 6,9; 3,2 e 3,1 respectivamente, e concluindo com base nestes resultados, por um efeito significativo do setor exportador (E) no conjunto da economia.

Também seria possível propor uma interpretação alternativa, na qual o efeito das exportações na função  $F(L_A, K_A, E)$  representaria o aumento no capital intelectual, o qual seria gerado como um subproduto na medida em que a produção se acumularia.

De forma que a medida agregada da função de produção para o conjunto da economia seria dada por:

$$F + G = H(K, L, E)$$

A partir do que seria possível derivar um modelo estocástico de crescimento econômico, afetado pelo processo de difusão de conhecimento que ocorreria a partir do setor de exportações.

Esse modelo assumia como premissa, que as exportações  $X(t)$  seguem um modelo marcoviano, que tem um parâmetro de crescimento  $\lambda_x(t)$  e outro de decadência  $\delta_x(t)$ . Estes parâmetros é que vão definir o crescimento econômico, como decorrência do aprendizado que é gerado pela elevação das exportações. De modo que a taxa de crescimento dada pela evolução da média ao longo do tempo e a faixa de variação esperada em torno desse processo são dados por:

$$\frac{dm_x(t)}{dt} = (\lambda - \delta)m_x(t)$$

$$\frac{d\sigma_x^2(t)}{dt} = 2(\lambda - \delta)\sigma_x^2(t) + (\lambda - \delta)m_x(t)$$

Onde :

$$m_x(t) = \sum_{x=0}^{\infty} x p_x(t)$$

E

$$\sigma_x^2(t) = \sum_{x=0}^{\infty} [x + m_x(t)]^2 p_x(t)$$

De fato os processos de crescimento econômico influenciados pela difusão de conhecimento são não estacionários e portanto, as funções de produção usuais não seriam aplicáveis. Para contornar isso torna-se necessário calcular a média  $m_x(t)$  como uma equação logística diferencial.

Segundo Sengupta, a teoria da informação vem adquirindo relevância cada vez maior em teoria econômica e na econometria, como um método para a escolha de modelos consistentes com os dados observados e na definição de estimadores estatísticos válidos.

Com base nisso, seria razoável propor um modelo de crescimento econômico que assumisse o processo de acumulação e difusão de conhecimento como uma variável endógena. Esse modelo foi testado contra os dados da economia da Coréia do Sul. Obtendo resultados compatíveis com a hipótese inicial levantada, de que a



elevação das exportações acarreta elevação da produtividade como decorrência da aceleração no acúmulo de produção e da exposição à competição no mercado global.

## 10.7 CRÍTICAS A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROBABILÍSTICA DA INFORMAÇÃO À ECONOMIA

Hayek (1945), abordou o problema da informação em economia, sob uma ótica qualitativa, tratando a informação do ponto de vista do conteúdo.

Assim, o foco da análise está centrado sobre o comportamento dos mercados que comercializam informação e em como a disponibilidade do conteúdo de informação afetaria o processo decisório dos agentes econômicos.

Para essa proposta, o fato da entropia da informação de Shannon não fazer nenhuma distinção qualitativa sobre o conteúdo a desqualificaria para qualquer aplicação em análise econômica, que não fosse estritamente ligada ao tratamento estatístico dos dados a serem processados nas análises econométricas.

Georgescu-Roegen (1971, p.388-406) dedicou todo um apêndice para refutar a integração entre a termodinâmica e a teoria da informação proposta nos trabalhos de Wiener e Brillouin. Para ele, assim como para Hayek, a base do argumento é centrada no tratamento quantitativo da teoria da informação, que não considera qualitativamente o conteúdo da mensagem (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 399):

Para um especialista em comunicação é perfeitamente compreensível: o custo de transmitir uma mensagem é, para todas as finalidades práticas, independente da mensagem possuir importância vital, ou ser um completo disparate.<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup> For a specialist in communication this is perfectly understandable: the cost of transmitting a message is, for all practical purposes, independent of whether the message has a vital importance for the whole world or is wholly nonsensical.

Na verdade é possível apontar uma falha no argumento de Georgescu-Roegen, na seguinte passagem (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971, p. 405):

Colocando de outra forma, as notas de uma sinfonia de Beethoven, embaralhadas de qualquer modo, ainda consistiriam em uma sinfonia. Vamos assumir que façamos uma gravação da informação necessária ao demônio de Maxwell, mas embaralhada de forma a tornar-se ininteligível. Uma vez que o embaralhamento não reduz a quantidade de informação como definida por  $I = -kNH$  nós deveríamos acreditar que o demônio de Maxwell ainda seria capaz de operar a portinhola que divide os compartimentos de maneira eficiente<sup>63</sup>

A questão é que a função de distribuição de probabilidade da sinfonia é diferente da função de distribuição de probabilidade do ruído branco que resultaria caso as notas fossem embaralhadas. A entropia da informação, neste caso, é claramente a diferença entre os dois estados. De forma que o conteúdo afeta sim a entropia do sistema.

---

<sup>63</sup> To put it differently, the notes of a Beethoven symphony scrambled as one may please would still be a "symphony". Let us assume that we record on tape the information needed by the demon but we scramble the sounds so as to render the message totally unintelligible. Since the scrambling does not decrease the amount of information as defined by  $[I = -kNH]$  should we maintain that the [Maxwell] demon can still use that information to operate the trapdoor efficiently.

## 11 UMA ESPERANÇA DE SÍNTESE: O PROCESSO DE PRODUÇÃO ENTRÓPICO

Em meados dos anos 1980, tornou-se cada vez mais evidente que o modelo neoclássico padrão de crescimento econômico era teoricamente insatisfatório para explorar os determinantes do crescimento de longo prazo. Temos visto que a economia eventualmente convergirá para um estado estacionário, onde o crescimento *per capita* será igual a zero. A razão fundamental seriam os retornos decrescentes do capital. Uma saída para essa situação seria a de expandir o conceito de capital, em especial, pela inclusão de componentes humanos, e então assumir que a lógica dos rendimentos decrescentes não seria aplicável a essa definição ampliada de capital<sup>64</sup>. (BARRO & XAVIER SALA-I-MARTIN, 2004, p. 61)

O parágrafo acima descreve uma situação de crise, na qual se reconhece que os modelos que compõe a ortodoxia da prática econômica na atualidade precisam ser de alguma forma revisitados. O problema central é a debilidade crescente do conceito padrão de capital em capturar os retornos decorrentes dos capitais intangíveis. A solução acima, proposta por Barro & Martin seria uma abordagem empírica, onde o problema do processo de multiplicação do retorno do capital não teria como ser dissecado em sua estrutura interna.

Ao propor um modelo em que o capital é descrito como uma função de quantidade de informação do sistema, medida como a entropia da informação de Shannon, e onde essa quantidade de informação é afetada pela aplicação do capital na produção, o sistema passa a refletir através dessa formalização recursiva aspectos tradicionalmente definidos como intangíveis, como o processo de *learning by doing* de forma que o capital aplicado gera não apenas produto físico, mas também capital intelectual, o qual por sua vez gera mais capital.

---

<sup>64</sup> In the mid 1980's it became increasingly clear that the standard neoclassical growth model was theoretically unsatisfactory as a tool to explore the determinants of long-run growth. We have seen that the economy will eventually converge to a steady state with zero per capita growth. The fundamental reason is the diminishing returns to capital. One way out of this problem was to broaden the concept of capital, notably to include human components, and then assume that diminishing returns did not apply to this broader class of capital.

