TÍTULO DO TRABALHO	
TRABALHO: CONCEITO DA FÌSICA E DA ECONOMIA	
AUTOR(ES)	**INSTITUIÇÃO**
Agamenon R. E. Oliveira	UFRJ

RESUMO

O desenvolvimento histórico do conceito de trabalho como pertencente ao campo da física é aqui apresentado. Se observarmos sua evolução somente neste campo, observaremos que ele acontece em várias direções. Sua origem mais remota pode ser encontrada nos estudos do equilíbrio da alavanca desde Aristóteles (384 a. C.- 322 a. C.), passando por Heron de Alexandria (10 d. C.-70 d. C.) e principalmente Arquimedes (287 a. C. -212 a. C.). Modernamente esses estudos passam por Leibniz (1646-1716), Descartes (1596-1650) e muitos outros conduzindo ao chamado princípio dos trabalhos virtuais, um dos princípios fundamentais da mecânica. Uma outra direção e contexto no qual o conceito físico de trabalho se desenvolve, aparece quando estudamos o movimento das máquinas no sentido de identificarmos uma quantidade eu se mantém constante quando ela deixa a situação de equilíbrio. É este o contexto que mais nos interessa e no qual concentraremos nossa análise. Também é precisamente neste momento em que o conceito físico adquire uma dimensão econômica como uma forma de estimar custos e eficiências de homens e máquinas no processo de produção. Podemos dizer que o precursor desses estudos é Coulomb (1736-1806) no final do século XVIII ao considerar o corpo humano como uma máquina e incorporar em sua análise um estudo da fadiga. Nas primeiras décadas do século XIX, pelas mãos dos engenheiros politécnicos franceses este conceito é utilizado como norma de valor. Isto significa que o trabalho mecânico passa a ser usado como uma grandeza que pode expressar uma equivalência entre trabalhos realizados por máquinas diferentes, bem como também exprimir e comparar custos e outras características eu as máquinas possuem como rendimento, etc. Dessa forma, diante de uma necessidade bastante pragmática é que o trabalho como conceito físico é incorporado á economia. Através deste empreendimento os engenheiros das três primeiras décadas do século XIX levam ás últimas consequências o paradigma da mecânica newtoniana criando uma ciência das máquinas antes da termodinâmica. Esta ciência criada por Sadi Carnot (1796-1832), engenheiro politécnico francês nasce da constatação que a energia que movimenta as máquinas se degrada na forma de calor, ruído e outros efeitos indesejáveis. Neste artigo, apresentaremos de forma resumida as contribuições de Coulomb, Lazare Carnot (1753-1823), Navier (1785-1836) e Coriolis (1792-1843). O primeiro aparece como precursor desses estudos com um modelo matemático que incorpora ao trabalho realizado por um operário em sua jornada diária o efeito da fadiga. Com isso Coulomb indica a forma e a expressão para designar a eficiência do processo e como otimizá-lo usando o cálculo diferencial. Lazare Carnot aparece como o precursor de uma teoria geral das máquinas, Navier e Coriolis como duas figuras centrais no campo da mecânica aplicada, sendo este último o autor onde o termo trabalho aparece pela primeira vez como sendo o produto da força pela distância percorrida pelo seu ponto de aplicação, no mesmo sentido da força.

Palavras-chave: História do Trabalho; Física do Trabalho; Engenharia Mecânica;

TRABALHO: CONCEITO DA FÌSICA E DA ECONOMIA

Agamenon R. E. Oliveira

Prof. Escola Politécnica da UFRJ

agamenon.oliveira@globo.com

Resumo – O desenvolvimento histórico do conceito de trabalho como pertencente ao campo da física é aqui apresentado. Se observarmos sua evolução somente neste campo, observaremos que ele acontece em várias direções. Sua origem mais remota pode ser encontrada nos estudos do equilíbrio da alavanca desde Aristóteles (384 a. C.- 322 a. C.), passando por Heron de Alexandria (10 d. C.-70 d. C.) e principalmente Arquimedes (287 a. C. -212 a. C.). Modernamente esses estudos passam por Leibniz (1646-1716), Descartes (1596-1650) e muitos outros conduzindo ao chamado princípio dos trabalhos virtuais, um dos princípios fundamentais da mecânica.

Uma outra direção e contexto no qual o conceito físico de trabalho se desenvolve, aparece quando estudamos o movimento das máquinas no sentido de identificarmos uma quantidade eu se mantém constante quando ela deixa a situação de equilíbrio. É este o contexto que mais nos interessa e no qual concentraremos nossa análise. Também é precisamente neste momento em que o conceito físico adquire uma dimensão econômica como uma forma de estimar custos e eficiências de homens e máquinas no processo de produção. Podemos dizer que o precursor desses estudos é Coulomb (1736-1806) no final do século XVIII ao considerar o corpo humano como uma máquina e incorporar em sua análise um estudo da fadiga.

Nas primeiras décadas do século XIX, pelas mãos dos engenheiros politécnicos franceses este conceito é utilizado como norma de valor. Isto significa que o trabalho mecânico passa a ser usado como uma grandeza que pode expressar uma equivalência entre trabalhos realizados por máquinas diferentes, bem como também exprimir e comparar custos e outras características eu as máquinas possuem como rendimento, etc.

