

# A CATEGORIA DA RIQUEZA NA ANÁLISE DA REPRODUÇÃO ECONÔMICA DA SOCIEDADE

## THE CATEGORY OF WEALTH IN THE ANALYSIS OF THE ECONOMIC REPRODUCTION OF SOCIETY

### Resumo

No presente artigo é realizada uma investigação visando a integração da riqueza na análise da reprodução econômica de acordo com a teoria do valor de Marx. Inicialmente foi discutida uma concepção do sistema econômico como um subsistema componente da biosfera, ao lado dos sistemas naturais dos quais se originam os fluxos de riquezas que constituem a base material da reprodução da sociedade. Neste sentido, as sociedades humanas foram consideradas como sistemas dissipativos que se mantêm longe do equilíbrio. Coerente com esta concepção os fluxos de riquezas materiais foram então representados em um esquema de reprodução em que a economia é considerada como um sistema aberto, o qual foi modelado por meio da programação linear, fornecendo preços correspondentes a valores marginais. Os resultados obtidos permitiram concluir que a integração da riqueza na análise da reprodução econômica pode ser realizada de forma coerente com os fundamentos da teoria do valor de Marx.

Palavras-chave: marxismo, valor de uso, teoria do valor, bem estar social, sustentabilidade.

### Abstract

In the present article an investigation is accomplished seeking the integration of the wealth in the analysis of the economical reproduction in agreement with the theory of Marx's value. Initially it was discussed a conception of the economical system as a subsystem of the Biosphere, beside the natural systems of the which arise the flows of wealths that constitute the material base of the Humanity's reproduction. In this sense, the human societies were considered as dissipative systems that stay far away from the equilibrium. Coherent with this conception, the flows of material wealth were represented then in a reproduction schema in that the economy is considered as an open system modeled through the linear programming, which supplies prices corresponding to marginal values. The results obtained permits the conclusion that the integration of the wealth in the analysis of the economical reproduction can be accomplished in a coherent way with the foundations of the Marx's theory of value.

Key words: Marxism, use value, theory of value, social well-being, sustainability.

JEL Classification: B51, P16

### Introdução

A adequação das categorias econômicas para expressar o bem estar e para a análise dos graves problemas ambientais que ameaçam a sustentabilidade das sociedades contemporâneas tem sido objeto de um intenso debate. No âmbito desse debate diversos autores têm alegado a necessidade da elaboração de indicadores de progresso que, além das tradicionais medidas baseadas nos fluxos monetários de bens e serviços (em especial o Produto Interno Bruto) incluam também variáveis diretamente relacionadas ao bem estar e ao ambiente (Teixeira et. al., 2017; Vidigal et. al., 2017). Tal problemática é coerente com a corrente neoclássica da economia, na medida em que esta se baseia em uma teoria subjetiva do valor na qual, em última instância, não há diferença entre valor e riqueza (Harribey, 2011; Harribey, 2013, p. 309).

No entanto, na perspectiva do materialismo histórico, há uma clara distinção entre as categorias do valor e da riqueza. Isto não implica, porém, que, nesta perspectiva, a riqueza não seja considerada como uma categoria de importância central. Já no início de *O Capital*, Marx (2010, p. 26) afirma que sem os “valores de uso”, isto é, as riquezas no seu sentido qualitativo, não poderia haver outras formas de valor, sejam elas expressas pela fração do trabalho socialmente necessário

para a produção de uma mercadoria (o seu “valor” propriamente dito), sejam elas expressas em valores monetários, determinados pelos preços.

Esta questão torna-se mais complexa quando se trata das riquezas naturais. Neste sentido, Harribey (2013, p. 184-185) salienta que as riquezas naturais possuem valores de uso que, enquanto tais, são incomensuráveis quantitativamente como valor econômico. Em seu estado original, afirma o autor, os recursos naturais são riquezas que não possuem um valor econômico intrínseco, mas só adquirem valor econômico por meio do trabalho humano, embora sejam, em última instância, indispensáveis à geração de valor pelo trabalho. Assim, se, no quadro das atividades produtivas, ou mesmo em nome de outros propósitos, é realizada a escolha de limitar a exploração dos recursos naturais para, por exemplo, preservar a capacidade de renovação dos ecossistemas, isto só pode ocorrer a partir de “valores” que não podem ser determinados pela economia, mas a partir de considerações éticas e políticas. Analisando a crise ecológica atual a partir dessa perspectiva, o autor afirma que, ao contrário de refletir a inadequação das análises econômicas baseadas no valor, tal crise traduz a tentativa do capitalismo de submeter à lei do valor o conjunto da vida humana e da biosfera. (Harribey, 2013, p. 185).

A problemática formulada por Harribey (2013), retomada no presente artigo, implica na necessidade de aprofundar a nossa compreensão de como a categoria da riqueza pode ser empregada, de forma clara e direta, para a análise marxista da reprodução econômica da sociedade. Isto porque as riquezas não são consideradas formalmente de maneira explícita nos esquemas de reprodução econômica elaborados por Marx e seus seguidores. No que diz respeito aos recursos naturais, é provável que, em Marx, isto se deva a sua concepção de que a influência destes sobre os preços e, portanto, sobre os processos econômicos em geral, se limitava apenas aos produtos cuja geração depende diretamente desses recursos. No caso dos meios de produção e dos produtos destinados ao consumo gerados pelo trabalho, a razão da negligência dos seus aspectos qualitativos na análise econômica deve-se, provavelmente, ao fato deles serem considerados apenas em função do funcionamento interno do sistema econômico, cuja reprodução, analisada apenas em termos monetários, é concebida como um ciclo fechado.

Diante do exposto, o presente artigo é realizada uma discussão conceitual e metodológica sobre a integração da riqueza na análise da reprodução econômica. Nossa primeira preocupação foi com uma concepção do sistema econômico que permita situá-lo como um subsistema componente da biosfera, ao lado dos sistemas naturais dos quais se originam os fluxos de riquezas que constituem a base material da reprodução das sociedades humanas. Em seguida, nossa atenção foi voltada para a representação desses fluxos no sistema econômico por meio de uma técnica de modelagem que permite formalizar a dinâmica da economia como um sistema aberto.

É importante desde já salientar que as discussões realizadas neste artigo baseiam-se estritamente no materialismo histórico. Neste sentido, procuramos demonstrar que a integração das riquezas na análise econômica, tomando como ponto de partida os seus aspectos termodinâmicos, é coerente com o materialismo histórico, mesmo que para isto os esquemas de reprodução propostos por Marx tenham, em parte, que ser colocados em questão.

### **A riqueza como categoria econômica**

Para compreender a forma como a categoria econômica da riqueza é considerada no âmbito do marxismo é importante ter presente a influência decisiva sobre o pensamento marxista dos períodos de relativa estabilidade e contínuo crescimento econômico que ocorreram de forma intermitente nos países capitalistas mais ricos, assim como a falta de uma clara percepção da finitude dos recursos naturais. Uma das consequências dessas influências, provavelmente, foi uma posição no mínimo ambígua em relação à riqueza como categoria econômica, o que favoreceu a elaboração de procedimentos para a análise dos processos de formação dos preços nos quais a riqueza enquanto tal é francamente ignorada. Alguns autores como Rudolf Hilferding e, mais tarde, Paul Sweezy, chegam mesmo a afirmar que os valores de uso, ou seja, a riqueza enquanto elemento qualitativo não se constituía em uma categoria econômica. Para tanto, Paul Sweezy emprega a

seguinte citação de Marx: “o valor de uso como tal está fora da esfera de investigação da economia política.” (Marx, apud Sweezy, 1985, p. 33)

O trecho escrito por Marx citado por Sweezy é, no entanto, insuficiente para expressar a concepção de Marx sobre o lugar dos valores de uso na economia política. Isto pode ser verificado por meio de uma citação mais abrangente do que o pequeno trecho mencionado por Sweezy:

“Quando o valor de uso é indiferente a toda determinação econômica formal, isto é, quando o valor de uso é considerado como valor de uso, ele não entra no domínio da economia política. Ele entra neste domínio quando ele se constitui ele-mesmo numa determinação formal. Ele constitui então a base material, sobre a qual se manifesta de maneira imediata uma relação econômica determinada, o valor de troca.” (Marx, 1972, p. 22).<sup>1</sup>

Marx, assim, estabelece uma estreita relação entre os valores de uso e os valores de troca, na medida em que os primeiros se constituem na base material sobre a qual se estabelecem as relações sociais responsáveis pelos últimos. Também ao comentar a natureza do processo de trabalho, Marx afirma que,

“O valor de uso, casaco, linho & c., isto é, o corpo das mercadorias, são combinações de dois elementos – matéria e trabalho. Se deixarmos de lado o trabalho útil dispendido sobre ele, sempre resta um substrato material, que é fornecido pela Natureza sem ajuda do homem. O último pode trabalhar somente mudando a forma da matéria. Além disso, neste trabalho de mudar a forma, ele é constantemente ajudado pelas forças naturais. Verificamos, então, que o trabalho não é a única fonte de riqueza material, de valores de uso produzidos pelo trabalho.” (Marx, 2010, p. 30).<sup>2</sup>