É importante ressaltar que ao formalizar dessa maneira, o processo não torna-se infinito, e neste ponto é necessário retomar o argumento de Georgescu-Roegen já que o insumo tanto material quanto energético também é imprescindível no processo produtivo sendo que o insumo energético por natureza é o fluxo de energia solar, enquanto o fluxo de materiais tem de ser obtido do estoque disponível no planeta, e neste caso, a entropia e a segunda lei, justificam um comportamento de rendimentos decrescentes, ou seja, enquanto o capital, descrito como informação, cresce sempre, onde o limite para esse crescimento é o conhecimento do estudo “de cada partícula” no universo, e que portanto pode ser considerado infinito, e estoque material de baixa entropia decresce sempre, onde são necessários volumes cada vez maiores de insumos de entropia mais alta para obter o mesmo volume de produção.

Utilidade, informação, valor, necessidades, desejo, são todas palavras cuja origem é anterior nos conceitos aqui discutidos, e cujos significados são mais amplos e menos bem delimitados, sendo que algo semelhante ocorre tanto para capital quanto para entropia. Estas duas palavras foram originalmente adotadas para contextos específicos, e tiveram suas definições formais continuamente revistas de tal forma que passaram a abranger uma gama de situações mais amplas daquelas para as quais foram cunhadas originalmente.

Ocorre no fim, uma convergência na direção do processo de avaliação e decisão do indivíduo. O capital, é uma variável que descreve relações sociais entre os indivíduos de uma comunidade econômica. Ele é uma grandeza escalar que representa a história de um indivíduo ou grupo que é comunicável a outros. O capital consolida todo o esforço bem sucedido de provisionamento para o futuro.

Em um modelo de crescimento econômico onde a tecnologia é uma variável exógena, o comportamento da curva de produção, em relação ao aumento do capital é linear e decrescente (lei dos rendimentos marginais decrescentes), como na curva A, a seguir:

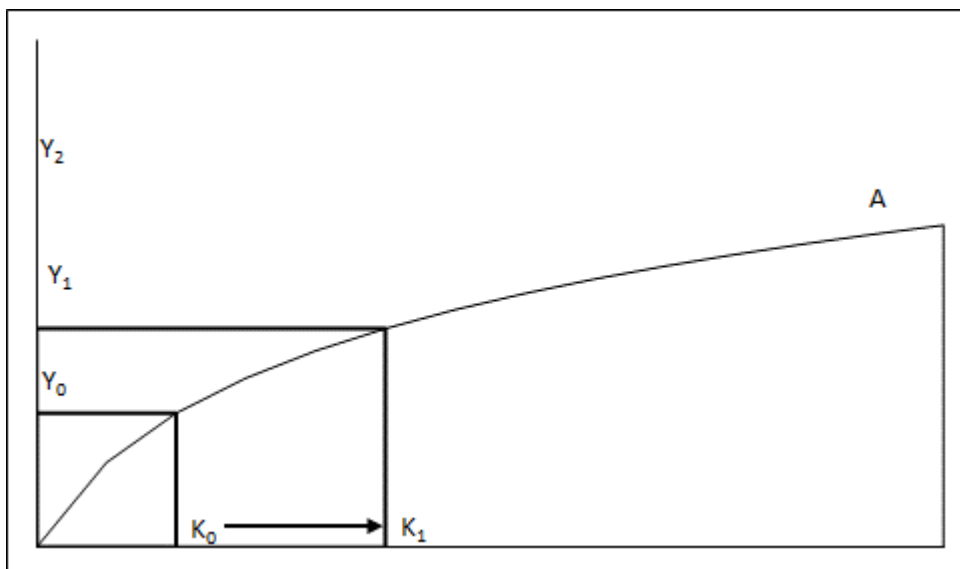


Figura 11 - Gráfico de rendimentos decrescentes

Neste caso o crescimento da produção ( $Y$ ) em relação a acumulação de capital ( $K$ ) está sendo descrita por  $Y_a = \log_2 K$ .

Onde a acumulação de capital se dá linearmente e é constante.

A curva B mostra que ao introduzir uma mudança tecnológica o que se prevê é um aumento na produtividade do capital, de forma que a curva real de produção ao invés de A seria dada por B o que explicaria que o aumento de produção observado resultaria em uma produção  $Y_2$  ligeiramente mais alta que a produção  $Y_1$  estimada originalmente.

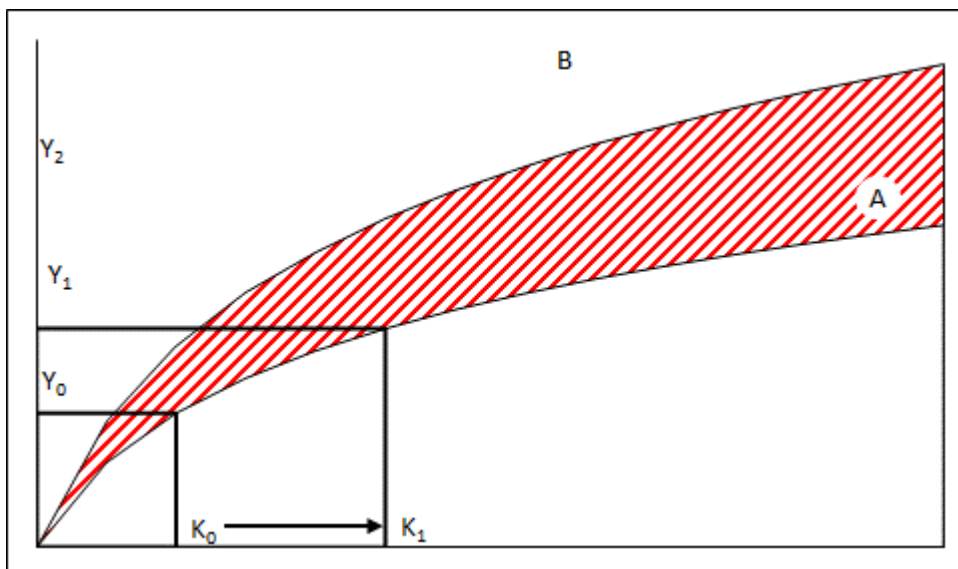


Figura 12 - Gráfico de ganho de produtividade pela tecnologia como variável exógena

No gráfico acima a área hachurada representa o ganho de produtividade resultante do incremento da tecnologia no sistema, quando a tecnologia é uma constante e é exógena.