Dessa forma, diante de uma necessidade bastante pragmática é que o trabalho como conceito físico é incorporado á economia. Através deste empreendimento os engenheiros das três primeiras décadas do século XIX levam ás últimas consequências o

paradigma da mecânica newtoniana criando uma ciência das máquinas antes da termodinâmica. Esta ciência criada por Sadi Carnot (1796-1832), engenheiro politécnico francês nasce da constatação que a energia que movimenta as máquinas se degrada na forma de calor, ruído e outros efeitos indesejáveis.

Neste artigo, apresentaremos de forma resumida as contribuições de Coulomb, Lazare Carnot (1753-1823), Navier (1785-1836) e Coriolis (1792-1843). O primeiro aparece como precursor desses estudos com um modelo matemático que incorpora ao trabalho realizado por um operário em sua jornada diária o efeito da fadiga. Com isso Coulomb indica a forma e a expressão para designar a eficiência do processo e como otimizá-lo usando o cálculo diferencial. Lazare Carnot aparece como o precursor de uma teoria geral das máquinas, Navier e Coriolis como duas figuras centrais no campo da mecânica aplicada, sendo este último o autor onde o termo trabalho aparece pela primeira vez como sendo o produto da força pela distância percorrida pelo seu ponto de aplicação, no mesmo sentido da força.

Palavras – Chave: História do Trabalho; Física do Trabalho; Engenharia Mecânica;

INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, o trabalho, como o conhecemos atualmente, satisfaz a três necessidades básicas do ser humano: a de subsistir, preenchendo uma função econômica, a de criar, de cunho psicológico e finalmente a de cooperar, de caráter social e político. Em seu conjunto ou em qualquer das formas que venha a ser analisada, a categoria trabalho possui uma amplitude e um campo de análise extremamente vasto e complexo (OLIVEIRA, 2013).

Do ponto de vista de seu significado, o trabalho envolve uma dialética entre dois polos opostos: alegria e sofrimento. Isto fica mais claro pela origem das palavras usadas para lhe atribuir o que realmente ele significa. Em latim a palavra *labor*, proveniente do verbo *laborare*, quer dizer penar, enquanto a palavra *labore* significa cambalear sob uma carga muito pesada. Na língua francesa esses termos mais antigos foram substituídos a partir do século XV pela palavra *travail* (trabalho), e que servia para designar tanto a peça de madeira que amarrava os animais como o aparelho de três estacas (tripalium) com que se torturavam os condenados. Nas sociedades mais antigas onde predominava a escravidão, o trabalho nas minas, nas oficinas, no reparo das

estradas e na fabricação de moedas era realizado por escravos. Este modo de produção tornou-se a forma mais geral de trabalho e generalizou-se em todas as partes, embora não apresentasse um caráter uniforme. O desenvolvimento do comércio, principalmente no Mar Mediterrâneo, a partir de uma certa época, passou a exigir um intercâmbio mais variado de produtos, com a característica também de serem mais refinados, colocando a questão da qualidade desses produtos como uma nova exigência. Esta necessidade transformou a condição do trabalho escravo e deu início a um conjunto de mudanças nas formas como o trabalho vinha sendo feito. Com o tempo a condição de escravo vai se aproximando da situação do servo (ANDERSON, 1991).

As formas mais modernas de trabalho como o arrendamento, a parceria e a pequena propriedade somente iriam aparecer na Idade Média. Na antiguidade clássica, as propriedades eram muito extensas e ainda estavam presas a um sistema de escravidão ou servidão. Muito embora minoritários, seria incorreto não destacar, mesmo na antiguidade a presença de trabalhadores livres. De um modo geral, esses trabalhadores não possuíam domicílio fixo, eram aventureiros ou desterrados e se contentavam com uma residência temporária e algum trabalho.

O objetivo do nosso texto é mostrar o encontro entre o trabalho como ação física e sua dimensão econômica, desfazendo uma visão unilateral do trabalho. Dessa forma, como veremos ao logo do texto, a física encontra a economia, o que nos autoriza a imaginar o trabalho como uma categoria físico-econômica (VATIN, 1993).

Sabemos que existe muita semelhança entre ambos os campos científicos, pois tanto a mecânica quanto a economia são ciências dedutivas e suscetíveis de uma formalização independente de toda referência á observação. A economia política nasceu no período mercantilista (séculos XVI – XVIII), paralelamente ao nascimento do Estado – nação. No fim do século XVIII, Adam Smith (1723-1790) vai fundar a economia moderna se opondo precisamente á visão naturalista do pensamento fisiocrático. O conceito de trabalho, que está no centro de sua teoria vai servir de ponto de apoio para ela (RUBIN, 2014).

A teoria do valor-trabalho se depura diretamente em Adam Smith através de sua teoria da divisão do trabalho. E em uma sociedade que comporta a divisão do trabalho, cada um que viva do trabalho, vive mais do trabalho do outro do que do seu próprio. O trabalho é a fonte do valor, pois é ele que se troca e está por trás das mercadorias intercambiadas entre os indivíduos. E o dilema de ter que atribuir um valor ao trabalho

realizado pelas máquinas e homens na produção econômica vai, no século XIX, ter um encaminhamento que conduz o conceito de trabalho da física á economia.