Podemos complementar esta citação com o fato de que o trabalho implica em transformações energéticas, necessariamente irreversíveis, e não apenas da matéria que pode, pelo menos em parte, ser reciclada. De qualquer forma, este trecho mostra a sofisticada e precisa concepção de Marx da riqueza. Ele expressa claramente que, para Marx, a riqueza não apenas se constitui em objetos considerados úteis pelos seres humanos para serem consumidos ou utilizados como meios de produção, mas a riqueza material é também um elemento constitutivo do próprio trabalho, sendo dele indissociável. Os processos causais mobilizados pelos seres humanos para confeccionar os objetos anteriormente por eles concebidos em suas mentes não podem ser outros do que os processos que ocorrem na natureza, que os seres humanos aprendem a dominar e a empregar para os seus propósitos. Esses processos envolvem transformações de energia e matéria das quais o trabalho humano nada mais é do que uma das suas manifestações. Tais processos, fundamentalmente de natureza termodinâmica, são, aliás, responsáveis pela historicidade de todos os seres, a qual se constitui em um elemento ontológico essencial do ser social. Em outras palavras, se a própria Natureza não possuísse um caráter histórico, não poderia haver um ser social. Neste processo histórico, a produção realizada pelo trabalho e pela natureza apresentam-se sempre de forma associada, em um “continuum” em que as riquezas produzidas pela natureza, sem intervenção consciente dos seres humanos, é apenas um caso extremo. Mas a prioridade ontológica do ser inorgânico e biológico sobre o ser social deve ser salientada para que possamos compreender a necessária subordinação deste último em relação aos primeiros.

Georgescu-Roegen (1971) foi o primeiro autor de destaque a, de certa forma, analisar tal subordinação, salientando a dependência da economia em relação aos sistemas naturais. No entanto, a forma castastrofista com que ele interpretava a segunda lei da termodinâmica, que o levava a

---

1 “Quand la valeur d'usage est indifférente à toute détermination économique formelle, c'est-à-dire quand la valeur d'usage est prise en tant que valeur d'usage, elle n'entre pas dans le domaine de l'économie politique. Elle n'y rentre que lorsqu'elle constitue elle-même une détermination formelle. Elle constitue alors la base matérielle, sur laquelle se manifeste de façon immédiate un rapport économique déterminé, la valeur d'échange.”

2 “The use value, coat, linen & c., i. e., the bodies of commodities, are combinations of two elements – matter and labour. If we take away the useful labour expended upon them, a material substratum is always left, which is furnished by Nature without the help of man. The latter can work only by changing the form of matter. Nay more, in this work of changing the form he is constantly helped by natural forces. We see, then, that labour is not the only source of material wealth, of use values produced by labour.”

adotar posições extremamente autoritárias, imprime um caráter a-histórico as suas análises, o qual é incompatível com o materialismo histórico. Ocorre que segundo o materialismo histórico, se os seres humanos devem necessariamente viver sob os limites impostos pela dinâmica dos sistemas naturais, esta dinâmica também é modificada pelos seres humanos, abrindo novas possibilidades para o seu desenvolvimento.

De forma mais clara do que na obra de Georgescu Roegen, os trabalhos desenvolvidos por Ilya Prigogine e seus colaboradores sobre as estruturas dissipativas (como em Prigogine; Stengers, 1986) deixam pouca margem para dúvidas sobre a pertinência da tese marxista, adotada e desenvolvida por Lukács (2011, p. 162), da natureza histórica de todo ser, o que nos permite uma interpretação mais coerente com o materialismo histórico das relações entre economia e natureza. No entanto, para que estas relações possam ser suficientemente esclarecidas, é necessária uma exposição, mesmo que breve e simplificada, dos fundamentos termodinâmicos que sustentam esta interpretação, a qual é realizada a seguir.

Podemos definir as relações energéticas que ocorrem em um sistema termodinâmico por meio da expressão,

$$E = G + TS$$

onde

$E$  = energia total do sistema (joules)

$G$  = energia livre (joules)

$T$  = temperatura (graus Kelvin)

$S$  = entropia (joules/graus Kelvin)

A porção da energia total  $E$  representada por  $TS$  é a que não pode gerar trabalho, ou seja, provocar variações de pressão ou volume do sistema. A entropia  $S$  está relacionada aos estados possíveis de um sistema, os quais aumentam com o aumento da entropia. Isto pode ser expresso quantitativamente pela equação de Boltzmann,

$$S = \Omega \log W$$

onde

$\Omega$  = constante de Boltzmann (joules/graus Kelvin)

$W$  = número de arranjos possíveis do sistema

A entropia não pode ser negativa, isto é, um sistema termodinâmico espontaneamente tende a aumentar o seu grau de desordem. Para que um sistema termodinâmico possa se organizar, portanto, há necessidade de um aporte de energia com entropia mais baixa vindo do seu exterior.

A partir da entropia pode-se classificar os sistemas termodinâmicos em dissipativos e conservativos. Os sistemas dissipativos, ao contrário dos sistemas conservativos, são aqueles em que a energia livre, que pode gerar trabalho, não é conservada. Nesses sistemas as transformações sofridas pela energia geram calor, o qual é dissipado para o meio externo. Assim, em um sistema dissipativo há geração de entropia, que está relacionada à quantidade de energia a partir da qual não se pode obter trabalho. Como a geração de entropia é um processo irreversível, um sistema dissipativo só pode aumentar sua quantidade de energia livre obtendo-a do exterior. Na ausência de uma fonte de energia com baixa entropia (alta energia livre), os sistemas dissipativos tendem ao estado de equilíbrio termodinâmico, isto é, a um equilíbrio simultaneamente químico, térmico e mecânico. Neste estado a entropia do sistema é máxima e ele é macroscopicamente estável, ou seja, na ausência de perturbações externas não apresenta variações no seu estado global (Güemez, J.; Fiolhais, C. e Fiolhais, M., 1998).

A camada que envolve o planeta Terra onde a vida se desenvolve, a biosfera, pode ser caracterizada termodinamicamente como um sistema dissipativo que se mantém longe do equilíbrio (Gribbin, J., 2004, p. 219). Por exemplo, a atmosfera terrestre possui uma composição estatisticamente improvável, que só pode ser explicada pela presença de vida. Nas condições de pressão e temperatura vigentes, o gás oxigênio ( $O_2$ ), que constitui 21% da atmosfera da Terra, é altamente reativo, e o gás carbônico ( $CO_2$ ), que é pouco ativo quimicamente, mantém-se em níveis relativamente baixos (cerca de 0,03% da atmosfera). Se a atmosfera terrestre se encontrasse no

estado de equilíbrio químico, a concentração do gás oxigênio seria muito mais baixa e a de gás carbônico muito mais alta. As concentrações observadas destes dois gases na atmosfera só pode ser explicado pela manutenção de uma relação quantitativa particular entre a fotossíntese que, a partir da energia solar, é realizada por vegetais e algas, liberando gás oxigênio, o qual é consumido na respiração (e outros processos oxidativos, como a combustão) que libera gás carbônico. Portanto, é a própria vida que é responsável por manter as condições ambientais que permitem a sua continuidade, o que caracteriza a biosfera como um sistema auto-organizado (Gribbin, J., 2004).

A biosfera é um sistema dissipativo altamente heterogêneo, apresentando uma grande diversidade de subsistemas os quais são, também, sistemas dissipativos. Assim, os sistemas físico-químicos, ecológicos e sociais presentes na Terra são sistemas dissipativos. E grande parte dos sistemas dissipativos da biosfera, em especial os ecológicos e sociais, são sistemas que permanecem fora do equilíbrio, por meio de um constante aporte de energia livre, a qual é utilizada para o seu estabelecimento e manutenção, isto é, para a sua auto-organização.

Os processos de organização apresentados pelos sistemas dissipativos dependem de fontes externas de energia com entropia mais baixa do que a do próprio sistema. Isto permite que os sistemas dissipativos possam transferir a entropia gerada durante sua organização para o seu exterior, o qual, salientamos, deve ter um grau de entropia inferior ao do sistema. Assim, apesar de um sistema dissipativo poder aumentar o seu grau de organização, há um aumento no total de entropia gerada. Prigogine (1997, p.13) salienta que sem a geração de entropia a auto-organização apresentada por certos sistemas dissipativos não seria possível. Segundo Prigogine e Stengers (1986, p. 52), é por meio da geração de entropia que ocorrem os processos irreversíveis que são responsáveis pelo fato do passado e o futuro serem distintos e irreduzíveis um ao outro, isto é, pela existência de um tempo histórico e evolutivo, pois irreversível. Por este motivo, a entropia desempenha um papel central nos processos evolutivos, o que implica ir além da interpretação corrente que a identifica simplesmente como uma medida do grau de desordem de um sistema. Segundo Prigogine e Stengers (1986) a expressão "estrutura dissipativa" foi escolhida propositalmente para expressar o fato de que a geração de entropia - geralmente associada às noções de perda de rendimento e de evolução em direção à desordem - torna-se fonte de ordem quando o sistema se encontra longe do equilíbrio, provocando sua auto-organização (ou "estruturção") (Prigogine; Stengers, 1986, p. 215-216).