A questão aqui, é que a série de acumulação de  $K$  não segue o mesmo comportamento. A medida monetária de  $K$  falha em capturar a informação introduzida no sistema, pois quando se define o capital exclusivamente como máquinas e instalações, deixa-se de fora outros fatores, relativos a tecnologia, que afetam o desempenho econômico

- Know how
- Patentes e blueprints
- Organização e Métodos
- Rede de relacionamentos (networking)
- Marcas e mind-share

Entretanto o processo de aprendizagem que se acumula com a produção incrementa o capital intelectual da firma, de forma que se for introduzido um coeficiente de aprendizado que se reverte em acúmulo do capital com a produção, a curva adquire a seguinte configuração:

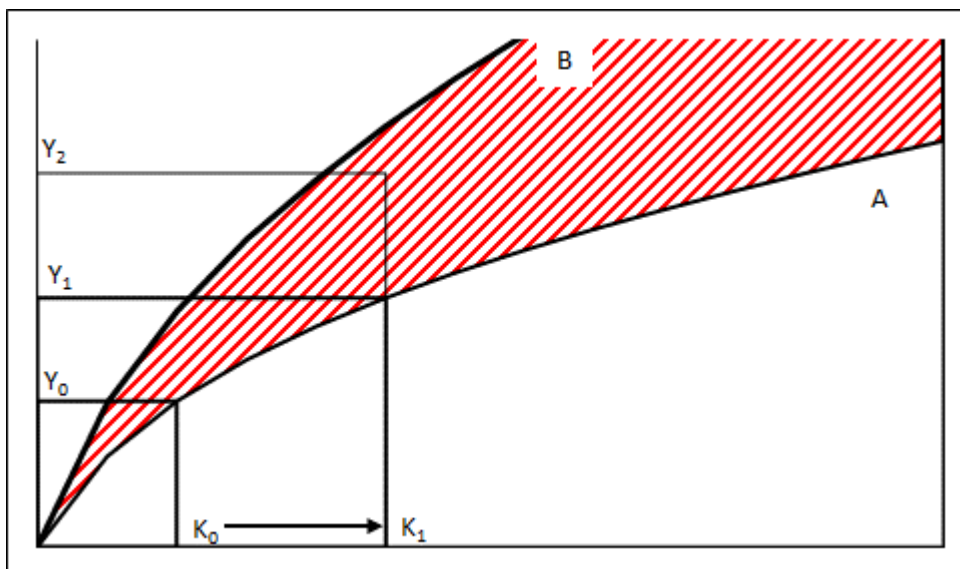


Figura 13 - Desvio do modelo neoclássico pelo papel endógeno da tecnologia

No gráfico acima,  $K_i = K_{i-1} + \Delta K_{i-1}$ , de modo que a acumulação não é mais constante e linear, passando a ser recursiva, mas que os pontos  $(K_0, Y_0)$  e  $(K_1, Y_1)$ ,  $(K_1, Y_2)$  foram mantidos propositalmente em suas posições obtidas no modelo sem acúmulo de conhecimento para que ficasse visível o ganho de produtividade que resultou da curva de aprendizagem.

Um aspecto importante nos modelos de crescimento tradicionais é que ao considerar o aumento no número de trabalhadores (L) eles não levam em conta o aumento na quantidade de informação inserida no sistema por estes trabalhadores. No máximo consideram que é possível que os trabalhadores sejam mais hábeis (i.e. detenham maior capital intelectual) que os anteriores, de forma que a produtividade também cresceria por esse motivo. Entretanto o simples fato de adicionar novos trabalhadores significa que mais informação é agregada ao modelo. O trabalhador é uma fonte de energia, representável pela entropia resultante de uma hora de trabalho e o trabalhador também é um repositório de informação, representável pela entropia da informação contida no “vocabulário médio” do trabalhador (20.000 – 35.000 palavras, sendo que o número aumenta com a idade, de forma que o envelhecimento da população deveria refletir, até certo ponto, positivamente na produtividade da população).

Se a integração da termodinâmica com a teoria da informação já é motivo de discussão acalorada (GEORGESCU-ROEGEN N. , 1971), (BEN-NAIM, 2012), (BRILLOUIN, 1960), o que dizer então da incorporação dos conceitos informação e conhecimento ao processo econômico?

Mas seria razoável começar postulando uma relação não quantitativa entre informação e a criação de valor econômico, de modo axiomático ou intuitivo, sem com isso criar uma rejeição generalizada.

Toda decisão e ação econômica tem início em um processo baseado em informação. Os sentimentos humanos mais primários: fome, sede, frio, desejo. Constituem informação, mesmo que não sejam codificados ou processados conscientemente. A percepção de tempo associada à memória dá origem à habilidade de se ocupar no presente com o atendimento de necessidades que só se materializarão no futuro. Torna-se possível administrar o tempo presente, dedicando uma parte para atender a necessidades imediatas e outra parte para gerar reservas que serão consumidas no futuro. É o princípio da atividade laboral, humana ou não.

Entretanto, no ser humano esses processos de trocas intertemporais são manejados de forma consciente pelo indivíduo, com base na memória, própria ou auxiliar.

A recente evolução dos meios de processamento e armazenagem de informação pode então ser relacionada quantitativamente com o crescimento econômico. O impacto da inovação tecnológica na criação de valor vem sendo incorporado ao pensamento econômico desde os clássicos até Schumpeter.

O processo de criação de uma ferramenta, descrito por Marx, a partir da repetição do processo artesanal, é transformação de conhecimento tácito em explícito utilizando a classificação proposta por Nonaka e Takeushi (NONAKA & TAKEUSHI, 1997). Um conhecimento não formalizado, adquirido pela experiência individual do artesão, em um conhecimento materializado.

Uma enxada é um dispositivo de memória tanto quanto um pen-drive. Nela estão materializadas toda uma gama de experiências sobre como roçar, capinar,



lavar, cavar ou virar concreto, e mais a informação sobre como minerar o ferro, transformá-lo em aço e conformá-lo como a ferramenta pronta.

Ou seja, o processo de desenvolvimento tecnológico é um processo de acumulação de informações, seja através de uma mudança conceitual, que resultaria em uma inovação radical, seja através de uma processo contínuo de pequenas melhorias introduzidas continuamente como inovações incrementais, segundo a descrição adotada por Utterback (UTTERBACK, 1996).

Duas formalizações podem ser usadas como ilustrações desse processo, a lei de Moore, e as curvas de aprendizagem. A lei de Moore diz que o número de componentes de um processador duplica a cada seis meses, crescendo exponencialmente.

As curvas de aprendizado, assim como a lei de Moore, são formulações empíricas. Foram elaboradas inicialmente a partir de observações na indústria aeronáutica norte americana na década de 1930 e quantificam correlações positivas entre a produtividade e o número total de unidades produzidas. Dessa forma, o acúmulo de produção gera acúmulo de informação. A consequência é a elevação da produtividade, com potencial para gerar um excedente econômico.

A abordagem de (BEN-NAIM, 2012) reconhece que a palavra informação, antes de significar um dado objetivo, tem um sentido etimológico mais amplo e difuso. E a partir daí, estabelece um sub conjunto desse universo, segundo a definição formal de Shannon, e o batiza de SMI, para distinguir tanto da expressão mais geral informação, quanto da expressão entropia da informação, que ele considera inadequada, uma vez que toda entropia é um tipo de SMI, mas nem toda SMI é uma entropia. Ocorre que essa SMI, objetiva e quantificável, é um indicativo consistente da capacidade de decisão do agente econômico detentor do repositório. Falta aqui, justamente a igualdade fundamental do processo de formação do capital:

$$K = F(H)$$

Mas como a informação se acumula ao longo do tempo (não levando em conta aqui processos de “esquecimento”) temos:

$$K = F(H, t)$$

Para uma função de produção  $Y$ , onde  $K$  e  $L$  são capital e trabalho, sendo que o capital pode ser estabelecido como função da informação.

$$Y = F(K, L)$$

$$Y = F(K(H, t), L)$$

Mas como a quantidade de informação  $H$  em  $t$  é afetada pela produção  $Y$  acumulada até  $(t-1)$  então a função torna-se recursiva no tempo:

$$Y_t = F(K(H(Y_{t-1}), L)$$

Mas tanto o capital, quanto o trabalho poderiam ser analisados em seus componentes termodinâmicos ( $H_t$ ), e informacionais ( $H_i$ ), de tal forma que a função de produção neoclássica:

$$Y = F(K, L) = AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

Poderia ser redesenhada em função das entropias, termodinâmica e da informação, adotando-se:

$$K = f(H_t, H_i)$$

E

$$L = g(H_t, H_i).$$

Porém  $H_t$  precisa ser multiplicado por uma constante da temperatura em escala absoluta dividida pela constante de Boltzmann, de modo que utilizando o logaritmo de base dois para ser expresso em bits,  $\frac{T}{R}H_t$  e  $H_i$  assumem a equivalência de um parâmetro comum para fenômenos distintos.