DA MANUFATURA Á EXPANSÃO DO MAQUINISMO

Com o advento do capitalismo industrial, as formas de trabalho modificaram-se radicalmente. A produção artesanal na qual se baseava a manufatura vai aos poucos se transformando rumo à produção industrial em larga escala. Na Inglaterra, a manufatura foi a forma dominante da produção capitalista desde meados do século XVI até o final do século XVIII. A mudança mais significativa neste tipo de trabalho é que ele é decomposto e o seu produto, a mercadoria, não é mais obtida pela ação individual de um único trabalhador artesanal independente, mas o resultado da ação coletiva de uma unidade produtiva ou oficina de trabalhadores artesanais, cada um realizando uma operação parcial do todo (MARX, 1968). Com isto, a divisão do trabalho é introduzida na produção. Outra característica importante da manufatura é a baixa utilização das máquinas, a não ser em processos mais simples, além do uso intensivo da força humana ou animal (OLIVEIRA, 2013).

A divisão do trabalho introduzida pela manufatura não só especializa os tra- balhadores, mas os confina em um ambiente único e cria assim uma organização social do trabalho que dá um novo impulso à produção em benefício do capital. A habilidade artesanal ainda continua sendo a base da produção e está fundada nas hierarquias criadas pelo sistema produtivo. A deficiência apresentada por este sistema e que em breve seria rompido é a ausência da maquinaria em larga escala. Sem ela o capital não tem como romper o apego tradicional dos trabalhadores às suas funções parciais, a produção continua a funcionar com uma estreita base técnica e sujeita a questões de disciplina e manutenção de uma regularidade no ritmo de trabalho, o que normalmente é resolvido com a utilização da força. Estava colocada, portanto, a necessidade do desenvolvimento das máquinas como forma de abolir as limitações do trabalho baseado na manufatura e ainda dependente da habilidade individual como princípio regulador da produção (MARX, 1968).

É importante também ressaltar que é nessa época, no período da manufatura, que surge a ciência moderna, principalmente com Galileu Galilei (1564-1642) e René Descartes (1596-1650). Uma nova visão de mundo emerge com o mecanicismo em contraposição às ideias escolásticas (ALQUIÉ,1987). Aos poucos uma nova racionalidade vai se esta- belecendo e se impondo, criando as condições necessárias

para o desenvolvimento da ciência (NEWTON, 2002). Em grande parte devido ao cartesianismo, mas não somente a ele, a ideia mecanicista de mundo popularizou-se e expandiu-se para além dos círculos científicos e contribuiu para uma reforma em larga escala da visão anterior de natureza (BLAY, 1992).

A expansão do maquinismo, que caracteriza a indústria moderna, passa a substituir o trabalho na forma anterior e dá origem a um processo totalmente objetivo, dependente não mais das qualificações e habilidades artesanais, mas sim da operação e velocidade das máquinas com continuidade e regularidade que dão características novas à produção (VATIN, 1999). Em comparação com o que acontecia na manufatura, a parcela do valor do produto que lhe é transmitida pela máquina com a produção mecanizada, representa uma proporção maior do valor total do produto, que é menor em termos absolutos. A produtividade introduzida pela máquina pode assim ser medida em termos da força de trabalho humana que ela substitui. Em geral a expansão da maquinaria, para baratear o produto, exige que seja empregado na produção da máquina menos trabalho do que aquele que se torna dispensável pelo seu uso. Mas, como os capitalistas pagam pela força de trabalho e não pelo trabalho, os limites para o uso capitalista da maquinaria são fixados pela diferença entre o valor da máquina e o valor da força de trabalho por ela substituída. É desnecessário dizer que a expansão do maquinismo na sociedade capitalista visa simplesmente aumentar a produtividade do trabalho, constituindo-se na mola propulsora da produção da mais-valia relativa.

A GÊNESE DO CONCEITO FÍSICO DE TRABALHO

A busca pela gênese do conceito de trabalho segue caminhos diferentes dependendo do ponto de vista que nós adotamos. Se nos interessamos por sua expressão físico-matemática, nós retornamos a Descartes, a Leibniz (1646-1716) e a Newton (1642-1727). Mas nesses autores a grandeza física formalmente análoga a que nós chamamos hoje de trabalho não representa na realidade o sentido moderno desta noção, porque precisamente ele não se inscreve em uma problemática da economia da máquina (LEIBNIZ, 1991). Em compensação, um engenheiro praticamente contemporâneo de Newton como Amontons (1663-1705), que está muito longe de dispor da aparelhagem conceitual do físico inglês, se aproxima por seu questionamento econômico muito mais do conceito moderno de trabalho e antecipa até o nome. O conceito de trabalho aparece assim verdadeiramente no momento onde a mecânica prática e a mecânica racional puderam se encontrar, seja quando a formalização física pôde ser colocada a serviço da

economia da máquina (VATIN, 1998). Esta junção se opera na articulação entre o século XVIII e o século XIX, entre 1780 e 1830, aproximadamente. Ela é contemporânea da "Revolução Industrial" e do nascimento da economia política "clássica". Isto não acontecerá por acaso. Conforme será visto posteriormente a utilização do conceito de trabalho, ainda sem que este termo seja usado, aparecerá como uma problemática econômica para o engenheiro Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) ao tentar caracterizar o trabalho humano em uma jornada diária, introduzindo nesta análise um termo para a fadiga. Dessa maneira é que surgem os conceitos de rendimento mecânico, trabalho útil e trabalho total, suscitando assim uma problemática econômica, o que é feito por ele maximizando a razão entre trabalho útil e trabalho total através do cálculo diferencial (OLIVEIRA, 2004).