Uma consequência importante dos conceitos termodinâmicos brevemente discutidos nos parágrafos anteriores é que a partir dos mesmos pode-se concluir que a geração de todas as riquezas depende de uma fonte de energia com baixa entropia. Os processos de auto-organização responsáveis pela constituição de materiais com energia de baixa entropia são, portanto, as fontes primárias de riqueza da sociedade. Neste sentido, em termos termodinâmicos não há riqueza natural gratuita, isto é, toda geração de riqueza implica em uma transformação irreversível de energia.

Os seres biológicos apresentam processos de auto-organização que, embora decorrentes dos processos já presentes nos seres inorgânicos, apresentam maior grau de complexidade. A característica mais marcante dos seres biológicos é a sua reprodução, assim como o fato de muitos desses seres (os considerados mais evoluídos) passarem por fases bem definidas de desenvolvimento (por exemplo, nos animais tais fases podem ser descritas de forma simplificada como infância, fase adulta e senilidade). Além disto, as mudanças qualitativas que caracterizam os processos evolutivos são muito mais rápidas nos seres biológicos do que nos seres inorgânicos. O caráter histórico e evolutivo dos seres biológicos é, assim, não apenas ainda mais marcante, mas, sobretudo, qualitativamente diferente do apresentado pelos seres inorgânicos. Ao longo do seu processo de evolução, os seres biológicos se adaptam ao seu ambiente, de forma a se preservar, ou mesmo se multiplicar como espécie.

É nesta capacidade de adaptação que se encontra a origem das múltiplas diferenças entre o ser (simplesmente) biológico e o ser social. O ser social, isto é, o ser humano, adapta-se ao seu ambiente por meio de uma prática social, o trabalho, por ele realizada de forma única. Evidentemente, os seres humanos não são os únicos que trabalham. Muitos outros seres biológicos,

em geral animais, de forma social ou não, apresentam atividades que podem ser consideradas como trabalho sendo que muitas delas até apresentam alto grau de sofisticação. Mas como já observava Marx,

“Uma aranha realiza operações que parecem aquelas de um tecelão, e uma abelha pode envergonhar muitos arquitetos na construção de suas células. Mas o que distingue o pior arquiteto da melhor abelha é que o arquiteto constrói sua estrutura na imaginação antes de erigi-la na realidade. No fim do processo de trabalho aparece um resultado que já existia antes idealmente na imaginação do trabalhador desde o início.” (Marx, 2010, p. 124)<sup>3</sup>

É, portanto, o trabalho consciente que distingue os seres humanos dos demais seres biológicos, proporcionando assim à Humanidade o processo evolutivo com o mais alto grau de complexidade ontológica, o que justifica a sua denominação por Lukács (2011, p. 273-342) de “complexo de complexos”. Reafirmando a concepção de Marx, para Lukács o que distingue o ser social do ser simplesmente biológico é que, por aquele, o trabalho é realizado de forma consciente (Lukács, 2009, p. 75). É interessante salientar que nesta mesma passagem Lukács destaca que alguns animais não apenas trabalham, mas apresentam também rudimentos de consciência, embora esta seja “muda”, isto é, não se manifesta por meio de uma linguagem elaborada. O processo de trabalho humano, assim, integra dois aspectos distintos. O primeiro é uma posição teleológica, ou seja, a concepção do objeto a ser produzido. O segundo é a manipulação dos processos causais que possibilitam a fabricação do objeto concebido. É, portanto, no processo material e histórico de trabalho que se consuma a distinção entre sujeito e objeto pelo ser humano. Assim, de acordo com Lukács é a partir do trabalho que se originam todas as atividades humanas, desde as mais cotidianas até as de maior nível de abstração (Lukács, 2009, p. 75).

De acordo com a concepção de Lukács (2009), a possibilidade de escolha, ou seja, certa liberdade, é inerente ao processo de trabalho e, portanto, a toda atividade econômica, da qual ele é o fundamento. Posições teleológicas e formas de manipulação dos processos causais podem ser modificadas pelo ser social sendo, no entanto, sujeitas a erros na sua objetivização em produtos úteis, do que depende a sua validação como um efetivo processo de trabalho. Em outras palavras, se uma atividade pretensamente produtiva falha em objetivar-se no produto desejado, ela não é um processo de trabalho. Porém, mesmo assim, mesmo podendo efetivar-se somente *ex-post*, sempre há uma liberdade de escolha no processo de trabalho, o que implica que o mesmo é irreduzível a qualquer pretensão mecânica econômica automática.

É justamente esta possibilidade de escolha implicada pela categoria econômica da riqueza que não é possível discernir nos modelos empregados para a análise das transformações de valores em preços. A prioridade ontológica acordada à equalização das taxas de lucro, que se constitui em um verdadeiro paradigma na análise econômica marxista tende a suscitar interpretações do funcionamento do capitalismo largamente dissociado da natureza. Ao contrário, como será examinado em detalhes na próxima seção, a consideração da minimização do tempo de trabalho como o mecanismo fundamental da formação dos preços pode ser concebida como um processo subordinado às decisões, resultantes essencialmente da luta de classes, tomadas pela sociedade em relação às suas riquezas. São essas decisões que determinam as relações dessas sociedades com os sistemas naturais, as quais podem ou não ser compatíveis com a capacidade de renovação desses sistemas. Neste sentido, não pode existir qualquer automatismo econômico que possa assegurar esta compatibilidade e, assim, a sustentabilidade da sociedade. Isto torna evidente o equívoco das tentativas de incorporar uma “dimensão ambiental” na análise econômica para que esta suposta “dimensão” possa ser considerada no cálculo econômico e, assim, assegurar, pela sua aplicação de forma automática e inconsciente, as condições para a sustentabilidade ecológica das sociedades.

---

3 “A spider conducts operations that resemble those of a weaver, and a bee puts to shame many an architect in the construction of her cells. But what distinguishes the worst architect from the best of bees is this, that the architect raises his structure in imagination before he erects it in reality. At the end of every labour-process, we get a result that already existed in the imagination of the labourer at its commencement.”

Ora, as categorias empregadas pela análise econômica, como bem demonstrou Marx, especialmente ao longo de *O Capital*, refletem os próprios processos de produção e de repartição das riquezas na sociedade capitalista, não podendo, assim, ser modificadas de forma arbitrária e alheia à natureza de tais processos. Se, como demonstra Marx, as categorias empregadas para a análise econômica são em geral concebidas como formas reificadas das relações sociais, apresentando-se como simples relações entre coisas (como mercadorias e fatores de produção) isto não impede que tais categorias econômicas sejam definidas em função das relações sociais que condicionam a reprodução da sociedade, a qual, obviamente é prioritária em relação às suas condições de sustentabilidade. Neste sentido, é absurda a noção de que uma sociedade espontaneamente, por meio da simples incorporação de categorias que revelariam uma “dimensão ambiental” nos processos econômicos, sacrificaria sua reprodução no curto prazo para assegurar as condições para a sua sustentabilidade em prazo mais longo. Neste sentido, a manifestação no curto prazo das restrições ambientais aos processos de reprodução social só podem contribuir para o agravamento da crise das sociedades capitalistas, crise esta que manifesta-se também nas suas representações veiculadas pelas categorias econômicas, revelando as suas insuficiências.

A sustentabilidade ecológica e a reprodução social são processos que, embora relacionados, são de natureza distinta. Como discutido no início desta seção, a dinâmica dos sistemas naturais é determinada por processos de natureza essencialmente termodinâmica. São esses processos que determinam as condições para a sustentabilidade das sociedades. No entanto, a reprodução das sociedades é regida por processos sociais, fundamentados no trabalho, que, embora dependentes dos processos naturais, não são determinados imediatamente por eles. Há, portanto, na reprodução das sociedades humanas sempre a possibilidade de ocorrer contradições entre os processos de reprodução social propriamente ditos e os processos naturais responsáveis pela sua sustentabilidade.