Assim:

$$Y = F(K, L) = AK^\alpha L^{1-\alpha} = f\left(\frac{T}{R}H_t, H_i\right)^\alpha g\left(\frac{T}{R}H_t, H_i\right)^{1-\alpha}$$

Note-se que neste caso a constante tecnológica exógena  $A$  foi removida da equação porque o conteúdo tecnológico já estaria embutido dentro da componente  $H_i$ , tanto para o capital quanto para o trabalho.

Isso na verdade é o reconhecimento de que tanto o trabalho quanto o capital são compósitos que agregam tanto o acúmulo da entropia termodinâmica resultante seja da conversão de energia seja da conversão material, quanto da entropia da informação, a qual contém os detalhes da trajetória que a conversão da energia precisa seguir.

Nesse ponto a questão da trajetória torna-se importante porque a trajetória não tem de ser obrigatoriamente a mais simples, no sentido daquela que possui menos etapas intermediárias, nem a mais eficiente do ponto de vista energético porque neste caso será sempre a trajetória possível com a quantidade de informação à disposição do sistema produtivo.

Mas retomando o caráter recursivo gerado pela curva de aprendizagem, teremos que a entropia da informação teria que ser uma função da renda ( $Y$ ) em  $t-1$ , de modo que:

$$Y_t = f\left(\frac{T}{R}H_t, H_{i(Y_{t-1})}\right)^\alpha g\left(\frac{T}{R}H_t, H_{i(Y_{t-1})}\right)^{1-\alpha}$$

## 11.1 O PROCESSO DE PRODUÇÃO ENTRÓPICO

A questão que se coloca aqui é a da descrição do processo produtivo e do papel do capital dentro desse processo, ambos em relação aos processos de conversão termodinâmica e transmissão de informação. Inicialmente então, é preciso descrever um processo elementar, com insumos e produtos, e que ocorre dentro dos limites de uma fronteira:

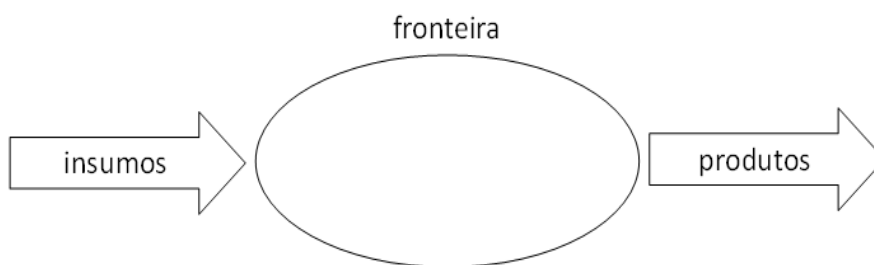


Figura 14 - A delimitação do processo produtivo

Essa fronteira pode ser definida fisicamente por um conjunto de instalações, prédios, máquinas e ferramentas. Essa fronteira é atravessada por fluxos materiais de entrada e saída. Como a vazão de ambos os fluxos não tem obrigatoriamente que ser idêntica, então ocorre um acúmulo ou redução de estoque material no interior da fronteira.

Então, a princípio tanto o conjunto dos materiais que compõe a fronteira quanto o material acumulado dentro da fronteira, como decorrência do tempo necessário para atravessar o processo e também como consequência de uma eventual diferença a favor do fluxo de insumos, em relação ao de produtos, vão compor o que convencionalmente se considera como capital. Os materiais que são parte da fronteira, usualmente são denominados de capital fixo, ou ativo fixo, enquanto o estoque resultante do fluxo usualmente é denominado capital de giro, ou ativo circulante. Note-se que as definições contábeis tanto do ativo fixo quanto do circulante são um pouco mais amplas e não se restringem aos materiais. Mas isso será discutido detalhadamente um pouco mais a frente.

Essa delimitação é, como qualquer outra, o resultado de um processo de classificação que contém um componente arbitrário, de forma que os limites da análise econômica são sempre um recorte e uma hipótese simplificadora.

Uma tentativa de aproximar a análise econômica da realidade dos sistemas produtivos no entanto, nos conduziria não a uma cadeia de etapas alinhadas, mas a uma rede de múltiplas dimensões onde os fluxos poderiam se dividir, fundir ou retroalimentar. Dessa forma, sempre seria possível criticar um modelo econômico por ser uma simplificação excessiva da realidade, e para não partir para uma visão

simplória é necessário compreender o quanto o modelo simplificado atende ao propósito específico para o qual foi elaborado.

Georgescu-Roegen considera a necessidade de adotar um modelo mais abrangente e rigoroso que as simplificações neoclássicas, ao mesmo tempo que em que reconhece que a sua aplicabilidade seria limitada pela dificuldade na compilação e consistência dos dados.

Voltando à questão da definição dos elementos do sistema produtivo, tanto nos modelos neoclássicos quanto nos modelos heterodoxos, as fronteiras são uma abstração que não é representada formalmente. A fronteira então confunde-se com o próprio capital fixo, de forma que o sistema produtivo seria delimitado inicialmente pelo conjunto de instalações onde o material é processado.

A fronteira do sistema não pode ser um limite puramente físico, mas um linha institucional, traçada contratualmente. Essa linha definida pelo evento da transferência de responsabilidade, ou o que poderia ser mais apropriadamente descrito pela expressão inglesa *accountability*, ou pela transferência do direito de propriedade.

Note-se que os eventos de transferência de responsabilidade e transferência de propriedade não são a mesma coisa e sequer ocorrem obrigatoriamente ao mesmo tempo.

Isso fica mais claro ao se examinar os vários INCOTERMS, a nomenclatura comercial padrão criada para ser utilizada em transações de importação e exportação de mercadoria, mas que hoje é adotada de forma simplificada mesmo em transações locais. Os diferentes INCOTERMS foram estabelecidos para explicitar contratualmente o momento da ocorrência desses dois eventos distintos: a transferência de responsabilidade e a transferência de propriedade (MAYER & BIGHETTI, 2005).