A análise do conceito de trabalho permite ir bem mais longe, valorizando uma articulação propriamente teórica entre a teoria física e a teoria econômica. Os engenheiros que nós iremos estudar fazem uma teoria econômica; sem o seu conhecimento talvez, mas isto mesmo terá que ser demonstrado. Pois se eles dispõem de um aparelho conceitual pertencente a física, seu questionamento é econômico: como medir a produção e os custos dos homens e das máquinas, como otimizar o consumo? O termo "trabalho" não apareceu por acaso neste contexto; não se trata de uma metáfora malfeita, que nós poderíamos isolar da construção teórica. A escolha deste termo, que não foi feita sem dificuldade, aparece ao contrário como a conclusão de uma longa elaboração conceitual, de natureza pelo menos mais econômica que física (OLIVEIRA, 2011).

Guillaume Amontons é a este respeito um precursor. O projeto central de sua obra de engenharia mecânica é a concepção de um "moinho de fogo"; esta máquina, que constitui, com as de Denis Papin (1690) e de Thomas Savery (1698), um dos primeiros modelos de máquina térmica e que será submetida em 1699 á Academia, mas que infelizmente jamais será construída (LOCQUENEUX, 1996). É para avaliar o interesse econômico de tal máquina que ele estudou a força dos homens e dos cavalos, a fim de estabelecer um instrumento de comparação, um padrão de medida. A força dinâmica pode segundo ele ser medida pelo produto de uma força estática (assimilável a um peso) por uma velocidade e um tempo. Ele compara o resultado da atividade dos homens e das máquinas como o produto de uma pressão (i.e. peso) por uma velocidade e por uma unidade de tempo. Esta grandeza "P.V.t, que nos remete a Coulomb, corresponde a um "trabalho" no sentido moderno. A medida do trabalho humano é proposta a partir de um

exemplo que pode parecer anedótico, mas é de fato judiciosamente escolhido: o polimento de lentes. Nesta tarefa como na experiência de ´sGravesande (1688-1742), a força do homem desaparece em uma ação sem retorno, no atrito. Amontons mediu a pressão média exercida pelos homens para polir, a velocidade de sua ação e a duração efetiva de seu trabalho diário. Ele chegou assim a uma medida da "potência" do trabalho humano, comparável ao de um cavalo ou de uma máquina de fogo: "Um homem sozinho não apresenta senão uma potência continuada de 12 libras e meia fazendo três quartos de légua por hora, isto é, em torno da sexta parte do trabalho de um cavalo" (DUGAS,1988).

Encontramos assim em Amontons todos os elementos que Coulomb desenvolverá cerca de um século mais tarde. Ele resolve medir, para os homens e os cavalos, a força "econômica", a que pode se sustentar durante jornadas repetidas de trabalho com uma fadiga "normal" e não um recorde instantâneo que não teria nenhum interesse prático. Longe das querelas dos teóricos, este trabalho conduziu-o espontaneamente a escolher por medida a força dinâmica uma grandeza que tem as dimensões físicas da "força viva" e a antecipar o conceito de trabalho. Nós reencontramos esta orientação pragmática em toda uma linhagem de pesquisas, mais tecnológicas que científicas, que percorrem o século XVIII: a hidrodinâmica, utilizada para melhoria da concepção dos moinhos (SÉRIS, 1987).

TRABALHO E VALOR

Se analisarmos a passagem do conceito físico de trabalho à economia, iremos observar que no contexto das máquinas as tentativas de utilizá-lo como uma medida de valor apresenta muitas semelhanças com a teoria do valor-trabalho de Marx (1818-1883). Em primeiro lugar o objetivo fundamental tanto das teorias de Navier (1795-1836) e Coriolis (1792-1843) quanto a de Marx é encontrar uma medida comum do valor do produto, bem como daquilo que for gasto por uma máquina, de forma que se possa expressar e comparar sua eficiência produtiva com outras máquinas. Em matéria econômica, a questão central da teoria de Marx é a mesma insuficiência da teoria da troca como ela é apresentada pela economia clássica (MARX, 2011). A troca repousa sobre um princípio de equivalência. Como explicar então que em uma série de trocas surge uma mais-valia sem a qual é impossível compreender o crescimento econômico e a acumulação de capital?

Tanto na teoria de Navier e de Coriolis como na de Marx do trabalho abstrato, em um segundo momento, após se estabelecer uma norma de valor, estas teorias também buscam servir como medida dos custos e dispêndios da produção. Para Marx, a despesa produtiva compreende duas frações: de uma parte as mercadorias já avaliadas em termos de trabalho e que engloba os meios de produção, máquinas, matérias-primas etc. e que ele chama de trabalho morto e então o valor é simplesmente reincorporado ao valor do novo produto. Da outra, existe uma mercadoria muito particular que é a força de trabalho (RUBIN, 1987).