Essas contradições sempre existiram ao longo da história da Humanidade. As sociedades humanas sempre provocaram certo grau de perturbação na dinâmica dos sistemas naturais, as quais colocaram restrições à sua sustentabilidade. Mas tais restrições se manifestavam essencialmente em nível local e, ao longo da sua história, os seres humanos desenvolveram várias práticas para assegurar a manutenção das condições ambientais necessárias à sua reprodução social. Neste sentido, é interessante observar que as práticas que procuraram conciliar reprodução social e sustentabilidade ecológica desenvolvidas ao longo da história da Humanidade podem ser claramente identificadas na agricultura. É neste sentido que Mazoyer e Roudart (1997) salientam a necessidade de analisar a dinâmica da agricultura em termos de “sistemas agrários”, isto é, formas de agricultura que integram, de maneira mais ou menos coerente, práticas destinadas à exploração dos ecossistemas cultivados e práticas que tem como objetivo assegurar a reprodução do seu potencial produtivo. Para Mazoyer e Roudart (1997), assim, na agricultura não se trata apenas de preservar passivamente os sistemas naturais para manter as condições de sustentabilidade, mas de agir ativamente neste sentido por meio da integração no processo de trabalho de práticas com este objetivo específico. É neste sentido que Mazoyer e Roudart (1997) identificam um complexo processo de evolução histórica e diferenciação geográfica responsável por uma grande diversidade de sistemas agrários que sempre conjugam práticas de exploração e de reprodução da capacidade produtiva dos ecossistemas. Os sistemas agrários que melhor conjugaram essas práticas foram os que apresentaram maior longevidade, por vezes de milhares de anos.

Tal não parece ser o caso dos sistemas agrários hegemônicos atualmente, que se desenvolveram a partir da dinâmica do capitalismo. As relações de produção capitalistas, ao favorecer o desenvolvimento da indústria e do comércio em longa distância, criam condições únicas para que as restrições locais colocadas pelos sistemas naturais sejam contornadas. A reprodução da capacidade produtiva dos ecossistemas cultivados passa a ser largamente assegurada por insumos químicos, que agem em oposição às relações ecológicas antes orientadas para este processo. O desenvolvimento industrial enquanto atividade cuja dependência em relação aos processos naturais são menos evidentes favorece a noção de que os processos produtivos podem ocorrer de forma independente da dinâmica dos sistemas naturais. A mobilidade das mercadorias e dos recursos

produtivos, assegurada pelo mercado, permite o surgimento de uma economia monetária em que todas as contradições locais entre exploração da natureza e reprodução das suas capacidades produtivas parecem poder ser resolvidas pela compra de recursos externos. Exacerbam-se, assim, as contradições entre sustentabilidade e reprodução social, na medida em que esta passa a ser largamente presidida pela geração de valor monetário. O fato dos recursos escassos poderem ser comprados, o que permite que regiões onde os mesmos são abundantes possam abastecer as regiões em que eles são escassos, contornando assim as restrições locais, parece ter influenciado os economistas a considerar que os recursos naturais só colocam limitações aos processos produtivos quando estes dependem diretamente de tais recursos. A expansão das relações mercantis, acompanhada por um extraordinário aumento da produção promovido pelo advento do capitalismo, no entanto, apenas adiou a manifestação de tais restrições que, a partir dos anos 1970, se fazem sentir com crescente intensidade (Harribey, 2015).

A percepção desse processo é grandemente dificultada pela forma como as riquezas são consideradas nos processos econômicos. Embora os processos responsáveis pela produção das riquezas naturais sejam ontologicamente anteriores e, portanto, de natureza distinta dos processos econômicos propriamente ditos, a verdadeira negligência com que as riquezas são consideradas na análise econômica dificulta a percepção de que todo processo de reprodução social é necessariamente realizado, também, em termos de riquezas (ou seja, qualitativos), não podendo ser considerado unicamente a partir da geração de valor, quer seja este expresso em tempo de trabalho ou em termos monetários.

Mas, a partir de Marx é possível elaborar uma teoria das relações entre riquezas, valores e preços a qual tem como ponto de partida a inclusão das riquezas de forma explícita nas representações formais do processo de reprodução do sistema econômico. É esta teoria que será discutida na próxima seção.

### **As riquezas na reprodução econômica da sociedade**

O médico e economista francês François Quesnay é considerado como o primeiro autor a representar a economia como um sistema de fluxos interdependentes, em seu *Tableau Économique*, publicado em 1759 (Kuntz, 1984). Atribui-se a Quesnay a concepção de que a economia se constitui em um sistema de fluxos internos essencialmente circulares, a qual predomina até os dias de hoje na teoria econômica. Assim, foi inspirado na obra de Quesnay que Marx elaborou seus esquemas de reprodução social (Marx, 2010a, p. 219).

As características termodinâmicas da produção de riquezas, discutidas na primeira seção deste artigo, porém, não pode ser adequadamente contemplada por esta concepção. Ocorre que a produção de riqueza, incluindo o processo de trabalho, constitui-se, em última instância, em transformações de energia que só podem aumentar sua entropia, o que impede a sua reutilização. Neste sentido, não é possível negligenciar que as sociedades humanas são, antes de tudo, sistemas sociais dissipativos, dependentes de processos termodinâmicos presentes em todos os sistemas naturais. Evidentemente, isto não significa que os processos sociais possam ser reduzidos às suas características físicas. Ao contrário, é justamente a complexidade ontológica das sociedades humanas, que em si conjugam características físicas (inorgânicas), biológicas e sociais, que lhes proporcionam propriedades únicas, não observadas em outros tipos de sistema. Isto implica que os sistemas econômicos devem ser considerados como sistemas abertos, nos quais há sempre fluxos de entrada e de saída de matéria e energia do e para os sistemas naturais. Assim, é necessário reconhecer que os recursos naturais, embora provenientes do seu exterior, são constituintes intrínsecos do sistema econômico. O uso de recursos naturais para a geração de meios de produção pelo trabalho humano não pode, mesmo que em uma primeira aproximação, serem negligenciados em qualquer análise. O mesmo ocorre em relação ao consumo das riquezas enquanto tais (isto é, de um ponto de vista qualitativo) pelos seres humanos, que deve ser reconhecido como um processo irreversível, e não como um componente de um fluxo circular de reprodução dos setores econômicos e das classes sociais. Evidentemente, isto não significa que o caráter sistêmico da



economia deva ser negligenciado. Ao contrário, esta concepção implica na necessidade de analisar os fluxos internos na economia de forma mais ampla, incluindo, além dos tradicionais fluxos monetários, também os fluxos das riquezas propriamente ditas. Assim, não se trata apenas de incluir as riquezas nos fluxos monetários dos sistemas econômicos, mas de considerar, em primeiro lugar, o próprio sistema como um fluxo material de elementos incomensuráveis entre si. É a partir deste sistema aberto, representado em termos de riquezas, é que as análises em termos monetários podem ser realizadas, devendo ambos os fluxos serem coerentes entre si.

A modelagem econômica considerando as sociedades como sistemas sociais dissipativos representa um difícil desafio científico (Harvey; Reed, 2004) Várias estratégias podem ser adotadas, dependendo do grau de complexidade ontológica considerado. Assim, desde modelos preditivos, quando os processos a serem modelados são fundamentalmente físicos, até modelos baseados em narrativas históricas, essencialmente qualitativos, podem ser aplicados. Os modelos marxistas elaborados para a análise da reprodução dos sistemas econômicos podem ser considerados como modelos “estruturais”, isto é, que procuram captar os aspectos essenciais da realidade para a análise das relações de causa e efeito fundamentais que regem a sua dinâmica. Isto representa um grau intermediário de complexidade ontológica, o qual permite formalizações razoavelmente elaboradas, embora já neste nível o caráter social do sistema, especialmente entre os marxistas, já se expresse claramente. No entanto, qualquer que seja o grau de complexidade ontológica considerado, as características básicas dos sistemas dissipativos que se mantêm longe do equilíbrio não podem ser negligenciadas.

As considerações realizadas nos parágrafos anteriores colocam a necessidade de elaborar modelos em termos de riquezas e de valores monetários (e, eventualmente, em tempo de trabalho) para que se possa compreender adequadamente o processo de reprodução do sistema econômico. A elaboração de esquemas desse tipo, porém, não é algo trivial. Ela implica em uma consideração metódica do papel desempenhado pela formação de rendas no conjunto da economia, na medida em que é por meio das rendas que se pode atribuir preços aos recursos naturais. E para que isto possa ser feito adequadamente é preciso reconhecer explicitamente a diversidade dos processos de trabalho presentes na sociedade, a qual representa diferentes possibilidades de relação dos seres humanos com a natureza.

Na perspectiva do materialismo histórico, a apropriação pelos capitalistas das riquezas sociais não é definida a partir de supostos automatismos econômicos, ela é decorrente da luta de classes. Aliás, a principal motivação de Marx em sua crítica à economia política foi revelar o caráter histórico do capitalismo, diante da concepção dominante de leis econômicas perenes e universais. E para Marx, o elemento central na história humana é a luta de classes, isto é, os antagonismos entre as classes sociais que se estabelecem em torno da apropriação da riqueza social. Tais antagonismos possuem, assim, uma primazia ontológica em relação aos processos propriamente econômicos, que no capitalismo ocorrem pela geração e circulação do valor por meio da moeda. Isto implica que um modelo econômico não pode negligenciar o fato de que existe um processo fundamental que determina a repartição das riquezas na sociedade e que os processos propriamente econômicos são uma decorrência, e não a causa, dessa repartição. Em um modelo econômico, a consideração de tais processos, assim, só pode ocorrer por meio da inclusão de variáveis exógenas (e não apenas coeficientes técnicos).

