Capítulo 7 - Ciência e sociedade retratos da história da termodinâmica na Arte

Danielle Beatriz de Sousa Borges
Thaís Cyrino de Mello Forato

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

BORGES, D.B.S., and FORATO, T.C.M. Ciência e sociedade: retratos da história da termodinâmica na Arte. In: MOURA, B. A., and FORATO, T. C. M., comps. *Histórias das ciências, epistemologia, gênero e arte: ensaios para a formação de professores* [online]. São Bernardo do Campo, SP: Editora UFABC, 2017, pp. 139-161. ISBN 978-85-68576-84-7. <https://doi.org/10.7476/9788568576847.0008>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

CIÊNCIA E SOCIEDADE: RETRATOS DA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA NA ARTE

Danielle Beatriz de Sousa Borges
Thaís Cyrino de Mello Forato

Ciência e Arte: uma contribuição para o ensino das ciências

Promover o diálogo entre a Física e a Arte não é uma tarefa trivial, pois ambas se apresentam como culturas totalmente distantes ao primeiro olhar. A Física é compreendida como “[...] o campo da razão, do rigor descritivo da natureza e da precisão. Já a Arte está associada à intuição, à criatividade e à liberdade de criação” (REIS; GUERRA; BRAGA, 2005, p. 29). Conforme desenvolvemos nossas concepções acerca do fazer científico, notamos que tais culturas não são tão antagônicas como pareciam no início (SNOW, 1961). Afinal, ambas são criações da mente humana desenvolvidas em determinados contextos culturais, incorporando aspectos do ideário do local onde estão inscritas.

Quando estudamos a história das ciências, vemos exemplos dos processos de desenvolvimento do conhecimento científico, por exemplo, inter-relacionando Ciência, tecnologia e

sociedade. Além disso, o estudo histórico mostra a influência de diferentes elementos na Ciência, como valores pessoais, diferentes concepções sobre a constituição da matéria, ou ainda interesses políticos e econômicos, em função do contexto em que as concepções científicas se desenvolvem (MARTINS, 2006). Nesse sentido, as criações das ciências expressam sua historicidade, mostrando-se parte da cultura, influenciando e sendo influenciadas por outros campos do saber.

Essa perspectiva permite-nos entender que os processos de construção dos produtos da Ciência podem estar representados nas criações artísticas de sua época (ZANETIC, 1989, 2006). Diferentes áreas do saber representando um mesmo aspecto desse imaginário, a seu próprio modo. Para Ferreira (2012), a Arte é um processo criativo, também em intenso diálogo com os saberes de sua época.

E assim como a ciência, a arte não é apenas o produto final do quadro, da peça, do roteiro de cinema ou da letra da música. É antes de tudo um processo, idas e vindas de imagens, desejos e expectativas, revisões de conhecimentos anteriores e projeções para o futuro, diferentes linguagens que se cruzam e entrecruzam, enfim, um mistério a penetrar. (FERREIRA, 2012, p. 8)

Ao mesmo tempo em que a Arte também possui suas particularidades, seus movimentos artísticos apresentam diferentes características do pensamento científico de acordo com a época em que surgiram. “A obra artística funciona como o nexo entre a ciência do aluno, a ciência do professor e a ciência do cientista. Nesse sentido, a arte é instrumento de aprendizado” (FERREIRA, 2012, p. 3). A partir daí, entendemos que o professor pode revestir de intencionalidades um produto artístico,

constituindo-o como um recurso para ensinar Ciência e sobre a Ciência.

Mediante essa perspectiva, o diálogo produzido entre a História da Ciência e a História da Arte pode configurar-se como uma forma de favorecer a reflexão dos alunos sobre o desenvolvimento das ideias científicas (ZANETIC, 2006). As diferentes manifestações artísticas podem oferecer subsídios ao professor para promover discussões sobre os conceitos científicos, bem como sobre sua conexão com seu contexto cultural (REIS; GUERRA; BRAGA, 2009). Por meio de exemplos históricos, os estudantes podem refletir explicitamente sobre aspectos da natureza das ciências (MARTINS, 2006), desenvolvendo uma visão melhor informada sobre as dimensões conceituais, observacionais e socioculturais da Ciência (ALLCHIN, 2013). Utilizando artefatos culturais¹, aqui sinalizados por intermédio de duas pinturas, buscamos oferecer dois exemplos da Arte incorporando o ideário da Ciência de suas respectivas épocas.