Para os propósitos deste trabalho vamos agrupar os diversos INCOTERMS em função de como os eventos de transferência de responsabilidade e transferência de propriedade se organizam.

| Código | INCOTERM             | Definição da fronteira                           |
|--------|----------------------|--|
| EXW    | Ex works             | Na doca de carga do vendedor                     |
| FCA    | Free carrier         | No armazém de origem do transportador            |
| FAS    | Free alongside ship  | No cais de embarque junto ao costado do navio    |
| FOB    | Free on board        | Embarcada no porto de partida                    |
| DES    | Delivered ex-ship    | Embarcada no porto de destino                    |
| DEQ    | Delivered ex-quay    | No cais de desembarque junto ao costado do navio |
| DDU    | Delivery duty unpaid | No armazém de destino do transportador           |
| DDP    | Delivery duty paid   | Na doca de carga do comprador                    |

Tabela 1. Transferência simultânea

| Código | INCOTERM                       | Fronteira de responsabilidade                    | Fronteira de Propriedade                         |
|--------|--------------------------------|--|--|
| CFR    | Cost and Freight               | No cais de embarque junto ao costado do navio    | No cais de desembarque junto ao costado do navio |
| CIF    | Cost, insurance and freight    | No cais de desembarque junto ao costado do navio | No armazém de destino do transportador           |
| CPT    | Carriage paid to               | No armazém de embarque do transportador          | No cais de desembarque junto ao costado do navio |
| CIP    | Carriage and insurance paid to | No armazém de desembarque do transportador       | No cais de desembarque junto ao costado do navio |
| DAF    | Delivered at frontier          | Um ponto de fronteira definido em contrato       | Na doca de carga do comprador                    |

Tabela 2. Transferência de responsabilidade antes da transferência de responsabilidade

O objetivo dessa discussão é o de ressaltar a complexidade e riqueza de uma questão tão fundamental quanto a definição da fronteira do sistema produtivo.

Note-se que se considerarmos a fronteira física do processo produtivo como sendo o estoque de capital físico, ou seja as instalações da unidade de produção, ela torna-se completamente dissociada da fronteira de propriedade institucional,

independentemente da fronteira institucional ser tomada no ponto de transferência de responsabilidade ou de propriedade.

Isso cria um problema adicional para uma descrição que pretenda ser mais detalhada, como a elaborada por Georgescu-Roegen, e que buscava modelar formalmente tanto o fluxo quanto as variações de estoque ao longo do tempo, já que o tempo de atravessamento do material no capital fixo não corresponde ao que é computado a partir da documentação das transações.

Essa documentação, e seu subsequente registro nas estatísticas oficiais de comércio exterior, como o SISCOMEX e o BACEN, contém na verdade uma mistura dos diversos INCOTERMS com vários campos de registro de data distintos. De tal maneira que a homogeneidade e consistência das informações é bastante frágil.

## 11.20 CÁLCULO DO CUSTO ENTRÓPICO

O capital intelectual, o royalty, copyright, que inicialmente se assumiu como acréscimo de casos especiais ao conceito de capital revelou-se como a incorporação dos demais casos típicos, ao caso especial previamente estabelecido do capital materializado em máquinas e instalações.

Ou seja, a definição genérica de capital precisa ser estabelecida sobre uma base comum que seja capaz de abranger tanto o caso especial no qual o capital é um bem material, quanto os demais casos em que o capital não possui um lastro material.

Definido dessa forma, o conceito irá abarcar tanto o capital intelectual, que é apenas mais uma das formas do capital intangível, quanto o capital financeiro, que é definido como um conjunto de direitos de propriedade. Note-se que com isso, o conceito deixa de ser uma mistura de coisas diferentes, bens e direitos, para ser definido homogeneamente em termos de informação.

Essa questão de ser uma mistura de coisas, foi alvo de análise de Commons (1924, p.204), que concluiu que a "maior das utilidades" seria a credibilidade, e que também aproximou-se do problema da informação ao afirmar que quanto mais

complexa a cadeia de produção, maior seria a ignorância de cada um dos agentes individuais, que ver-se-ia mais exposto ao risco e portanto mais propenso a reconhecer o valor de uso da informação.

O problema central passa a ser então o de estabelecer os fatores de conversão entre a informação, já que esses diversos dados são tradicionalmente expressos em unidades de medidas diferentes, dinheiro, energia e bits.

Obviamente o dinheiro é a unidade de medida para a qual, tradicionalmente, todas as demais são capazes de definir um proxy, através do processo de precificação, que a teoria neoclássica buscou sintetizar matematicamente. Neste processo o indivíduo interage tanto com a natureza, quanto com as instituições, pelo conjunto de regras da transação e pelas relações de poder que delimitam a ação individual dentro das regras.

Um indivíduo coleta as informações as quais tiver acesso e inicia um processo intuitivo de avaliação de risco e recompensa, buscando um resultado maximizado que não tem que ser obrigatoriamente, ou exclusivamente, financeiro. Neste caso também, o risco não tem de se limitar ao risco de perda financeira. Outros capitais: credibilidade, poder político, saúde, recursos naturais, também podem influenciar os resultados, que seriam invisíveis para uma análise neoclássica já que afetariam a demanda em sua origem e portanto não chegariam a entrar no mercado.

Assim, ao se caracterizar o capital sob a ótica da informação, todos esses fatores, antes externos ao modelo, tornam-se potencialmente computáveis.

Por outro lado, a ideia de que o capital como um todo possa ser expresso em função da informação tem algumas dificuldades de computação.

A ideia geral é a de que o custo de reposição de qualquer ferramenta, máquina ou instalação, bens de capital tangíveis, poderia ser calculada primeiro em função do custo energético cumulativo para a produção do bem. O que significa que toda a variação entrópica da transformação da matéria-prima, mais a entropia resultante da queima de combustível e do consumo de energias de fontes não



orgânicas, como a hídrica e a eólica, mais a entropia do trabalho humano mecânico dispendido, que precisa ser separada do trabalho humano intelectual, e desse total teríamos que subtrair a entropia da informação acumulada no processo, sob a forma de *blueprints*, princípios físicos, químicos ou biológicos empregados, gerenciamento, negociação e credibilidade.

É evidente que essa abordagem é ampla demais para ser levada a cabo no escopo deste trabalho, mas poderia ser a base do argumento na elaboração de um modelo capaz de incluir os capitais intangíveis e que portanto seja capaz de gerar resultados menos distorcidos, ou de explicar diferenças em séries históricas de crescimento econômico. Casos em que as diferenças nos estoques de informação tem impacto significativo nos custos de transação, em especial no longo prazo.

Para uma primeira tentativa, vamos considerar a produção de um artefato simples. Uma faca de cobre de 250 gramas e que fosse fabricada com a tecnologia disponível do neolítico superior.

Para começar seria necessário coletar entre 700g e 1 Kg de malaquita. A malaquita pela sua coloração peculiar é fácil de ser identificada e é historicamente uma fonte de cobre para o homem do neolítico.

O minério então tem de ser calcinado com carvão a cerca de 1000 °C o que requer cerca de 4 Kg de lenha apenas. A efetividade do processo na verdade depende muito mais do sopro contínuo de ar do que do volume de lenha no braseiro.

Mesmo em condições artesanais, como no neolítico, o que acarretaria uma eficiência muito baixa do processo, digamos algo em torno de 1%, de modo que um processo que em condições ótimas consumiria 200 Kcal passaria a consumir 20.000 Kcal, o que poderia ser obtido com apenas 4Kg de lenha, o que ainda assim é pouco.