Diante destas exigências, a programação linear parece ser um método de cálculo adequado para elaborar modelos que possam gerar esquemas de reprodução de forma coerente com a teoria do valor de Marx, de maneira que as relações entre riquezas, valores e preços possam ser explicitamente analisadas. Antes, porém, de realizar uma análise detalhada da estrutura formal de tais modelos, as suas características básicas podem ser mais facilmente apreendidas por meio de um exemplo numérico, tendo como ponto de partida os próprios esquemas de reprodução. Na tabela 1 é apresentado um esquema de reprodução econômica baseado nas riquezas, considerando a economia como um sistema aberto. Observa-se que o recurso natural não depende de outros recursos para ser produzido, pois é fornecido pela natureza. Apenas a geração do meio de produção 1 depende do

recurso natural. A produção dos três meios de produção é interdependente. No que diz respeito aos produtos para consumo final (abreviados na tabela como “produtos finais”), estes não entram na produção de qualquer outro produto. Ressaltamos que o sistema encontra-se em reprodução simples, como indica a ausência de excedentes, os quais, no entanto, poderiam ser introduzidos no problema sem afetar as suas características.

As relações mostradas na tabela 1 são em boa parte qualitativas. Como pode ser observado nesta tabela, a soma dos meios de produção apresentados nas linhas da tabela não corresponde a quantidade dos produtos por eles gerados, sendo que estas, por serem de qualidades diferentes, não podem ser somadas. O tempo de trabalho requerido também é específico a cada produto. A especificidade das relações quantitativas entre meios de produção e produtos finais e entre estes e o tempo de trabalho deve-se ao fato de que estas relações são determinadas por técnicas de produção específicas a cada produto.

Tabela 1: Esquema de reprodução em riquezas (em unidades físicas) de um sistema econômico com escassez de recurso natural.

	Recurso Natural	Meio de produção 1	Meio de produção 2	Meio de produção 3	Produto	Trabalho
Recurso natural					460	
Meio de produção 1	460		184	230	460	920
Meio de produção 2		310			387,5	2325
Meio de produção 3			148,5		855	9000
Produto final 1		100	50	500	100	1000
Produto final 2		50	5	125	50	1000
Total	460	460	387,5	855		14245
Excedente	0	0	0	0		

Fonte: elaborado pelo autor.

A consideração do recurso natural como uma entrada de riquezas no sistema econômico, assim como a consideração de que os produtos destinados aos consumidores correspondem a riquezas que saem do sistema, e não apenas a um elo no ciclo de produção, diferenciam o esquema apresentado na tabela 1 em relação aos esquemas marxistas usualmente utilizados. Por outro lado, é importante salientar que os esquemas de reprodução de Marx, ao considerarem dois departamentos dedicados a produções qualitativamente diferentes (produtos de consumo e meios de produção), de certa forma, já incluem a questão da reprodução em termos de valores de uso, ou seja, de riquezas (Rosdolsky, 1977, p. 86). No entanto, ao não considerar explicitamente os recursos naturais, tais esquemas representam um ciclo fechado, o que dificulta a análise da influência da escassez de tais recursos sobre a reprodução econômica da sociedade.

Na tabela 2 são apresentados os tempos de trabalho necessários para a geração dos produtos e meios de produção mostrados na tabela 1. Conforme se observa na tabela 2, o recurso natural não demanda trabalho para ser produzido. Salientamos que os tempos de trabalho mostrados na tabela 2 são os aplicados diretamente. Por exemplo, o tempo de trabalho indicado para os produtos de consumo final não inclui o tempo de trabalho dedicado à geração dos meios de produção.

Tabela 2: Esquema de reprodução em tempo de trabalho diretamente aplicado em um sistema econômico com escassez de recurso natural.

	Recurso Natural	Meio de produção 1	Meio de produção 2	Meio de produção 3	Produto
Recurso natural					0
Meio de produção 1	0		1104	2.421,05	920
Meio de produção 2		620			2325
Meio de produção 3			891		9000
Produto final 1		200	300	5.263,16	1000
Produto final 2		100	30	1.315,79	1000
Total	0	920	2325	9000	14245
Excedente	0	0	0	0	

Fonte: elaborado pelo autor.

A reprodução social do sistema em valores monetários é apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Esquema de reprodução em valores monetários de um sistema econômico com escassez de recurso natural.

	Recurso Natural	Meio de produção 1	Meio de produção 2	Meio de produção 3	Valor meios de produção	Valor monetário t.	Valor agregado
Recurso natural						230	
Meio de produção 1	230		3680	3220	7130	8050	920
Meio de produção 2		5425			5425	7750	2325
Meio de produção 3			2970		2970	11970	9000
Produto final 1		1750	1000	7000	9750	10750	1000
Produto final 2		875	100	1750	2725	3725	1000
Total	230	8050	7750	11970	28000	42245	14245
Excedente	0	0	0	0			

Fonte: elaborado pelo autor.

É interessante observar que o valor monetário do recurso natural mostrado na tabela 3 é considerado antes da sua extração da natureza, na medida em que é o meio de produção 1 que é gerado a diretamente a partir do recurso natural (por meio da sua extração). Assim, por não exigir trabalho para ser produzido, como mostrado na tabela 3, o seu valor agregado é nulo, sendo o seu valor monetário apenas transferências de valor agregado de outros produtos, ou seja, rendas. Por outro lado, é interessante salientar que o recurso natural, direta ou indiretamente, se constitui em um custo para a geração de outros produtos, o que faz com que o seu preço afete os preços dos produtos gerados pelo trabalho.

Como pode ser observado na tabela 3, o valor agregado pelos meios de produção e pelos produtos finais gerados pelo trabalho corresponde aos tempos de trabalho mostrados nas duas tabelas anteriores. Este resultado mostra que os esquemas de reprodução apresentados nas tabelas 1, 2 e 3 são coerentes com a teoria do valor de Marx. Por outro lado, é importante salientar que, nestes casos, os recursos naturais figuram explicitamente no esquema.

A reprodução do sistema econômico em valores monetários, mostrada na tabela 3, foi obtida pela multiplicação das quantidades físicas mostradas na tabela 1 pelos seus preços, os quais foram calculados por meio de um modelo de programação linear. Este modelo foi formulado a partir dos

coeficientes por unidade de produto empregado para calcular os valores da tabela 1. Estes valores são mostrados na tabela 4.

Tabela 4: Tempos de trabalho, recurso natural e meios de produção necessários por unidade de produto

	Produto final 1	Produto final 2	Meio de produção 1		Meio de produção 2		Meio de produção 3	
			Técnica 1	Técnica 2	Técnica 1	Técnica 2	Técnica 1	Técnica 2
Tempo trab./ Quantidade	10	20	2	4	6	10	10	12
Recurso Natural			1	0,5				
Meio de produção 1	1	1			0,8	0,6		
Meio de produção 2	0,5	0,1	0,4	0,2			0,2	0,1
Meio de produção 3	5	2,5	0,5	0,7				

Fonte: elaborado pelo autor

A partir dos coeficientes da tabela 4, da demanda de produtos finais e da quantidade máxima de recurso natural que pode ser utilizada, foi elaborado um modelo de programação linear, cujo problema primal é,

$$\text{Minimizar } 10 \text{ } pf1 + 20 \text{ } pf2 + 2 \text{ } mp11 + 4 \text{ } mp12 + 6 \text{ } mp21 + 10 \text{ } mp22 + 10 \text{ } mp31 + 12 \text{ } mp32 \quad (1)$$

Sujeito às restrições

$$\text{demanda do produto 1) } pf1 \geq 100 \quad (2)$$

$$\text{demanda do produto 2) } pf2 \geq 50 \quad (3)$$

$$\text{demanda do meio de produção 1) } -pf1 - pf2 + mp11 + mp12 - 0.8 \text{ } mp21 - 0.6 \text{ } mp22 \geq 0 \quad (4)$$

$$\text{demanda do meio de produção 2) } -0.5 \text{ } pf1 - 0.1 \text{ } pf2 - 0.4 \text{ } mp11 - 0.2 \text{ } mp12 + mp21 + mp22 - 0.2 \text{ } mp31 - 0.1 \text{ } mp32 \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{demanda do meio de produção 3) } -5 \text{ } pf1 - 2.5 \text{ } pf2 - 0.5 \text{ } mp11 - 0.7 \text{ } mp12 + mp31 + mp32 \geq 0 \quad (6)$$

$$\text{demanda do recurso natural) } mp11 + 0.5 \text{ } mp12 \leq 460 \quad (7)$$

onde, (*pf1*) e (*pf2*) são os produtos para consumo final e (*mp1*), (*mp2*) e (*mp3*) são os meios de produção. Os valores mostrados na função a ser minimizada (denominada “função objetivo”), são os tempos de trabalho diretamente aplicados para a geração de cada produto de consumo final e meio de produção. As inequações correspondem às demandas, calculadas com base nas quantidades físicas requeridas para a geração de cada unidade de produto de consumo final e meio de produção. Vale salientar que, como o recurso natural não é gerado pelo trabalho, a quantidade que pode ser utilizada por ciclo de produção (460 unidades) corresponde a uma restrição externa ao funcionamento do sistema econômico. O problema primal, assim, fornece as quantidades a serem produzidas de acordo com as restrições impostas pelas inequações que permitem minimizar o tempo de trabalho, ou seja, o valor. A solução deste problema primal forneceu as quantidades dos produtos de consumo final e dos meios de produção que constam na tabela 1. Esta solução é mostrada na tabela 5.