Apresentamos uma interpretação histórica que estabelece uma conexão entre os contextos sociais de duas obras de Arte e um recorte da história da termodinâmica. Utilizando uma delas, um quadro de George Garrard (1760-1826), discutimos uma conexão que busca nos aproximar do contexto científico estabelecido anteriormente ao da Primeira Revolução Industrial, no qual se destacam os conhecimentos relacionados ao estudo da mecânica. Recorrendo a outra obra de arte, um quadro de William Turner (1775-1851), abordamos uma perspectiva de interpretação do seu contexto cultural, quando as máquinas simples dão lugar às máquinas movidas pelo fogo.

¹ Michel de Certeau (1998) considera como artefatos culturais todos os produtos disponibilizados à sociedade.

O período que separa os dois mundos, representados por essas obras, costuma ser considerado como o início da Primeira Revolução Industrial e constitui um marco na história da termodinâmica, quando as máquinas térmicas vão sendo aperfeiçoadas e passam a ser utilizadas mais intensamente nos transportes e na indústria. Hobsbawm (2010) destaca a dificuldade em se estabelecer um período preciso para a Primeira Revolução Industrial. Porém, boa parte dos historiadores considera que ela teve início na década de 1780, quando ocorreu um grande desenvolvimento industrial se comparado aos anos anteriores, e culminou na construção das ferrovias e da indústria pesada na Grã-Bretanha, na década de 1840.

Nesse contexto, a interpretação das obras de arte presentes nesse trabalho foi baseada na série intitulada “Lendas da Ciência”, uma produção francesa escrita pelo filósofo francês Michel Serres (1930-) e dirigida pelo cineasta francês Robert Pansard-Besson (1950-2011). Essa série é constituída por 12 episódios² que exploram a elaboração do conhecimento científico e o seu poder transformador ao longo da história da Ciência. No episódio “Queimar”³, o filósofo francês contrapõe dois mundos ilustrados nos quadros dos pintores ingleses George Garrard (1760-1826) (Figura 1 - p. 146) e William Turner (1775-1851) (Figura 2 - p. 149).

O episódio “Queimar” descreve o primeiro mundo, representado por Garrard em 1784, como frio e limpo, sendo movido pelas forças das águas e dos ventos ou dos músculos dos homens, mulheres e animais. Nesse cenário, destacam-se as máquinas simples, como as alavancas, os guindastes, as

² Os episódios traduzidos estão disponíveis via *You Tube*, no canal da TV Escola 1: <<https://www.youtube.com/user/TVEscola1>>.

³ Título original: Brûler – *La Légende des Sciences* (1997).

balanças, as roldanas. Do mesmo modo, o filósofo se transpõe ao mundo do fogo por intermédio do quadro de Turner, pintado em 1839, ilustrando o segundo âmbito, quente e poluído. Nessa perspectiva, ao destacar as ideias que posteriormente iriam contribuir para o estabelecimento de uma nova área na Física, a termodinâmica, o episódio busca mostrar como as transformações promovidas pelas ciências podem influenciar acontecimentos que marcam a história da humanidade.

Obras de arte são consideradas também como documentos históricos, que nos permitem conhecer aspectos do contexto em que foram criadas. A comparação entre essas duas pinturas traz valiosas pistas sobre as transformações sociais operadas pelas máquinas de fogo nesse intervalo de cinco décadas.

As discussões propostas por Michel Serres, por meio da análise das pinturas trazidas ao contexto anterior (séc. XVIII) e posterior à Primeira Revolução Industrial (séc. XIX), podem ser utilizadas didaticamente para introduzir o impacto do desenvolvimento da máquina a vapor, tanto no meio social quanto no científico. É possível refletir sobre as concepções de ciências que permeiam os dois cenários representadas por ambos os pintores.

A reprodução de *O Combatente Téméraire* (1839), feita no início do século XIX (Figura 2), é a representação de um fato real: mostra o navio de guerra *Temeraire*⁴ sendo rebocado pelo Tâmesa para um estaleiro de desmontagem. Esse navio é considerado um dos símbolos da nação inglesa, por sua importância na Batalha de Trafalgar durante a guerra franco-espanhola em

⁴ Há diferentes grafias para o nome do navio no título do quadro quando traduzido do inglês para textos em português. Adotamos a mais frequente no nome da obra, “Téméraire”, mas mantivemos a grafia adotada pelos ingleses, *Temeraire*, quando nos referimos ao navio retratado na obra. Nas citações, mantivemos a opção de cada autor.