Assim, é possível usar o trabalho abstrato para medir o valor do produto como os gastos da produção que é o valor da força de trabalho. Dessas duas medidas resulta a ênfase em um sobrevalor, ele mesmo mensurável em termos de valor- trabalho: a mais-valia e de uma taxa exprimindo a eficiência econômica do processo, que é o lucro do capitalista. Esta taxa é definida como a relação entre o sobrevalor e o dispêndio.

É visível a analogia da construção de Marx com a dos engenheiros politécnicos, especialmente Navier e Coriolis (VATIN, 1993). O trabalho serve em ambas as teorias para medir o produto e seu custo de produção, o que permite colocar, em termos de valor, uma relação numerador e denominador nas mesmas dimensões. Na teoria de Marx, a taxa de mais-valia é na de Navier e Coriolis o rendimento como a razão entre trabalho útil/trabalho total. Apesar das semelhanças, uma diferença fundamental aparece nitidamente entre as duas construções teóricas.

O modelo mecânico expressa um valor e uma perda. O valor do produto se expressa em trabalho útil que é inferior ao da despesa que é o trabalho total e o rendimento mecânico é então inferior a um. Na teoria de Marx ao contrário aparece um valor, ou melhor, um sobrevalor, supondo que o valor do produto pode ser superior ao da despesa. A força de trabalho podendo produzir mais trabalho do que ela custa. Esta é uma peculiaridade desta mercadoria especial que é a força de trabalho, a única que pode criar valor. Reside neste aspecto a diferença fundamental entre a teoria de Marx e a dos engenheiros politécnicos, pois as leis da termodinâmica garantem a inexistência de máquinas com rendimento maior ou igual a um. Com isto também fica impossível atribuir-se a Marx uma concepção energeticista que considerasse o valor do trabalho humano semelhante ao de uma máquina. Se tal acontecesse teríamos uma mais-valia negativa, uma perda ao invés de um sobrevalor. Engels (1820-1895) alertou para este perigo ao ler o artigo de um naturalista ucraniano chamado Sergei Podolinski (1850-

1891) e que pensava poder criar uma teoria social baseada em Marx, fundada sobre uma concepção energeticista do valor (VATIN, 1998).

É importante ressaltar que no final do século XIX desenvolveu-se toda uma concepção teórica e até uma visão de natureza baseada na grande conquista científica que foi a descoberta da lei da conservação da energia, em 1847. A busca de um saber unificado fez com que certos paradigmas das ciências da natureza influenciassem as ciências sociais. É também inegável que o próprio conceito de energia convida a uma interpretação econômica, pois se assemelha a uma moeda de conversão nos diversos campos da física.

Ao lado deste aspecto contábil e de servir como uma *moeda mecânica*, o conceito de energia se relaciona com o homem tanto no papel de produtor ao movimentar forças como na qualidade de consumidor, dependendo como as outras espécies biológicas de um aporte de energia. Assim seria até natural pensar que a energia pudesse fornecer uma medida comum a todos os bens, mercantis ou não, fundada sobre as condições de sua produção e sobre sua utilidade para o ser humano. Esta não é, todavia, a visão de Marx, muito menos sua concepção de valor criado através do trabalho na produção de mercadorias.

O MODELO FÍSICO-ECONÔMICO DE COULOMB

Ao abordar a questão da fadiga como um dos efeitos mais emblemáticos do maquinismo o trabalho pioneiro de Charles-Augustin Coulomb utilizando o ferramental da mecânica é que ele elabora o conceito de trabalho útil, dando origem ao conceito de rendimento mecânico como a razão entre o trabalho útil e o trabalho total. Isto foi feito em sua *Memoire sur la force des hommes*, publicada em 1778. Esses conceitos estão na base do processo de incorporação do trabalho ao pensamento econômico e será o fio condutor de um processo mais amplo conduzido entre outros por Navier, Coriolis e Poncelet (1788-1867).

Historicamente, Coulomb, ao atacar o problema da fadiga como um problema mecânico retoma uma velha questão que era a de medir a capacidade muscular de um homem em uma jornada de trabalho. Sua preocupação fundamental não era medir recordes em termos de possibilidades humanas, mas de quantificar capacidades usuais, ordinárias de um homem médio em sua jornada diária. Em outras palavras, tratava-se de

medir a *real jornada de trabalho*, como será concebido um século mais tarde por Frederik Taylor (1856-1915).

Coulomb considerava que era necessário distinguir no trabalho dos homens e animais dois fatores: o efeito que ele pode obter usando sua força muscular para movimentar uma máquina e a fadiga que lhe acompanha ao produzir este efeito. Ele se propõe então a maximizar a razão entre o efeito e a fadiga, ou seja, o rendimento, caracterizando inequivocamente sua preocupação econômica.