Tabela 5: Solução do problema primal

	Produto final 1	Produto final 2	Meio de produção 1		Meio de produção 2		Meio de produção 3	
			Técnica 1	Técnica 2	Técnica 1	Técnica 2	Técnica 1	Técnica 2
Tempo de trabalho	1000	1000	920	0	2325	0	6300	2700
Quantidade	100	50	460	0	387,5	0	630	225

Fonte: elaborado pelo autor

A partir do problema primal foi formulado um problema dual, cuja solução fornece os preços dos produtos que proporcionam o máximo valor monetário possível nas condições técnicas especificadas pelas restrições. Este problema dual é descrito como,

$$\text{Maximizar } 100 \text{ } ppf1 + 50 \text{ } ppf2 + 0 \text{ } pmp1 + 0 \text{ } pmp2 + 0 \text{ } pmp3 - 460 \text{ } prn \quad (8)$$

Sujeito às restrições

$$pf1) \text{ } ppf1 \quad - \text{ } pmp1 - 0.5 \text{ } pmp2 - 5 \text{ } pmp3 \leq 10 \quad (9)$$

$$pf2) \quad ppf2 \quad - \text{ } pmp1 - 0.1 \text{ } pmp2 - 2.5 \text{ } pmp3 \leq 20 \quad (10)$$

$$mp11) \quad pmp1 - 0.4 \text{ } pmp2 - 0.5 \text{ } pmp3 - prn \leq 2 \quad (11)$$

$$mp12) \quad pmp1 - 0.2 \text{ } pmp2 - 0.7 \text{ } pmp3 - 0.5 \text{ } prn \leq 4 \quad (12)$$

$$mp21) \quad - 0.8 \text{ } pmp1 + pmp2 \leq 6 \quad (13)$$

$$mp22) \quad - 0.6 \text{ } pmp1 + pmp2 \leq 10 \quad (14)$$

$$mp31) \quad 0.2 \text{ } pmp2 + pmp3 \leq 10 \quad (15)$$

$$mp32) \quad - 0.1 \text{ } pmp2 + pmp3 \leq 12 \quad (16)$$

onde, (*ppf1*) e (*ppf2*) são os preços dos produtos para consumo final, (*pmp1*), (*pmp2*) e (*pmp3*) são os preços dos meios de produção gerados pelo trabalho e (*prn*) é o preço do recurso natural.

É interessante observar que os preços fornecidos pelo problema dual correspondem a variação marginal do valor da função objetivo do problema primal em relação à variação de uma unidade de cada um dos coeficientes do lado direito das suas restrições, consideradas isoladamente. Os preços, portanto, são valores marginais. A solução do problema dual é descrita na tabela 6.

Tabela 6: Solução do problema dual

	Produto 1	Produto 2	Meio de produção 1	Meio de produção 2	Meio de produção 3	Recurso Natural
Valor monetário	10750	3725	0	0	0	-230
Preços	107,5	74,5	17,5	20	14	0,5

Fonte: elaborado pelo autor.

O que torna ativa a restrição de recurso natural, descrita no problema primal pela expressão (7), é a sua escassez. De fato, para que todos os meios de produção e os produtos para consumo final possam ser gerados por meio das técnicas que, diretamente (no caso do meio de produção 1), ou indiretamente (no caso das demais atividades) mais exigem recurso natural (o que caracterizaria a sua abundância) seriam necessárias pelo menos 490 unidades físicas de recurso natural. Por outro lado, é interessante ressaltar que apenas a escassez do recurso natural não é suficiente para alterar os preços. Sem alternativas técnicas, um aumento da escassez tornaria impossível a manutenção do nível de produção e a única forma de manter a reprodução do sistema econômico seria pela diminuição da demanda dos produtos de consumo final. Isto mostra que não é a escassez em si que provoca o aumento dos preços, mas sim o aumento do tempo de trabalho que ela provoca, o qual se manifesta por meio dos preços dos recursos naturais, gerando rendas (Silva Neto, 2018).

Para interpretar com maior precisão o modelo apresentado nos parágrafos anteriores por meio do exemplo numérico, é interessante descrever a sua estrutura formal, a qual, quanto ao seu problema primal é,

$$\text{Função objetivo: minimizar } \sum c_i^l q_i^l + \sum c_z^x k_z^x \quad (17)$$

$$\text{Sujeito às restrições} \\ \sum q_i^l \geq D_i \quad (18)$$

$$\sum k_z^x - \sum a_{iz}^l q_i^l \geq K_z \quad (19)$$

$$\sum \sigma_{jz}^x k_z^x \leq R_j \quad (20)$$

onde temos,

$c_i^l$  = quantidade ( $c$ ) de trabalho necessária por unidade do produto ( $i$ ) com a técnica ( $l$ ).

$q_i^l$  = quantidade ( $q$ ) do produto ( $i$ ) fabricado com a técnica ( $l$ ).

$c_z^x$  = quantidade ( $c$ ) de trabalho por unidade de meio de produção ( $z$ ) gerado com a técnica ( $x$ ).

$k_z^x$  = quantidade ( $k$ ) do meio de produção ( $z$ ) gerado com a técnica ( $x$ ).

$D_i$  = quantidade demandada ( $D$ ) de produto ( $i$ ).

$K_z$  = quantidade excedente ( $K$ ) do meio de produção ( $z$ ) necessária para a reprodução ampliada (reprodução simples  $K = 0$ )

$a_{iz}^l$  = quantidade ( $a$ ) do meio de produção ( $z$ ) necessária para produzir uma unidade do produto ( $i$ ) com a técnica ( $l$ ).

$\sigma_{jz}^x$  = quantidade ( $\sigma$ ) de recurso natural ( $j$ ) necessário para a produção do meio de produção ( $z$ ) com a técnica ( $x$ ).

$R_j$  = quantidade máxima ( $R$ ) que pode ser utilizada do recurso natural ( $j$ ).

A estrutura formal do problema dual do modelo é,

$$\text{Função objetivo: maximizar } \sum D_i p_i + \sum K_z \beta_z - \sum R_j r_j \quad (21)$$

Sujeito às restrições

$$p_i - \sum a_{iz}^l \beta_z \leq c_i^l \quad (22)$$

$$\beta_z - \sum \sigma_{jz}^x r_j \leq c_z^x \quad (23)$$

onde, além das variáveis do problema primal, já descritas, temos,

$p_i$  = preço ( $p$ ) do produto ( $i$ ).

$\beta_z$  = preço ( $\beta$ ) do meio de produção ( $z$ ), gerado pelo trabalho.

$r_j$  = preço ( $r$ ) do recurso natural ( $j$ ).

De acordo com o teorema da dualidade forte (Acher; Gardelle, 1978, p. 31-33), com as soluções ótimas temos,

$$\text{mínimo } \sum c_i^l q_i^l + \sum c_z^x k_z^x = \text{máximo } \sum D_i p_i + \sum K_z \beta_z - \sum R_j r_j \quad (24)$$

ou seja, o valor em tempo de trabalho socialmente necessário para a produção corresponde, quantitativamente, ao seu valor monetário, determinado pelos preços. É interessante salientar, porém, que para isto é necessário subtrair as rendas definidas a partir dos preços dos recursos naturais do valor monetário total, definido a partir dos preços dos produtos gerados pelo trabalho. Os preços fornecidos pelo modelo, portanto, incluem redistribuições do valor (em tempo de trabalho), não podendo ser reduzidos a estes.