1805. A tela ilustra, de forma significativa, a chegada de novos tempos. Em seu quadro, Turner pincela as fumaças produzidas pela máquina a vapor e cria intrigantes atmosferas no seu espaço pictórico (SILVA, 2009).

A representação da máquina a vapor em pinturas nos atenta para o papel que ela estava desempenhando naquele período. O pintor, por meio da obra, consegue expressar o contexto no qual se desenvolve a máquina térmica. O mundo de Garrard (mecânica) não incorpora a importância do calor na produção de força motriz.

Um mundo dentro dos limites da mecânica

Em diferentes momentos da história da humanidade, podemos notar a relação entre o desenvolvimento científico e as demandas que envolvem aspectos sociais, econômicos, políticos e até mesmo industriais. Boris Hessen⁵, em seu texto *As raízes socioeconômicas dos Principia de Newton*, aborda a evolução da mineração no início do século XVI incitada pelo expressivo desenvolvimento da indústria da guerra, e estimulada pela invenção de armas de fogo e pela introdução da artilharia pesada. Assim, a vasta exploração de minas de ferro e cobre foi necessária durante esse período, requerendo o desenvolvimento de novos artefatos e técnicas (HESSEN, 1993). Além disso, para elevar o minério e água,

[...] eram construídos bombas e equipamentos de elevação (sarilhos e molinetes horizontais) empregando

⁵ Texto apresentado ao II Congresso Internacional de História da Ciência e da Tecnologia – Londres 1931. Tradução de Sylvia Ficher e Ruy Gama. A referência completa está disponível ao final deste capítulo.

a energia de animais, do vento e de quedas d'água. [...]. Para remover a água, foi preciso desenvolver um sistema completo de bombeamento, uma das tarefas técnicas mais importantes, devido ao aumento de profundidade das minas. (HESSEN, 1993, p. 38)

A maquinaria utilizada na elevação e remoção de minério e água envolvia “[...] questões de cálculo de guinchos e pesos, isto é, de combinação de máquinas mecânicas simples” (HESSEN, 1993, p. 39). Os conhecimentos físicos empregados no desenvolvimento de tais artefatos se encontravam dentro dos limites da mecânica. Ele aponta que esse processo proporcionou um grande progresso técnico, que requisitou o envolvimento de artesãos e ferreiros que possuíam conhecimento da Ciência e que fossem capazes de solucionar os problemas técnicos que acometiam a indústria de mineração. Essa conquista trouxe importantes impactos na vida humana da época. O progresso técnico obtido proporcionou o surgimento da “[...] indústria em larga escala, a aplicação das forças da natureza para fins industriais, a mecanização e uma divisão de trabalho mais detalhada” (HESSEN, 1993, p. 33).

O predomínio da mecânica no ambiente descrito por Hessen estabelece um paralelo com as Artes que expressam por meio das tintas, um mundo dominado pelas máquinas simples. O pintor e escultor inglês George Garrard (1760-1826), em seu quadro intitulado *O galpão de Samuel Whitbread* (1784) (Figura 1)⁶, recapitula, numa insígnia do trabalho, o conjunto de toda a maquinaria criada pelo homem até então. Nesse conjunto, encontram-se a alavanca, o guindaste, a balança, as roldanas e toda a aparelhagem que transmite força e movimento

⁶ Um recorte, em cores, desta figura está na contracapa do livro.

(SERRES; BROWN; PAULSON, 1997). Todos esses elementos representados por Garrard são exemplos do mundo concebido como essencialmente bem organizado e eterno, anteriormente ao emprego da máquina a vapor nas indústrias e nos transportes (LECHTE, 2012).

Figura 1 – G. Garrard, *Mr. Whitebread's Warf*
(O galpão do Samuel Whitbread, 1784)⁷

Fonte: Bridgeman Images (2016).

Ao pintá-lo, Garrard não expressa somente seu olhar sobre o mundo do trabalho, mas também – embora, talvez, involuntariamente – descreve as ciências cujas teorias surgem a partir dessas ferramentas com intuito de melhorá-las (SERRES; BROWN; PAULSON, 1997, p. 8).