Ele constrói um modelo teórico para fazer esta análise e usa como exemplo para aplicar seu modelo o movimento de um homem deslocando um peso na vertical. Neste problema, o efeito útil é muito fácil de ser identificado pelo produto do peso pela altura a qual ele vai ser elevado. Para o cálculo do trabalho total basta adicionar seu peso próprio. Vejamos como ele equaciona o problema. Chamando:

P = peso a ser elevado

Q = peso próprio do homem

h = altura a ser elevada

$(P+Q)h$ = quantidade de ação

PH = efeito útil

Através de uma análise detalhada que evitaremos discutir aqui por fugir do nosso objetivo central, Coulomb considera que a quantidade de ação diária pode ser expressa, levando-se em conta a fadiga, por uma função do tipo $(a - bP)$, onde o parâmetro a seria a quantidade máxima de ação diária e b um parâmetro que exprime o efeito negativo da carga (peso). Obviamente ele usa a função mais simples de todas, que é a linha reta. Ele faz então o seguinte equacionamento: $(a - bP) = (P+Q)h$ ou $Ph = (a - bP)P/(P+Q)$; que é a função que se obtém isolando-se o efeito útil em função dos parâmetros a, b e da carga P. Ele chega então a uma função que pode ser maximizada pelas regras de uma derivação simples. Evitaremos discutir os valores numéricos que ele atribui aos parâmetros a e b, bem como sua análise dos resultados. O que deve ser enfatizado mais uma vez é que os conceitos de trabalho útil, trabalho total e rendimento têm origem em uma preocupação econômica, mas são estabelecidos como uma analogia mecânica e depois retornam ao pensamento econômico. Deve ser observado que Coulomb ainda não utiliza o termo “trabalho” no sentido físico, e sim “quantidade de ação”.

O EMPREENDIMENTO DOS ENGENHEIROS FRANCESES

Lazare Carnot

Desde o início de século XVIII era comum calcular a capacidade de uma máquina ou um motor realizar trabalho em função da altura que eles podiam elevar um certo peso. Neste sentido, as quantidades mgh e ½ mv^2 eram praticamente equivalentes do ponto de vista do funcionamento da maior parte das máquinas. Dessa maneira é que todos aqueles que estudaram as máquinas passaram a considerar essas quantidades como fazendo parte de uma mesma realidade, isto é, da força viva. Não é feita nenhuma diferença entre o trabalho e a energia cinética, termos ainda desconhecidos àquela época. Como sabemos vai ser Coriolis quem vai consagrar o uso do termo "trabalho", além de adicionar a constante ½ ao termo da força viva em seu mais famoso livro "Sobre o cálculo do efeito das máquinas", publicado em 1829. Na realidade a utilização do termo trabalho em substituição aos termos que eram correntes na literatura de então é um pouco mais complexo, pois a partir de 1825, aproximadamente, não somente Coriolis passou a usá-lo, mas também outros engenheiros politécnicos como é o caso Poncelet (OLIVEIRA, 2011) e outros.

Ainda sem denominar o produto da força pelo deslocamento de seu ponto de aplicação de trabalho, mas de momento de atividade ou momento de ação, é na teoria geral das máquinas de Lazare Carnot (1753-1823) que podemos encontrar essa diferença entre força viva e trabalho (CHARNAY, 1990). O início do desenvolvimento dessa teoria aparece em seu primeiro "Ensaio sobre as máquinas", datado de 1783 e se consolida, em seus "Princípios". A diferenciação entre os dois conceitos aparece no parágrafo 59 dos "Princípios" quando ele afirma: "Nós acabamos de ver que a força viva pode se apresentar ou sob a forma Mu^2 de uma massa pelo quadrado de uma velocidade, ou sob a forma PH de uma força motriz por uma linha. No primeiro caso é a força viva propriamente dita; no segundo, podemos lhe dar a denominação particular de força viva latente". E a força viva latente é, evidentemente, a energia potencial do sistema.

Ao diferenciá-los dessa maneira, Carnot deixa claro que o trabalho pode ser transformado em força viva e de certa forma antecipa em 44 anos, pelo menos no campo estrito da mecânica, a conversão entre trabalho e energia. O princípio da conservação da energia é do final da década de 40 do século XIX (KUHN, 1996).

Navier

A contribuição de Navier à elaboração de uma teoria das máquinas faz parte de um pequeno texto intitulado: *Sobre os princípios do cálculo e do estabelecimento das*

máquinas e sobre os motores. Este estudo também pertence ao conjunto de notas e acréscimos por ele redigido para a reedição em 1819 da *Arquitetura Hidráulica* de Bélidor (1698-1761). Este livro de Bélidor, publicado inicialmente entre 1737 e 1739, tornou-se o manual de referência mais importante dos engenheiros hidráulicos da época. Pela data de sua publicação podemos ver que desde muito tempo o manual apresentava conceitos já ultrapassados. Sabemos que em 1781, Coulomb tencionava revisá-lo, mas foi Navier quem retomou o projeto de Coulomb.

Navier redige praticamente um segundo livro como uma espécie de anexo ao original de Bélidor, submetendo-o a uma revisão completa. O método adotado por ele foi adicionar notas e acréscimos ao invés de ir discutindo os conceitos. Disso resultou que sobre pontos importantes, Navier escreveu verdadeiros tratados que puderam ser aproveitados como artigos independentes. Os conceitos que mais nos interessam examinar estão contidos em um desses acréscimos (VATIN, 1993).