De acordo com o teorema fundamental da programação linear (Boldrini et al., 1980, p. 368), o número de variáveis na solução ótima corresponde ao número de restrições ativas no problema. Assim, no modelo apresentado, o número de atividades na solução ótima é igual ao número de restrições que a limitam. Isto implica que, dentre as restrições do problema dual, apenas as

restrições ativas, em que as desigualdades se tornam igualdades, correspondem às técnicas que constam na base ótima do problema primal. Essas técnicas, individualmente, são as únicas que permitem que o valor agregado monetário seja equivalente ao valor em tempo de trabalho diretamente aplicado na produção. Para as técnicas que não constam na solução, o valor agregado monetário é inferior ao tempo de trabalho diretamente aplicado. Isto pode ser ilustrado por meio de um exemplo numérico elaborado a partir dos dados mostrados nas tabelas 4, 5 e 6. Assim, para o meio de produção 1 gerado por meio da técnica 1, considerando a aplicação de 40 unidades de trabalho, obteríamos  $40/2 = 20$  unidades físicas do meio de produção, cujo valor monetário é  $20 \cdot 17,5 = 350$  unidades. Para gerar 20 unidades físicas do meio de produção 1 por meio da técnica 1, conforme a tabela 4, seriam necessárias  $20 \cdot 1 = 20$  unidades de recurso natural, cujo valor monetário seria  $20 \cdot 0,5 = 10$  unidades; além de  $20 \cdot 0,4 = 8$  unidades de meio de produção 2, cujo valor monetário seria  $8 \cdot 20 = 160$  unidades e  $20 \cdot 0,5 = 10$  unidades de meio de produção 3, cujo valor seria  $10 \cdot 14 = 140$  unidades monetárias. Assim, a aplicação de 40 unidades de trabalho para gerar o meio de produção 1 com a técnica 1 geraria  $350 - 10 - 160 - 140 = 40$  unidades de valor agregado monetário. Aplicando o mesmo cálculo para o caso do meio de produção 1 gerado por meio da técnica 2, considerando também neste caso a aplicação de 40 unidades de trabalho teríamos  $175 - 2,5 - 40 - 98 = 34,5$  unidades monetárias, ou seja, a aplicação de 40 unidades de trabalho proporcionaria apenas 34,5 unidades monetárias de valor agregado. A técnica 2, assim, seria menos eficiente economicamente do que a técnica 1, razão pela qual está excluída da base ótima, conforme mostra a tabela 5.

Portanto, o valor agregado nas unidades de produção é um critério eficiente para a escolha de técnicas que permitem que no conjunto da economia o trabalho socialmente necessário à produção seja minimizado e o valor monetário da produção seja maximizado, sendo ambos, nesta situação, quantitativamente equivalentes, conforme descreve a expressão (24). Estes resultados indicam que os preços a partir dos quais são calculados os valores monetários, nas condições descritas pela expressão (24), constituem-se em informações que permitem que as decisões microeconômicas, relativas à escolha das técnicas de produção, sejam coerentes com as decisões macroeconômicas (resultantes essencialmente da luta de classes), relativas a demanda de produtos finais, ao crescimento econômico e ao uso dos recursos naturais. Neste sentido, é importante salientar que a demanda de produtos finais, representada pela variável ( $D$ ), o excedente de meios de produção necessário para satisfazer um aumento da demanda (crescimento econômico), representado pela variável ( $K$ ) e o recurso natural disponível, representado pela variável ( $R$ ), são expressos em unidades físicas, correspondendo, portanto, a riquezas e não a valores (em tempo de trabalho ou monetário). Tais variáveis são exógenas ao modelo, isto é, os seus valores não são fornecidos pela sua solução, mas são dados de entrada para o cálculo da mesma. Assim, o processo de formação dos preços descrito pelo modelo indica que, devido ao caráter qualitativo das riquezas, a sua produção e o seu consumo não podem ser definidos pelos preços, mas, ao contrário são estes que são definidos a partir das decisões tomadas na sociedade sobre as riquezas. Isto implica que a internalização das riquezas no processo econômico por meio dos preços ocorre a partir da sua consideração como elementos exógenos ao processo econômico propriamente dito na medida em que este, vale salientar, é qualitativamente distinto dos processos naturais que se encontram na origem das riquezas materiais. Esta concepção é coerente com a de Marx (2010b, p. 131), segundo a qual a quantidade e o tipo de riquezas demandadas pela sociedade e, portanto também das riquezas extraídas da natureza para serem transformadas pelo trabalho para satisfazer tal demanda, são determinadas, fundamentalmente, pela luta de classes que, mesmo sob a égide da acumulação de capital, não é um processo estritamente econômico.

Neste ponto é interessante colocar a seguinte questão: qual é o significado das funções do problema primal e do dual a serem otimizadas em termos de bem estar para a sociedade? Mas, para responder a esta questão é necessário primeiro elucidar outra, que a fundamenta. Afinal, o que é bem estar, qual é a sua natureza? Do ponto de vista do materialismo histórico, o bem estar, pelo seu caráter iminentemente qualitativo, deve ser considerado como uma riqueza (Harribey, 2011). Neste

sentido, o bem estar não pode ser identificado a qualquer valor de troca, sendo totalmente absurda a ideia da formulação de uma função matemática que o expresse. Respondendo agora à questão colocada no início do parágrafo, é importante lembrar que, no caso de um aumento da produtividade proporcionado pelo aperfeiçoamento de alguma técnica, a diminuição do valor expresso pelas funções dos problemas primal e dual não implicaria em qualquer diminuição da geração de riquezas para a sociedade. Isto porque tanto a demanda (e conseqüentemente o consumo) de produtos e meios de produção gerados pelo trabalho como os recursos naturais utilizados poderiam não se alterar. A alteração da solução do problema primal significaria apenas que a mesma riqueza, a partir das novas condições técnicas, pode ser produzida com uma quantidade menor de trabalho. Neste sentido, ela poderia significar um aumento do bem estar. No entanto, a solução do problema dual indicaria que a mesma quantidade de riqueza obtida anteriormente agrega um valor menor em unidades monetárias. Assim, não se pode afirmar, a partir da diminuição do valor (em trabalho ou monetário) fornecido pelas soluções dos problemas primal e dual, que houve qualquer diminuição do valor de uso das riquezas produzidas. Isto mostra quão enganosa pode ser a consideração da função de um modelo econômico como uma “função de bem estar”, como ocorre nos modelos neoclássicos (como em Wing, 2004), na medida em que, especialmente no caso do problema dual, não pode haver uma proporcionalidade direta entre o valor monetário expresso pela solução da função objetivo e o bem estar social. De acordo com o modelo apresentado, diante de um aumento da produtividade, a decisão entre trabalhar menos, consumir mais, ou restringir o uso de recursos naturais escassos (como forma, por exemplo, de diminuir riscos ambientais) mantendo o nível de consumo e a geração de meios de produção, não pode ser tomada com base em qualquer automatismo econômico, menos ainda se este for expresso por uma função matemática, tal como proposto pelos neoclássicos.

De acordo com a estrutura do modelo apresentado, os processos sociais que determinam a produção e o consumo de riquezas por uma sociedade não podem ser reduzidos a questões de ordem meramente técnica, embora eles devam se subordinar as restrições técnicas existentes à produção. Mas estas restrições técnicas jamais podem, por si mesmas, determinar o resultado de tais processos. As funções objetivo dos problemas primal e dual do modelo, portanto, só podem possuir um caráter meramente operacional.

Por outro lado, pode-se alegar que, pelo menos do ponto de vista ambiental, a própria escassez dos recursos naturais poderia assegurar uma exploração adequada dos mesmos, ao provocar o aumento dos seus preços e, assim, induzir a adoção (e a geração) de técnicas poupadoras em recursos naturais. Neste caso, os principais obstáculos à sustentabilidade estariam na insuficiência do progresso técnico e, principalmente, em interferências externas (como, por exemplo, intervenções do Estado) nos mecanismos econômicos relacionados à formação dos preços. Neste sentido, os processos econômicos por si mesmos, desde que “livres” de qualquer intervenção, seriam capazes de assegurar as condições para a sustentabilidade ecológica das sociedades humanas.

Mas nada assegura que o nível de exploração dos recursos naturais considerados escassos não possa provocar um grau de destruição de riquezas que ultrapasse a capacidade dos sistemas naturais em renová-las, ou de assegurar um ritmo compatível entre o seu grau de exploração e as condições para a sua substituição, no caso de recursos não renováveis. Isto porque a escassez de recursos naturais é definida em função das atividades humanas e não, pelo menos imediatamente, pela dinâmica dos sistemas naturais, a qual não depende dos processos econômicos (embora possa ser perturbada pelos mesmos), mas é definida por complexos mecanismos de auto-organização baseados em transformações irreversíveis de energia. Tais mecanismos implicam na necessidade de um constante abastecimento e transformação de energia de baixa entropia, assim como pela manutenção da biodiversidade e por um adequado funcionamento dos ciclos biogeoquímicos (do carbono, do nitrogênio e do oxigênio, por exemplo) assegurado pelos sistemas naturais. Como discutido na primeira seção deste artigo, os sistemas econômicos possuem, de um ponto de vista físico-químico, as mesmas características energéticas dos sistemas naturais. No entanto, não há



processos naturais de regulação entre o funcionamento dos sistemas econômicos e o dos sistemas naturais de forma que estes últimos possam automaticamente assegurar a sustentabilidade dos primeiros. Isto porque a escassez de recursos naturais pode vir a exercer uma influência significativa sobre os processos econômicos somente após a sua exploração atingir níveis incompatíveis com a sustentabilidade das sociedades humanas. A consideração neste artigo de que as riquezas são variáveis verdadeiramente exógenas, cujas quantidades a serem utilizadas não podem ser determinadas por considerações exclusivamente econômicas, é coerente com esta interpretação.