Porém, o mundo de Garrard se mostra insuficiente diante da demanda energética imposta pelo grande crescimento

⁷ Pintura a óleo (60 x 39,2 cm).

industrial ocorrido na Inglaterra (HOBBSAWM, 2010). As máquinas deixam de ser artefatos que possuem como função a elevação e bombeamento dos minerais e água presentes no fundo das minas, e passam a ser compreendidas, também, como um elemento capaz de impulsionar os meios de transporte terrestre e marítimos (MENDONZA, 1988)⁸. Essa demanda motiva o aperfeiçoamento das máquinas de fogo ou máquinas de vapor, que encontram um terreno fértil para prosperar.

A presença da máquina a vapor nas pinturas de William Turner reflete sua importância naquele período. Não apenas como meio de transporte mais eficiente, mas, também, por sua contribuição no desenvolvimento industrial inglês. A curiosidade e necessidade em prover melhoramentos a esse artefato, no final do século XVIII e início do século XIX, impulsionou o interesse de engenheiros, artesãos e filósofos naturais na busca por compreender seu funcionamento, inclusive, como mais uma forma de impactar o desenvolvimento social.

As máquinas de fogo e a transformação do mundo

A máquina a vapor é tida como um dos elementos contribuintes para o advento da Primeira Revolução Industrial, a qual se iniciou por volta dos anos 1780 na Inglaterra (HOBBSAWM, 2010). Segundo Sadi Carnot (1824), ela foi impulsionada pela exploração de grandes jazidas de carvão e ferro

⁸ Nessa edição, Eric Mendonza acrescenta uma introdução à tradução da obra de Sadi Carnot, em que aborda diferentes assuntos relacionados à máquina a vapor na França e Inglaterra. O autor inclui, também, um artigo de Clapeyron e Clausius (MENDONZA, 1988).

disponíveis na região – matérias-primas indispensáveis à confecção das máquinas e geração de energia. Além desses elementos citados por Sadi, outras condições favoreceram esse movimento na Grã-Bretanha, como é exposto por Castignani (1999, p. 7).

A Monarquia já havia sofrido duros revezes, abrindo a possibilidade para um sistema em que o desenvolvimento econômico e os lucros privados tornavam-se o objetivo supremo da política governamental. Uma solução, de efeito prático, havia sido encontrada para o problema agrário, concentrando os negócios numa espécie de monopólio pertencente a uma elite rural de mentalidade já eminentemente comercial.

Não foram o desenvolvimento do motor e a invenção da máquina a vapor que criaram a revolução industrial iniciada no século XVIII. Pelo contrário, a máquina a vapor ganhou grande importância devido à divisão do trabalho desenvolvida na manufatura. A demanda pelo aumento de produtividade tornou possível e necessário inventar um instrumento de execução. A máquina a vapor, que havia nascido na indústria da mineração, encontrou um campo já preparado para sua aplicação como motor (HESSEN, 1993, p. 72). A partir daí, ela também contribuiu para a revolução que estava em curso.

Apesar de a máquina a vapor não ser o único elemento responsável pelo desenvolvimento da revolução industrial, ela despertou interesses dos engenheiros, artesãos, filósofos naturais e cientistas da época. Podem-se encontrar representações desse importante artefato nas Artes, como em algumas pinturas de William Turner (1775-1851), tido como um dos primeiros a representar imagens pictóricas de máquinas a vapor⁹.

⁹ Para mais informações sobre outras obras de arte relacionadas ao tema, há algumas indicações disponíveis no seguinte site: <<http://www.historiadaarte.com.br/linha/romantismo.html>>.

Apresenta-se aqui uma de suas obras, conhecida como *O Combatente Téméraire* (1839) (Figura 2)¹⁰, exposto na primeira metade do século XIX.

Figura 2 – W. Turner, *The Fighting Temeraire tugged to her last berth to be broken up* (O Combatente Téméraire, 1838).

Fonte: National Gallery (2016)¹¹.

A reprodução de um navio real em *O Combatente Téméraire*, feita no início do século XIX (Figura 2), ilustra de forma significativa a chegada de novos tempos. Em seu quadro, Turner pincela as fumaças produzidas pela máquina a vapor criando intrigantes atmosferas no seu espaço pictórico (SILVA, 2013). Conforme já citado, a tela é a representação de um fato

¹⁰ Esta figura está colorida na capa do livro.