Primeiramente Navier utiliza o conceito de trabalho como uma medida da produção das máquinas, ao qual ele denomina de *moeda mecânica*. Em seguida ele retoma a problemática da eficiência e da maximização do rendimento das máquinas, no mesmo sentido no qual Coulomb já havia feito. No fundo essa problemática, com a qual se defronta Navier é também semelhante a enfrentada por Carnot. Trata-se de elaborar princípios e métodos para avaliar a eficiência das máquinas e motores. A diferença básica entre Navier e seus antecessores é que ele coloca o problema das máquinas em um contexto e uma forma mais ampla, ou seja, em termos econômicos.

O que se colocava para ele naquele momento era dispor de um instrumento de medida para a produção de um sistema mecânico, o que já denominamos de norma de valor. Na realidade, a contribuição maior de Navier é recolocar a questão do trabalho como uma preocupação nitidamente econômica, onde sua designação de trabalho como “moeda mecânica” é perfeitamente adequada e significativa. Do ponto de vista físico ele não traz nenhuma contribuição mais relevante e o conceito físico é utilizado tal qual se apresentava pela física de então.

Coriolis

Na revisão da mecânica racional que Coriolis faz em seu livro *Sobre o Cálculo do Efeito das Máquinas* (1829), vamos encontrar pela primeira vez a formalização do conceito de trabalho na página 35, no item *princípio da transmissão do trabalho no movimento de um ponto material*, que é o que denominamos hoje de teorema do trabalho e da energia cinética (OLIVEIRA, 2011). É também nesta altura do texto que

ele introduz várias definições, como a de força movente, força resistente, dependendo de se a força aumenta ou diminui a velocidade do corpo. Ele define ainda quantidade de trabalho, como a integral da componente tangencial da força multiplicada pelo elemento de arco da trajetória da partícula, trabalho motor e trabalho resistente. Assim, ele enuncia o que era denominado de equação das forças vivas e que ele passa a chamar de equação da transmissão do trabalho, na seguinte forma: *Durante um movimento qualquer, a diferença entre o trabalho motor e o trabalho resistente, devido às forças aplicadas ao ponto material, é igual ao crescimento que tem a força viva do móvel durante este tempo*. Este é como sabemos, o teorema do trabalho-energia na sua forma moderna (LINDSAY, 1975).

Antes de aplicar este princípio às máquinas, ele define sucintamente uma máquina: *Designamos em geral sob o nome de máquina a um sistema de corpos sólidos emcontato, destinado a transmitir o trabalho das forças*. Com relação à aplicação do referido princípio às máquinas ele acrescenta: *O trabalho perdido no atrito entre dois corpos fazendo parte de uma máquina se calculará por uma integral, se estendendo durante o movimento que se considere, e então o elemento será o produto do atrito total para todos os pontos de contato que têm velocidades iguais e paralelas, multiplicado pelo elemento de comprimento de deslizamento de um corpo sobre o outro*.

Coriolis observa, no entanto, que tal cálculo só poderá ser feito através de experimentos e explica em linhas gerais como montar tal experimento.

O outro problema por ele tratado, e que já foi exaustivamente estudado por Carnot é o do choque entre corpos, com vistas a aplicação a uma máquina qualquer em movimento. É importante ressaltar neste estudo, a aplicação por Carnot, do princípio de d'Alembert, cujo encadeamento lógico conduz a seu teorema. Ao usar o princípio de d'Alembert, Carnot o faz associado ao princípio dos trabalhos virtuais. O enunciado feito por Coriolis do teorema de Carnot é na sua forma mais geral, válido inclusive para corpos não elásticos: *A diferença entre a força viva devido às velocidades antes do choque e aquela que se deve às velocidades médias após o choque, é igual a soma de dois termos: (1) a força viva devido às velocidades perdidas ou ganhas pelo efeito do choque, isto é, as velocidades que combinadas com aquelas que têm lugar após o choque, darão como resultado aquelas que têm lugar antes do choque; (2) a soma dos produtos das quantidades de movimento devido aos atritos durante o choque, pelas velocidades relativas do atrito ao fim do choque*.

CONCLUSÕES

O objetivo central deste artigo foi ressaltar a importância das ciências físicas para ampliar a visão tradicional que se tem sobre o conceito de trabalho da economia política. O conceito de trabalho da física é muito antigo e remonta ao próprio princípio da alavanca estabelecido por Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.). Nossa análise, no entanto, ficou restrita ao encontro do conceito de trabalho da física com a economia, quando a expansão do maquinismo que resultou da Revolução Industrial, inicialmente na Inglaterra e depois no continente europeu, colocou para os engenheiros franceses do final do século XVIII e primeiras décadas do século XIX uma questão prática e necessária de ser respondida (PONCELET, 1870). Como comparar máquinas de usos diversos do ponto de vista de seus rendimentos, dos custos envolvidos na produção incluindo homens e máquinas?

Esta simples pergunta escondia de fato um dilema ainda não resolvido pela própria mecânica racional da época que era sua incapacidade em fornecer uma teoria consistente para as máquinas saída do quadro conceitual das leis de Newton. Ao tentar uma resposta para tal dilema os engenheiros franceses deram um passo considerável para o desenvolvimento da mecânica aplicada ás máquinas e utilizaram o conceito de trabalho da física como um princípio de equivalência para as comparações demandadas. É dessa forma, que o conceito físico de trabalho adquire uma dimensão econômica.