Enfim, é interessante observar que os resultados obtidos pela solução do modelo apresentado neste artigo são compatíveis com o procedimento de Marx (2010a, p. 242) adotado no segundo volume de *O Capital* para a elaboração de esquemas de reprodução. Nos esquemas de Marx, na reprodução simples o departamento I, produtor de meios de produção, deve vender ao departamento II, produtor de produtos de consumo final, os meios de produção necessários ao funcionamento do departamento II e poder, assim, adquirir do mesmo os produtos finais que consome. Da mesma forma, o departamento II deve vender os produtos finais consumidos pelo departamento I para poder comprar do mesmo os meios de produção que necessita para o seu funcionamento. Formalmente, estas trocas podem ser descritas como,

$$cc II = cv I + m I \quad (25)$$

Onde,

$cc II$  = capital constante do departamento II, fabricante de produtos para consumo;

$cv I$  = capital variável do departamento I, fabricante de meios de produção;

$m I$  = mais valia do departamento I, fabricante de meios de produção.

Na tabela 4 é apresentado o esquema de reprodução econômica segundo o procedimento adotado por Marx (2010a, p. 242), elaborado a partir dos dados da tabela 3, considerando-se uma taxa de 25% para o cálculo da mais valia. Na elaboração do esquema apresentado na tabela 7 foi considerado que a renda proporcionada pelos recursos naturais foi apropriada pelos capitalistas do departamento I, no qual encontram-se os produtores dos meios de produção que utilizam diretamente o recurso natural ( $mpmpI$  no modelo). Assim, como pode ser observado na tabela 7, os resultados apresentados respeitam a condição descrita na expressão 25 (na medida em que  $12.475 = 9.796 + 2.679$ ).

Tabela 7: Esquema de reprodução marxista elaborado a partir dos dados obtidos pela solução do modelo.

	Capital constante	Capital variável	Mais valia
Departamento I	15525	9796	2679
Departamento II	12475	11580	2895
Excedente dos meios de produção para produtos de consumo	0		
Excedente dos meios de produção para meios de produção	0		

Fonte: elaborado pelo autor.

Enfim, algumas simulações mostraram que a solução do modelo com excedentes de meios de produção também é compatível com o esquema de reprodução ampliada proposto por Marx (2010a, p. 307). Neste caso, os excedentes dos meios de produção empregados para a geração de meios de produção devem ser adquiridos pelos capitalistas do departamento I (fornecedor de meios

de produção), subtraindo-se da sua mais valia. Além disto, o valor dos meios de produção empregados para a geração de produtos de consumo final devem ser adquiridos pelo departamento II (fornecedores de produtos de consumo final), somando-se aos seus meios de produção.

## Conclusões

A discussão realizada neste artigo permite concluir que a consideração explícita da categoria da riqueza na análise do processo de reprodução econômica pode ser realizada de forma coerente com os fundamentos da teoria do valor de Marx, segundo os quais os preços são formados a partir de valores estritamente determinados pelo tempo de trabalho socialmente necessário para a produção. Para tanto, de acordo com a discussão realizada neste artigo, é necessário que a economia seja reconhecida como um sistema aberto no qual a formação dos preços é baseada no valor marginal. Este ponto é importante de ser salientado. Valores marginais só adquirem pleno sentido se houver condições restritivas à aplicação de trabalho. Dentre estas restrições destacam-se as relativas aos recursos naturais, as quais determinam, em última instância, os fluxos de matéria e de energia que caracterizam a reprodução material (ou seja, em termos de riquezas) das sociedades. E a coerência desta reprodução em termos de riquezas só pode ser analisada, em termos monetários, por meio da determinação de valores marginais.

No que diz respeito à problemática proposta por Harribey (2013, p. 185), descrita na introdução deste artigo, os resultados obtidos podem ter consequências importantes. De acordo com esses resultados, não é apenas o grau de exploração das riquezas naturais que não pode ser racionalmente definido por supostos automatismos econômicos, mas também as riquezas consumidas como produtos finais e aquelas representadas pelos meios de produção excedentes necessários ao crescimento econômico. Neste sentido, as decisões relativas ao bem estar social e a sustentabilidade ecológica, identificados no artigo como relativas às riquezas, no seu sentido qualitativo, não podem ser definidas por mecanismos estritamente econômicos, o que reitera a perspectiva marxista que atribui um papel central à luta de classes nessas decisões. A discussão realizada no artigo, portanto, reforça a afirmação de Harribey (2013, p. 185) de que não seria uma suposta inadequação da lei do valor de Marx (ou a sua superação pelas características atuais do sistema capitalista) que coloca dificuldades conceituais e metodológicas para a reflexão sobre o enfrentamento da crise social e ecológica das sociedades contemporâneas, mas, ao contrário, é a tentativa do capitalismo de submeter o conjunto da biosfera e da vida humana à lei do valor que se constitui em um sério obstáculo à reflexão sobre a crise social e ecológica das sociedades contemporâneas.

## Referências

- ACHER, J. ; GARDELLE, J. **Programmation linéaire**. Paris: Dunod, 1978.
- BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; FIGUEIREDO, V. L.; WETZWER, H. **Algebra Linear**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1980.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, MA: Harvard Economic Press, 1971.
- GRIBBIN, J. **Deep simplicity: bringing order to chaos and complexity**. New York: Random House, 2004.
- GÜEMEZ, J.; FIOLEAIS, C. e FIOLEAIS, M., **Fundamentos de Termodinâmica do Equilíbrio**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.
- HARRIBEY, J.-M. La nature hors de prix. **Ecorev, Revue critique d'écologie politique**, n° 38, p. 36-43, décembre 2011.
- HARRIBEY, J.-M., **La richesse, la valeur et l'inestimable. Fondements d'une critique socio-écologique de l'économie capitaliste**. Paris: Les Liens qui Libèrent, 2013.
- HARRIBEY, J.-M. Au coeur de la crise sociale et écologique du capitalisme: la contradiction entre richesse et valeur. **Actuel Marx**, n° 57, p. 173-185, premier semestre 2015.

HARVEY, D.; REED,; Social Science as the Study of Complex Systems. In KIEL, D. L.; ELLIOT, E. (Org.) **Chaos Theory in the Social Sciences. Foundations and Applications**. Michigan: The University of Michigan Press, 2004.

KUNTZ, R. **François Quesnays**. Ed. Abril (Coleção Os Economistas), 1984.

LUKÁCS, G. **Prolégomènes à l'ontologie de l'être social**. Paris: Éd. Delga, 2009.

LUKÁCS, G. **Ontologie de l'être social. Le travail, la reproduction**. Paris: Éd. Delga, 2011.

MARX, K. **Contribution a la critique de l'économie politique**. Paris: Éd. Sociales, 1972 [1859].

MARX, K. **The capital. A critique of Political Economy**. Volume I. Nova York: International Publishers, originalmente publicado em 1867, on-line version: Marx.org. 1996, Marxists.org. 2010.

MARX, K. **The capital. A critique of Political Economy**. Volume II, Book I. Nova York: International Publishers, originalmente publicado em 1885, on-line version: Marx.org. 1996, Marxists.org. 2010a.

MARX, K., **The capital. A critique of Political Economy**. Volume III editado por Friedrich Engels. Nova York: International Publishers, originalmente publicado em 1895, on-line version: Marx.org. 1996, Marxists.org. 2010b.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **Histoire des Agricultures du Monde. Du Néolithique à la Crise Contemporaine**. Paris: Éd. du Seuil, 1997.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **La nouvelle alliance. Métamorphose de la science**. Paris: Ed. Gallimard, 1986.

PRIGOGINE, I. **Les lois du chaos**. Paris: Flammarion, 1993.

ROSDOLSKY, R. **The making of Marx's 'Capital'**. London: Pluto Press Limited, 1977.

SILVA NETO, B. Desenvolvimento sustentável: uma abordagem baseada em sistemas dissipativos. **Ambiente & Sociedade**, vol. 11, n. 1, p. 15-31, 2008.

SILVA NETO, B. A importância das rendas diferenciais na teoria dos preços de Marx. **Desenvolvimento em Questão**, ano 16, número 44, , p. 9-41, jul/set 2018.

SWEEZY, P. **Teoria do Desenvolvimento Capitalista**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1985.

TEIXEIRA, M. D. de J.; SOUSA, L. V. de C.; FAIRA, A. M. de M. Bem estar fundamental e econômico: uma análise crítica do PIB e dos indicadores de sustentabilidade. **R. gest.sust. ambient.**, v. 6, n. 1, p. 4-40, abr./set. 2017.

VIDIGAL, C. B. R.; KASSOUF, A. L.; VIDIGAL, V. G. Índice de Bem-Estar Econômico: uma Proposta para os Estados Brasileiros. **Análise Econômica**, ano 35, n. 68, p. 199-229, set. 2017.

WING, I. S. **Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis: everything you ever wanted to know (but were afraid to ask)**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical. Note nº 6, 2004.