¹¹ Pintura a óleo (90,7 x 121,6 cm).

real: o navio de guerra *Temeraire* sendo rebocado pelo Tâmis para um estaleiro de desmontagem.

Todo em branco e amarelo, o *Téméraire* assume uma fantasmagórica majestade; em contrapartida, os tons escuros do rebocador, expelindo fogo e fuligem, o fazem maligno, quase demoníaco. Nessa escolha de cores também se configura o declínio dos velhos navios a vela, diante da nova era do vapor. (OS GRANDES ARTISTAS, 1991, p. 64)

Mas, a tela de Turner, com um navio a vapor no primeiro plano e o *Temeraire* ao fundo a ser rebocado, vai além do registro de um fato. Representa o fim de uma era (navegação à vela) e o início de outra (Revolução Industrial).

Turner talvez tenha tentado representar a nostalgia do uso das energias naturais e o início da máquina alimentada a carvão (com a consequente poluição do ambiente), ao pintar o velho e ultrapassado *Temeraire* como um pálido moribundo, e o novo barco a vapor, de tonalidade escura, triunfante, soltando fogo, com as suas rodas de pás freneticamente agitando a água. Ao refletirmos sobre a navegação à vela e o início da Revolução Industrial evocada pelo quadro de Turner, somos transportados para uma época em que o pensamento da Física não mais se ajustava ao padrão até então existente. (SILVA, 2013, p. 57)

O desenvolvimento da máquina a vapor é mencionado como uma construção inglesa – conforme mencionou Sadi Carnot (1824) – motivado pelo desenvolvimento industrial britânico. Porém, a compreensão dos processos envolvidos no funcionamento desse artefato, considerando a teorização e a sistematização de conhecimentos científicos, desenvolveu-se majoritariamente na França. O interesse da comunidade

acadêmica em oferecer explicação pautada em ideias científicas foi motivado pelo investimento na educação francesa. Além da importância da estrutura educacional, deve-se considerar a influência de ideias iluministas que elegiam a ciência como sinônimo de progresso, uma entidade capaz de influenciar e impactar, como exemplo, o desenvolvimento social e econômico por meio das práticas científicas (ABRANTES, 1998).

A transição entre o mundo representado por Garrard (Figura 1) e o apresentado por Turner (Figura 2) é marcada pela Primeira Revolução Industrial. Esse importante acontecimento, considerado como tendo seu início na década de 1780 (HOBBSAWM, 2010), impulsionou o desenvolvimento do setor fabril, proveu melhoramentos nos meios de transporte e comunicação e também proporcionou um grande desenvolvimento tecnológico. Esse último aspecto elencado contribuiu para o desenvolvimento científico, que pode ser interpretado por meio das duas obras de arte expostas nesse texto.

Os conhecimentos que favorecem a compreensão do mundo representado por Garrard – a mecânica –, por meio de suas leis e teoremas, respondem satisfatoriamente sobre o funcionamento das máquinas simples. Porém, tais conhecimentos são insuficientes quando conhecemos o mundo representado por Turner, o mundo do fogo, tido como um importante elemento para o funcionamento de máquinas que não são mais acionadas por meio da tração animal ou pela força humana.

Duas pinturas, dois mundos e as máquinas térmicas no ensino

Como pudemos ver ao longo desse artigo, o desenvolvimento das máquinas vem ocupando um importante papel no

progresso da sociedade. Hessen nos apresentou o impacto das máquinas simples, representadas por Garrard, como elemento contribuinte nos estudos da mecânica. Tais estudos se mostraram frutíferos tanto do ponto de vista prático, aperfeiçoando os processos executados pelas máquinas, quanto na ciência, exigindo aprofundamento em questões de cálculo de forças de tração e pesos que comporiam as máquinas mecânicas simples.

Apesar da importância dos estudos da mecânica na compreensão do funcionamento das máquinas, como citamos no início do texto, *necessitava-se de um conhecimento que contribuísse no entendimento das máquinas a vapor, privilegiando seu rendimento*. Os conceitos e as teorias que eram conhecidos até aquele período não eram suficientes para o que se necessitava compreender. Sadi Carnot escreveu que, enquanto os motores impulsionados por água, ar, ou a força animal poderiam ser totalmente analisados pela teoria mecânica, uma teoria semelhante para o estudo dos motores de calor permanecia ausente (CARDWELL, 1965, p. 189).