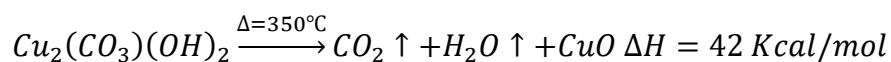
Esse consumo de 20.000 Kcal seria o custo entrópico de produção do metal. É possível notar que o custo energético é baixo em relação ao valor agregado pela ferramenta. Esse valor não poderia então ser uma consequência nem do material,

nem do tempo gasto na produção, nem da entropia termodinâmica gerada no processo. O valor final é então uma combinação da quantidade de informação gerada no processo, como decorrência do potencial de produção que a ferramenta é capaz de criar, em comparação com a quantidade de informação necessária para a produção da ferramenta. A informação necessária poderia ser analisada nas seguintes etapas ou dados:

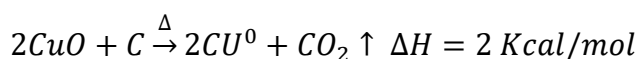
- Que tipo de rocha utilizar como minério (malaquita)
- Onde encontrar esse material
- Como extrair ou quebrar essas rochas
- Como acender o fogo e levá-lo até 1000 °C (soprando continuamente)
- Como preparar um molde de areia no formato desejado
- Como fundir o metal e despejá-lo no molde
- Como conformar a ferramenta fundida e afiá-la

Memória de cálculo

a) Calcinação da malaquita



b) Redução do óxido de cobre a cobre metálico



c) Calor latente de fusão do cobre a 1085°C : 2 Kcal/mol

d) Para preparar uma barra de 250 g de cobre, seria necessário calcinar 623g de malaquita, ou cerca de 4 mols, o que consumiria 184 kcal. Para uma eficiência de 1% no processo o consumo seria de 18400 kcal.

e) Poder calorífico da lenha: 4500 Kcal/Kg

f). Quantidade de lenha necessária:  $18400/4500 = 4$  kg de lenha<sup>65</sup>.

g) Comparando o custo energético com a entropia da informação

Energia consumida = 18400 Kcal

Trabalho dispendido = 3 Homens hora

Quantidade de informação baseada no tamanho de um vídeo que ilustra o processo de fundição do cobre no neolítico (Metalurgia experimental, 2015) = 500 Mb

i) Convertendo a energia de Kcal para Mb temos:

Energia =  $18400 \text{ kcal} \times T/R$

j) Calculando a quantidade de informação de 3 homens hora

Consumo de energia =  $2000 \text{ kcal/dia/homem} = 2000 \text{ kcal}/24\text{homem hora} = 83 \text{ Kcal/homem hora}$

Para um trabalho de 3 homem hora = 249 Kcal

k) Calculo da quantidade de informação

Assumindo que a informação do processo pode ser transmitida em um arquivo de vídeo de 1 GB temos  $2^{33}$  bits . Note-se que o vídeo tem uma representação da imagem e do som, mas outras fontes de informação valiosas como a sensação de calor, o odor, e a percepção do tempo necessário (o vídeo editado não mostra o processo em tempo real) ao longo do processo não estão ali incorporados, de modo que é razoável admitir que esse volume de dados é conservador.

Convertendo de bits ( $R = 1/\ln 2$  bit) para calorias/K ( $R = 3,2976 \times 10^{-24} \text{ cal/K}$ )

---

<sup>65</sup> Nesse processo o que faz muita diferença é a adição do "sopro" ao fogo. Seria uma especulação interessante o significado místico que poderia surgir pelo ato de usar um *spiritum* para converter o minério em metal.

$$\frac{2^{33} \text{ bit}}{\frac{1}{\ln 2} \text{ bit}} \times 3,2976 \times 10^{-24} \frac{\text{cal}}{\text{K}} = 4,57 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

Convertendo de entropia para energia, para isso temos que assumir a temperatura de fusão do metal que é a mesma do calor latente de fusão usada no cálculo da energia consumida: 1085 °C

$$4,57 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{K}} \times 1358 \text{ K} = 6,206 \times 10^9 \text{ Kcal}$$

A comparação final então fica:

Energia de queima: 18400 Kcal

Energia do trabalho mecânico humano: 249 Kcal

Energia capitalizada como informação: 6,206 x 10<sup>9</sup> Kcal

Como resultado desta análise é possível entender porque a informação pesa muito mais no processo de produção do que qualquer outro insumo.

## 12 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, a revisão extensa da evolução dos conceitos de valor econômico, capital, trabalho, entropia e informação serviu para mostrar que a sensação de segurança que poderia advir da utilização de conceitos sólidamente estabelecidos, na interpretação do fato econômico, é na melhor das hipóteses enganosa.

As controvérsias seguem muito vivas em torno de cada um dos conceitos aqui discutidos e limitam a validade de qualquer proposição aos resultados que pode fornecer.

Por outro lado, essas mesmas controvérsias têm servido para conduzir vários fenômenos antes considerados estanques, como o trabalho e o calor, no sentido de uma unificação cada vez maior, como a entropia termodinâmica e a entropia da informação. Desse modo, definições metodológicas como a de capital podem então ser revisitadas e ampliadas, sem que isso consista em um exercício de arbítrio puro e simples. A ampliação do conceito de capital que passa a abarcar toda atividade intelectual é um bom exemplo de mudança na medida em que o caráter intangível dos processos de produção torna-se cada vez mais importante, como decorrência das limitações físicas ao simples crescimento material.

Por fim, a proposta de um modelo formal que seja capaz de trazer os aspectos materiais, energéticos e informacionais para um terreno comum está ainda longe de consistir em um modelo completo, ou mesmo consistente. Mas serviu ao duplo propósito de, em primeiro lugar demonstrar a importância relativa dos insumos energia, trabalho e informação dentro do que seria um dos mais elementares processos produtivos da humanidade, o que abre um caminho de como comparar novos processos e de algumas extrapolações possíveis. Em segundo lugar, a proposta aqui formulada é certamente passível de críticas, e em levantá-las já terá atingido seu objetivo primário. Se eventualmente o caminho apontado apresentar alguma fecundidade aí então será certamente uma medida de sucesso.

## 13 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO

Os desenvolvimentos possíveis aqui são muitos e são amplos. Como primeira rota a sugerir, é evidente que a formalização da função de produção apresentada na seção 11 requer uma revisão cuidadosa e também uma abordagem experimental para verificar sua aderência aos dados disponíveis. No início deste trabalho, uma das idéias surgidas foi a de que seria possível realizar essa comparação em algumas indústrias em especial. Como por exemplo a indústria do petróleo no Brasil. Isso decorre de uma peculiaridade do país, que reúne a totalidade dos dados geofísicos em um banco de dados unificado sob a custódia da Agência Nacional do Petróleo(ANP/BDEP) de modo que é possível obter a série histórica completa de crescimento do banco de dados (em Bytes), e então relacionar esse dado com a geração de renda da produção de petróleo. Com base nestas séries de dados seria razoável testar a qualidade da correlação da série de renda esperada com base no modelo formal apresentado, utilizado como dado de entrada o capital armazenado na forma de banco de dados geofísicos, com a série de produção real. Outra questão importante é a normalização dos parâmetros de capital que hoje são expressos em valores monetários com o componente informacional, expresso em bits. Mas isso já possui algum histórico, uma vez que autores como Kümmel (KÜMMEL & LINDENBERGER, 2011) e Lozano (LOZANO, VALERO, & SERRA, 1993) apresentaram modelos que abrangem a entropia termodinâmica, que denominam de “exergia”.