As contribuições de Coulomb, Lazare Carnot, Navier e Coriolis são apresentadas de forma resumida e são essas as contribuições mais destacadas no sentido em que questões de natureza econômica começam a fazer parte dos modelos teóricos dos engenheiros franceses. Coulomb, como vimos, é precursor dessas formulações, Carnot fundamenta uma primeira teoria para estudar as máquinas, inscrita no quadro conceitual da mecânica Newtoniana, onde o conceito de trabalho (sem este nome) ocupa uma posição central. Navier generaliza algumas ideias e princípios relacionados com o que mais tarde seriam conhecidos como trabalho e energia. Coriolis, por sua vez utiliza o conceito de trabalho no mesmo sentido moderno no qual ele se relaciona com a energia cinética, tal qual aparece no teorema do trabalho-energia cinética.

REFERÊNCIAS

ALQUIÉ F., **Galileu, Descartes e o Mecanicismo,** Gradiva, Lisboa, 1987.

ANDERSON P., **Passagens da Antiguidade ao Feudalismo,** Editora Brasiliense, S. Paulo, 1991.

BLAY M., **La Naissance de la Mécanique Analytique**, Presses Universitaires de France, Paris, 1992.

CALLINICOS A., **The Revolutionary Ideas of Karl Marx**, Bookmarks, London, 1983.

CHARNAY J. P., **Lazare Carnot ou le Savant- Citoyen**, Presses de l'Université de Paris- Sorbonne, Paris, 1990.

CORIOLIS G. G., **Du Calcul de l'Effet des Machines**, Carilian-Goeury Librairie, Paris, 1829.

COHEN G. A., **Karl Marx´s Theory of History: A Defence,** Oxford University Press, 1978.

DUGAS R., **A History of Mechanics**, Dover Publications, Inc, New York, 1988.

d'ALEMBERT J., **Traité de Dynamique**, 2 vol., Gauthier-Villard, Paris, 1921.

KUHN T. S., **La Tension Esencial**, Edición Fondo de Cultura Economica, México, 1996.

LEIBNIZ G. W., **Escritos de Dinâmica,** Madrid Editorial, Madri, 1991.

LEIBNIZ G. W., **La Reforme de la Dynamique,** Librairie Philosophique Vrin, Paris, 1994.

LINDSAY R. B**.,** **The Concept of Energy and its Early Historical Development**, Brown University, EUA, 1975.

LOCQUENEUX R., **Préhistoire & Histoire de la Thermodynamique Classique,** Societé Française d´Histoire des Sciences et des Techniques, no. 45, Paris 1996.

MARX K., **O Capital**, Livro 1, Vol. 1, Editora Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 1968.

MARX K., **Grundrisse,** Editorial Boitempo, S. Paulo, 2011.

NEWTON I., **Principia: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, Livro I, Edusp, Editora da Universidade de S. Paulo, S. Paulo, 2002.

OLIVEIRA A. R. E. **The Contribution of Coulomb to Applied Mechanics,** IFToMM Symposium, Italy, May, 2004.

OLIVEIRA A. R. E. **A History of the Principle of Virtual Works,** IFToMM Workshops, Cornell University, Ithaca, N.Y., September, 2006.

OLIVEIRA A. R. E. **Euler´s Contribution to Classical Mechanics,** XII IFToMM World Congress, Besançon, France, June, 2007.

OLIVEIRA A. R. E. **Coriolis´ Theory of Machines and Mechanisms,**IFToMM Congress, Guanajuato, Mexico, June, 2011.

OLIVEIRA A. R. E. **As Transformações da Ciência das Máquinas no Século XIX e o Surgimento da Termodinâmica,** Congresso Luso-Brasileiro de História das Ciências, Coimbra, Outubro de 2011.

OLIVEIRA A. R. E. **Jean-Victor Poncelet and the Development of Applied Mechanics,** IFToMM Symposium, Amsterdam, May, 2012.

OLIVEIRA A. R. E. **Lagrange as Historian of Science,** IFToMM Workshop, Palermo, Italy, November, 2013.

OLIVEIRA A. R. E. **A History of the Work Concept: from physics to economics**, Springer, Amsterdam, 2013.

PONCELET J. V., **Introduction a la Mécanique Industrielle**, Gauthier-Villars, Librairie, Paris, 1870.

RUBIN I. I., **História do Pensamento Econômico**, Editora UFRJ, Rio, 2014.

RUBIN I. I., **A Teoria Marxista do Valor**, Editora Polis, S. Paulo, 1987.

SÉRIS J. P., **Machine et Communication: Du Théatre des Machines a la Mécanique Industrielle**, Librairie Philosophique J. Vrin, Paris, 1987.

VATIN F., **Le Travail: Économie et Physique 1780-1830,** Presses Universitaires de France, Paris, 1993.

VATIN F., **Le Travail, Sciences et Societé,** Éditions de l'Université de Bruxelles, 1999.

VATIN F**., Économie Politique et Économie Naturelle chez Antoine-Augustin Cournot,** Presses Universitaires de France, Paris, 1998.