A transformação do calor da caldeira de uma máquina em força de um volante, se bem que utilizada amplamente, permaneceu durante muito tempo como uma questão estranha para a ciência exata. Cada máquina tinha seu próprio índice de conversão do carvão em trabalho, e este índice parecia descer à medida que se melhoravam as máquinas sem que parecessem advertir algum limite para o rendimento. Sem dúvida, este limite tinha que existir, pois de outro modo seria possível o movimento contínuo. Estas considerações conduziram Sadi Carnot, [...], e suas *Réflexions* [...]. (CASTIGNANI, 1999, p. 10)

A pintura de Turner foi divulgada em 1839. Nesse período, Sadi Carnot já havia publicado sua obra *Réflexions Sur la Puissance Motrice du Feu et Sur les Machines Propres a*

Développer Cette Puissance, (Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas próprias a desenvolver essa potência), em 1824. Em princípio, este livro não chamou muito a atenção da comunidade científica. Entretanto, na década seguinte, a publicação de Émilie Clapeyron (1834)¹², que ofereceu uma matematização e os diagramas para os ciclos propostos por Carnot (como os conhecemos atualmente), contribuiu para as discussões sobre a compreensão do poder do calor na produção de potência motriz¹³. Essa ideia foi central para os cientistas franceses da época, visto que estavam preocupados em prover melhorias nas máquinas a vapor já existentes, com intuito de impactar o desenvolvimento econômico francês.

Além de sua preocupação em entender o processo de produção da potência motriz ocorrido em máquinas térmicas, Carnot acreditava que tal artefato seria capaz de transformar o modo de produção de trabalho¹⁴, substituindo a transformação de energia por meio da tração animal, das quedas d'água e pelas correntes de ar, pelo poder do fogo.

No início de seu livro, Carnot faz a apologia da utilização das máquinas a vapor. Em seu trabalho, ele busca propor princípios gerais com intuito de atender diferentes tipos de máquinas térmicas, independentemente do combustível utilizado em seu funcionamento. Em busca da compreensão desses princípios, Sadi Carnot propôs inicialmente dois questionamentos que conduziram seu estudo, que são: i) seria a potência motriz do calor ilimitada ou haveria um limite para ela?; ii) existiriam agentes preferíveis ao vapor d'água para a produção da força motriz do calor?

¹² Artigo publicado no *Journal de l'Ecole Royale Polytechnique*, intitulado *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur* (CLAPEYRON, 1834).

¹³ Sadi Carnot e seus contemporâneos utilizam o termo potência motriz para representar o que compreendemos atualmente por rendimento, que seria a relação entre a energia recebida por um sistema e o trabalho realizado por ele.

¹⁴ Na concepção atual de transformação de energia térmica em outras modalidades.

Como forma de facilitar a compreensão dos princípios da produção de movimento pelo calor, Sadi Carnot determina que esses elementos devem ser considerados independentemente de qualquer mecanismo ou agente especial. Ele ainda destaca que é necessário estabelecer fundamentos aplicáveis não apenas aos motores a vapor de água, mas também a outros tipos de motores que poderiam ser desenvolvidos. Por essas razões, Carnot idealiza uma máquina que poderá operar independentemente da substância utilizada e seu método de execução.

Durante seus estudos, Sadi Carnot descreveu um ciclo ideal para um sistema constituído por um gás e composto por um cilindro com um êmbolo livre (Figura 3), sem atrito.

Figura 3 – Desenho feito por Sadi Carnot (1824)

Fonte: Carnot (1824, p. 119).

Carnot descreve que os corpos A e B representam reservatórios térmicos que apresentam temperaturas constantes, T_A e T_B , respectivamente, visto que T_A é maior do que T_B .