## 14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, F. (2007). *Gestão de Estoques*. Rio de Janeiro: FGV.
- ACCIOLY, F., & OLIVEIRA, J. (2013). O Conceito do Valor Econômico em Marx e Menger. *Anais do XIV Scientiarium*. Rio de Janeiro.
- AGHION, P., & HOWITT, P. (1998). *Endogenous Growth Theory*. Cambridge: MIT Press.
- ARISTÓTELES. (s.d.). *Posterior Analytics* (Kindle Edition ed.). (T. Gaza, Trad.) Charles Rivers Editors.
- Baeyer, v. (1999). *Warmth Disperses and Time Passes: The history of heat - Previously published as Maxwell's Demon*. New York: The Modern Library.
- BARRO, R. J., & XAVIER SALA-I-MARTIN. (2004). *Economic Growth*. Cambridge: MIT.
- BEN-NAIM, A. (2008). *A Farewell to Entropy: Statistical Thermodynamics Based on Information*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- BEN-NAIM, A. (2008). *Entropy Demystified*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- BEN-NAIM, A. (2012). *Entropy and the Second Law: Interpretation and Misinterpretations*. New York: World Scientific Publishing Co.
- BÖHM-BAWERK, E. v. (1890). *Capital and Interest: A Critical History of Economic Theory*. Amazon Kindle Edition.
- BÖHM-BAWERK, E. v. (2010). *A Teoria da Exploração do Socialismo-Comunismo*. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil.
- BRILLOUIN, L. (1960). *Science and Information Theory*. New York: Academic Press.
- CARCANHOLO, R. A. (2011). *Elementos básicos da teoria marxista do valor*. Fonte: [www.unicamp.br/cemarx/.../GT1/gt1m2c4.pdf](http://www.unicamp.br/cemarx/.../GT1/gt1m2c4.pdf)
- CARNOT, S. (1897). *Refletions on the motive power of heat and on machines fitted to develop that power*. New York: John Wiley and Sons.
- CECHIN, A. (2010). *A Natureza Como Limite da Economia*. São Paulo: EDUSP.
- CECHIN, A. (2010). *A natureza como limite da economia: A contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen*. São Paulo: Editora SENAC/EDUSP.

- CLARK, J. (1915). The Concept of Value. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol 29 No.4, 663-673.
- COCKSHOTT, W., & COTTRELL, A. F. (11 de 1994). *Value's law, Value's Metric*. Acesso em 13 de SET de 2012, disponível em [www.dcs.gla.ac.uk/~wpc/reports/metric/metric.pdf](http://www.dcs.gla.ac.uk/~wpc/reports/metric/metric.pdf)
- Commons, R. (1924). *The Legal Foundations of Capitalism*. Brunswick: Transaction Publishers - Macmillan Co.
- DALY, H. E. (1991). Elements of environmental macroeconomics. Em R.CONSTANZA, *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability* (pp. 32-46). New York: Columbia University Press.
- DALY, H. E. (1992). Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? Yes of course it is! *Journal of Environmental Economics Management*, 23, pp. 23-37.
- DALY, H. E. (1996). Introduction to Essays toward a Steady-State Economy. Em H. E. DALY, & K. N. TOWNSEND, *Valuing the Earth* (pp. 11-47). MIT Press.
- DAMÁSIO, A. (1997). *O ERRO DE DESCARTES*. São Paulo: Cia das Letras.
- DAMÁSIO, A. (2000). *O Mistério da Consciência*. São Paulo: Cia das Letras.
- DANTAS, M. (2001). *Informação e Capitalismo: Uma abordagem marxiana*. Rio de Janeiro: PUC-RJ.
- DANTAS, M. (2006). Informação como trabalho e como valor. *Revista da Sociedade Brasileira de Economia*, 44-72.
- De la Roca al Metal*. (22 de 1 de 2015). Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kREKhljgq3w>
- DEHMER, M., & MOWSHOWITZ, A. (2011). A History of Graph ENtropy Measures. *Information Sciences*, 181, pp. 57-78.
- (12 de Outubro de 2008). *Deliberação No.553 - CPC-04*. COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS, Comitê de Pronunciamentos Contábeis.
- DOBIJA, M. (2005). Theories of Chemistry and physics applied to deveping an economic theory of intellectual capital. Cracow. Fonte: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=838264](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=838264)
- DOSI, G. (1988). The Nature of Innovative Process. Em *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Pinter.
- ELLUL, J. (1965). *The Technological Society*. Nova York: Knopf.



- FALK, G. (6 de 1985). Entropy, a resurrection of caloric - a look at the history of thermodynamics. *Eur. J. Phys*, pp. 108-115.
- FLAMM, D. (1997). History and Outlook of Statistical Physics. *Conferency on Creativity in Physics Education*. Sopron, Hungary.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (Novembro de 1954). Choice, Expectation and Measurability. *The Quarterly Journal of Economics*, 68(4), pp. 503-534.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (2012). A Energia e os Mitos Econômicos. Em N. GEORGESCU ROEGEN, *O Decrescimento* (pp. 73-141). São Paulo: SESC.
- GOLDRATT, E. (1994). *It's Not Luck*. Great Barrington, MA: North River Press.
- GORENDER, J. (1996). Apresentação do Volume de "O Capital" na coleção "Os Economistas". Em K. Marx, *O Capital* (pp. 5-66). São Paulo: Círculo do Livro.
- HARVEY, D. (2010). *A companion to Marx's Capital*. New York: Verso.
- HAYEK, F. (1945). The use of knowledge in society. *American Economic review*, 35(4), 519-530.
- HERSCOVICI, A. (2005). Historicidade, Entropia e Não-Linearidade: algumas aplicações possíveis na Ciência Econômica. *Revista de Economia Política*, 277-294.
- IBRACON - Instituto dos Auditores Independentes do Brasil. (1979). *Norma e Procedimento de Contabilidade NPC-VIII*.
- IUDICÍBUS, S. (1993). *Manual de Contabilidade das Sociedades por Ações: Aplicável também às demais sociedades*. São Paulo: Atlas.
- KHOSHNEVISAN, B. S. (s.d.). Utility of Choice: an Information Theoretic Approach to Investment Decision Making. Acesso em 07 de 04 de 2014, disponível em <http://arxiv.org/abs/math/0212134>
- KONDER, L. (1981). *O Que é Dialética*. São Paulo: Brasiliense.
- KONDER, L. (2010). A história em Marx. Em J. MALERBA, *Lições de História: o caminho da ciência no longo século XIX* (p. 492). Rio de Janeiro: Editora FGV.
- KRAGH, H. (2001). *Introdução à Historiografia da Ciência*. Porto: Porto Editora.