Nesse desenho, são indicadas quatro posições para o êmbolo. Inicialmente, o êmbolo é posicionado na posição c-d, e o sistema é colocado em contato com o reservatório A¹⁵. Durante esse processo, Carnot (1824) enfatiza que o máximo aproveitamento do calórico¹⁶ para a produção do movimento ocorreria quando todas as mudanças de temperatura, no fluido, acontecessem devido a mudanças de volume. A partir de seus estudos, o autor estabelece que os fluídos elásticos (gás ou vapor) possuem melhor desempenho na produção de potência motriz do fogo. Ele complementa:

Quando um gás mantido a uma temperatura constante passa de um volume (V_1) e pressão (p_1) para outro volume (V_2) e outra pressão (p_2) a quantidade de calórico absorvido ou abandonado é sempre a mesma, independentemente do tipo de gás. (CARNOT, 1824, p. 42)

O estudo do ciclo proposto por Carnot, em 1824, pode contribuir no aprendizado dos conceitos físicos envolvidos nas propriedades dos gases, considerando suas variáveis (temperatura, volume, pressão). Como também, processos reversíveis e

¹⁵ Em Borges (2016), há uma descrição detalhada do Ciclo de Carnot, disponível nas páginas 48-49.

¹⁶ Ao final do século XVIII e início do XIX, havia debates sobre a natureza do calor entre os cientistas da época. Um grupo considerava a existência de um fluido imponderável, o que era responsável pelas mudanças de temperatura observadas nos corpos. Outro grupo possuía uma concepção de calor como o movimento insensível das moléculas. Para um estudo mais completo sobre as teorias relacionadas à natureza do calor, indicamos a leitura do artigo *Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos* (SILVA; FORATO; GOMES, 2013).

irreversíveis e suas implicações. Além dos conteúdos científicos aqui elencados, buscamos abordar um conteúdo da História da Ciência que nos permite compreender como uma demanda da sociedade, permeada por interesses sociais, econômicos e políticos pode contribuir na compreensão da Ciência como parte da cultura humana.

Algumas considerações sobre as interpretações das pinturas e da história

Os dois pintores buscam representar, por meio das pinturas discutidas, suas visões de mundo de dois períodos distintos. Na obra de Garrard, vemos a representação de um mundo constituído e compreendido pela Mecânica. Ao passo que Turner buscou enunciar a chegada de novos tempos, um período dominado pelo fogo, que impulsionou estudos relacionados à termodinâmica. Ao compararmos as duas obras e seus contextos, ficaram explícitos alguns aspectos que podem exemplificar as dimensões conceituais, observacionais e socioculturais da Ciência (ALLCHIN, 2013). Além disso, essa ponte entre a Ciência e a Arte nos mostra como vários desses aspectos estão tão intimamente relacionados (SNOW, 1961) que é quase impossível separá-los.

Aproximar os elementos constituintes dessas obras, como, por exemplo, as representações das máquinas simples na pintura de Garrard e a máquina a vapor representada em tela por William Turner, em conjunto com as demandas sociais impostas nos períodos retratados pelos artistas, pode favorecer discussões que contribuam no entendimento da ciência como parte da cultura humana. “A ciência é uma das leituras possí-

veis do mundo e da natureza. Cada época e cada cultura são permeadas por diversas inquietações e questões que produzem respostas de diferentes tipos” (REIS; GUERRA; BRAGA, 2009, p. 1763). Esses valores podem ser caracterizados pelas influências sociais, políticas, econômicas, tecnológicas, dentre outras, que podem se refletir nos estudos científicos.

Não se pretende eleger um mundo melhor que o outro, quando comparadas as representações de Garrard e Turner. Porém, essa análise pode contribuir para compreender mudanças ocorridas em determinados períodos e sua relação com o desenvolvimento científico. Michel Serres elege a Primeira Revolução Industrial como elemento construtor de um elo nas transformações ocorridas entre os mundos representados pelos pintores.

Esse exemplo de interação entre a Ciência desenvolvida em um contexto histórico e sua representação nas Artes do período pode subsidiar aulas de Física que intentam discutir aspectos que motivaram o estudo das máquinas térmicas. Tal abordagem tem como intuito favorecer discussões que valorizem os conceitos científicos, bem como as dimensões socioculturais que compõe a construção da ciência.

Referências

ABRANTES, Paulo César Coelho. *Imagens de natureza, imagens de ciência*. São Paulo: Papyrus, 1998.

ALLCHIN, Douglas. *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. Saint Paul, MN: SHiPS Educational Press, 2013.