- KRAUSS, L. M., & Glenn D. STARKMAN. (2004). Universal Limits of Computation. Fonte: arXiv:astro-ph/0404510
- KÜMMEL, R., & LINDENBERGER, D. (2011). Energy and the state of nations. *Energy*, 36, 6010-6018.
- KÜMMEL, R., AYRES, R. U., & LINDENBERGER, D. (2010). Thermodynamic laws, economic methods and the power of energy. *Journal of Non-equilibrium Thermodynamics*, 35, pp. 145-179. doi:10.1515/JNETDY.2010.009
- LOZANO, M.-A., VALERO, A., & SERRA, L. (1993). Theory of exergetic cost and thermoeconomic optimization. *Energy*, 18(9), pp. 939-960.
- MANDELBROT, B., & HUDSON, R. L. (2004). *The (mis)Behavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence*. New York: Basic Books.
- MARX, K. (1883). *O Capital: Crítica da economia política* (28a, 2011 ed., Vol. 1). (R. Sant'Anna, Trad.) Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.
- MAYER, J., & BIGHETTI, M. (2005). *Exportar é Fácil: um roteiro seguro para Pequenas e médias empresas*. São Paulo: Artmeios.
- McMAHON, G. F., & MROZEK, J. R. (Agosto de 1997). Economics, entropy and sustainability. *Hydrological Sciences Journal*, pp. 501-512.
- MENGER, C. (1871). *PRINCIPLES OF ECONOMICS*. Fonte: mises.org/etexts/menger/principles.asp
- Metalurgia experimental*. (22 de 1 de 2015). Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=n1IAuDMRSUE>
- MILL, J. S. (1865). *Auguste Comte and Positivism*. Amazon Kindle Edition.
- Minardi, A., Sanvicente, A., & e Souza, L. (2008). *MÉTRICAS DE CRIAÇÃO DE VALOR NA EMPRESA E A CAPITALIZAÇÃO DE GASTOS COM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO*. IBMEC, INSPER, São Paulo. Acesso em 1 de dezembro de 2014, disponível em [http://www.insper.edu.br/wp-content/uploads/2013/12/2008\\_wpe161.pdf](http://www.insper.edu.br/wp-content/uploads/2013/12/2008_wpe161.pdf)
- MONTENEGRO, Á. (2011). Información y Entropia en Economía. *Revista de Economía Institucional*, 13(25), 119-221.
- MOORE, G. E. (Janeiro de 1965). Cramming More Components onto Integrated Circuits. *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, 86(1), pp. 82-85.
- MORIN, E. (2013). *Meus Filósofos*. Porto Alegre: Sulina.

- NASH, L. K. (1965). *Elements of Statistical Thermodynamics*. New York: Dover Publications Inc.
- NONAKA, I., & TAKEUSHI, H. (1997). *Criação de Conhecimento na Empresa*. Rio de Janeiro: Campus.
- OLIVEIRA, A. R. (2006). A EVOLUÇÃO DO CONCEITO FÍSICO DE TRABALHO. *Tese de Doutorado - UFRJ/HCTE*. RIO DE JANEIRO.
- PICKARD, J. (s.d.). *Marxism.com*. Acesso em 24 de 10 de 2012, disponível em In defense of Marxism: <http://www.marxist.com/abc-materialist-dialectics-trotsky.htm>
- PIERCE, J. R. (1961). *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals and Noise*. New York: Dover Publications Inc.
- PINTO, E. C., MOTA, F. B., DE FREITAS, L. F., & BUSATO, M. I. (2008). Um critério de demarcação entre a economia neoclássica e a heterodoxa: uma análise a partir da instabilidade estrutural. *ENCONTRO ANPEC*. ANPEC.
- PLATÃO. (1991). A Dialética e o Filósofo. Em Platão, *O Banquete* (pp. 292-293). São Paulo: Coleção Os Pensadores - Nova Cultural.
- POPPER, K. (1974). *A Sociedade Aberta e Seus Inimigos* (1973 ed.). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- PRADO Jr, C. (1963). *Dialética do Conhecimento*. São Paulo: Brasiliense.
- PRIGOGINE, I. (1996). *O fim das certezas: Tempo, Caos e as Leis da Natureza*. São Paulo: UNESP.
- RICARDO, D. (1817). *On The Principles of Political Economy and Taxation* (2001 ed.). Kitchener: Batoche Books.
- SAAD, A. A. (2003). *Teoria Marxista do Valor: Uma Introdução*. Acesso em 13 de Set de 2012, disponível em [seer.ufrgs.br/AnaliseEconomica/article/view/10736](http://seer.ufrgs.br/AnaliseEconomica/article/view/10736)
- SAAD, A. A. (2011). *O valor de Marx: economia política para o capitalismo contemporâneo*. Campinas: Editora da Unicamp.
- SCHEINKOPF, L. J. (2002). *Thinking for a Change: Putting the TOC Thinking Processes to Use*. Florence KY: CRC Press.
- SCHUMPETER, J. A. (1954). *History of Economic Analysis*. Londres: Allen & Unwin.
- SCHWARTZ, E. S. (1975). *A inflação da técnica: O declínio da tecnologia na civilização moderna*. São Paulo: Melhoramentos.

- SENGUPTA, J. K. (1993). Information theory and economic growth models. *INT.J.SYSTEMS SCI.*, 24(no.2), pp. 403-418.
- SEWELL, R. (18 de 4 de 1994). *Marxist.com*. Acesso em 24 de 10 de 2012, disponível em In Defense of Marxism: <http://www.marxist.com/abc-materialist-dialectics-trotsky.htm>
- SHUMPETER, J. A. (1987). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Londres: Counterpoint.
- Siegel, P., & Borgia, C. (2007). The Measurement and Recognition of Intangible Assets. *Journal of Business and Public Affairs*, 1(1).
- STEEDMAN, I. (1995). *Socialism And Marginalism In Economics: 1870 - 1930*. Londres: Routledge.
- STEWART, I. (2013). *17 Equações que Mudaram o Mundo*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda.
- STIGLER, G. J. (1950). The developments of Utility Theory, I. *The Journal of Political Economy*, 307-327.
- STRESING , R., LINDENBERGER, D., & KÜMMEL, R. (2008). Cointegration of output, capital, labor and energy. *The European Physical Journal B*, 279-287.
- STRESING, R., LINDENBERGER, D., & KÜMMEL, R. (2008). Cointegration of output, capital, labor and energy. *The European Physical Journal B*, 66, pp. 279-287.
- TALEB, N. N. (2004). *Iludido pelo Acaso: A influência oculta da sorte nos mercados e na vida*. São Paulo: Record.
- TEECE, D. J. (1988). Technological Change and the Nature of the Firm. Em *Technological Change and Economic Theory*. Londres: Pinter.
- TEIXEIRA, R. A. (2004). Uma reflexão sobre o conceito de capital a partir da controvérsia de cambridge. *Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia*. ANPEC.
- THEIL, H. (1967). *Economics and information theory*. Amsterdam: North Holland.
- TROTSKY, L. (15 de 12 de 1939). *Marxist.com*. Acesso em 24 de 10 de 2012, disponível em In Defense of Marxism: <http://www.marxist.com/abc-materialist-dialectics-trotsky.htm>
- URO, M. (s.d.). Basic Concepts in Information Theory.

- UTTERBACK, J. (1996). *Dominando a Dinâmica da Inovação*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- WCED. (1987). *Our Common Future (The Brundtland Report)*. Oxford: World Commission on Environment and Development.
- WILLIAMS, G. P. (1997). *Chaos Theory Tamed*. Washington DC: Joseph Henry Press.
- WOMACK, J. P. (1992). *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Campus.
- WRIGHT, I. (13 de Set de 2012). *Simulating the Law of Value*. Fonte: <http://unifr.ch/econophysics/articoli/fichier/WrightLawOfValue.pdf>
- WRIGHT, J. P. (1936). Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3(4), 122-128.
- WYLEN, G. J., & SONNTAG, R. E. (1976). *Fundamentos da Termodinâmica Clássica*. São Paulo: Editora Edgard Blucher.
- YELLE, L. E. (1979). THE LEARNING CURVE: HISTORICAL REVIEW AND COMPREHENSIVE SURVEY. *DECISION SCIENCES*, 10, 302-328.
- YOUNG, J. T. (1991). Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, pp. 169-179.