BORGES, Danielle Beatriz de Sousa. *A Construção de uma Abordagem Histórica para o Ensino de Termodinâmica*: Sadi

Carnot e o estudo da máquina térmica. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ensino e História das Ciências e da Matemática) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

_____.; FORATO, Thaís Cyrino de Mello. Sadi Carnot and the ideal steam machine: thermodynamics and the social, economic and political context in teacher education. In: IHPST THIRTEEN BIENNIAL INTERNATIONAL CONFERENCE, july 22-25 2015, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Rio de Janeiro: IHPST, 2015. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/ihpst2015/accepted-papers.html>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BRIDGEMAN IMAGES. *Mr Whitbread's Wharf (oil on canvas)*. 2016. Disponível em: <<http://www.bridgemanimages.com/en-GB/asset/4936/garrard-george-1760-1826/mr-whitbread-s-wharf-oil-on-canvas>>. Acesso em: 8 jul. 2016.

CARDWELL, Donald S. L. Power Technologies and the Advance of Science, 1700-1825. *Technology and Culture*, v. 6, n. 2, p. 188-207, 1965. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3101073>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

CARNOT, Nicolas Léonard Sadi. *Réflexions Sur la Puissance Motrice du Feu et Sur les Machines Propres a Développer Cette Puissance*. Paris: Chez Bachelier, 1824.

CASTIGNANI, Aristides. *Sadi Carnot e o Desenvolvimento Inicial da Termodinâmica Clássica*. 1999. 172 f. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 1999.

CERTEAU, Michel de. *A invenção do cotidiano: artes do fazer*. Petrópolis: Vozes, 1998.

CLAPEYRON, Émile B. Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur. *Journal de l'Ecole Royale Polytechnique*, cahier 23, p. 153-190, 1834.

FERREIRA, Fernando C. Arte: aliada ou instrumento no ensino de ciências? *Revista Arredia*, Dourados, v. 1, n. 1, p. 1-12, jul./dez. 2012.

GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Física e Arte: Uma Proposta para a Compreensão Cultural da Ciência. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, p. 1763-1766, 2009.

HESSON, Boris. As raízes sócio-econômicas dos *Principia* de Newton. In: GAMA, Ruy (Org.). *Ciência e Técnica*: antologia de textos históricos. São Paulo: T. A. Queiroz, 1993. p. 30-89.

HISTÓRIA DAS ARTES. Disponível em: <<http://www.historiadasartes.com/>>. Acesso em: 8 jul. 2016.

HOBBSAWM, Eric J. A Revolução Industrial. In: _____. *A era das revoluções: 1789-1848*. São Paulo: Paz e Terra, 2010. p. 57-97.

LECHTE, John. *Genealogy and Ontology of the Western Image and its Digital Future*. New York: Routledge, 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história da ciência e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. xvii-xxx.

MENDONZA, Eric (Ed.). *Reflections on the Motive Power of Fire by Sadi Carnot and other Paper on the Second Law of Thermodynamics by É. Clapeyron and R. Clausius*. New York: Dover Publications, 1988.

NATIONAL GALLERY. *The Fighting Temeraire* – 1839, Joseph Mallord William Turner. Disponível em: <<http://www.nationalgallery.org.uk/paintings/joseph-mallord-william-turner-the-fighting-temeraire>>. Acesso em: 8 jul. 2016.

OS GRANDES ARTISTAS. *Romantismo e Impressionismo*: Cézanne, Gauguin, Turner. 2. ed. São Paulo: Nova Cultural, 1991.

REIS, José Cláudio; GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco. Física e arte: a construção do mundo com tintas, palavras e equações. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 57, n. 3, set. 2005.

SERRES, Michel; BROWN, Catherine; PAULSON, William. Science and the Humanities: The Case of Turner. *SubStance*, v. 26, n. 2. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3684693>>. Acesso em: 5 mar. 2015.

SILVA, Ana Paula Bispo; FORATO, Thaís Cyrino de Mello; GOMES, José Leandro de A. M. Costa. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, p. 492-537, 2013.

SILVA, Djalma N. *A Termodinâmica no Ensino Médio*: ênfase nos processos irreversíveis. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

_____. *Ensino e Aprendizagem da Termodinâmica*: Questões Didáticas e Contribuições da História da Ciência. 2013. 250 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SNOW, Charles P. *The Two Cultures and The Scientific Revolution*. New York: Cambridge University Press, 1961.

TV ESCOLA 1. Disponível em: <<https://www.youtube.com/user/TVEscola1>>. Acesso em: 8 jul. 2016.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. 1989. 252 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

_____. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, Campinas, v. 17, n. 1, p. 39-58, 2006.