

**Universidade de São Paulo**  
**Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas**  
**Departamento de Filosofia**

**Projeto Pós-doutorado**  
**Epistemologia da representação na ciência:**  
**O poder heurístico das máquinas em Descartes, Carnot e Babbage.**

**Pesquisador: Jojomar Lucena da Silva**  
**Supervisor: José Raymundo Novaes Chiappin**

**I. Resumo**

Descartes simboliza, mais do que qualquer outro, não somente a ruptura com a forma tradicional de concepção e construção de conhecimento de sua época, como também põe as bases do novo projeto de ciência que vem a ser desenvolvido durante a modernidade. Nisso, contudo, ele não faz mais que reverberar insatisfações e ambições de seu tempo. Elementos e ideias valorizadas por nomes como Leonardo da Vinci, Galileo, Francis Bacon, etc encontram-se também em Descartes, matizados e inseridos no grande projeto da Mathesis universal.

Embora esse projeto tenha ruído e degenerado enquanto programa de pesquisa, a estrutura epistemológica criada continuou em operação, especialmente na Física, mas não exclusivamente. O objetivo dessa proposta de trabalho é evidenciar essa estrutura, especialmente através da noção de representação segundo Descartes, fazendo uso, para tanto, de uma linguagem mais própria da ciência da computação. Formulada essa noção, faz-se possível identificar a mesma estrutura em operação em vários campos. Por exemplo, podemos discernir como a evolução da termodinâmica consiste, na verdade, numa busca por representações que propiciam a matematização da teoria da máquina térmica e a incorporação de novos fenômenos.

A máquina como modelo epistemológico possui um papel central na construção e operacionalidade dessa noção de representação. Enquanto na termodinâmica, partindo da máquina térmica de Carnot, representada convenientemente, descobrem-se leis naturais expressas como relações matemáticas, o projeto da máquina de calcular de Babbage percorre a mesma via mas em sentido contrário: como relações matemáticas, representadas convenientemente, favorecem a intelecção de uma máquina mecânica de calcular: um recurso da matemática, a equação a diferença, serviu de inspiração e permitiu a materialização de sua máquina de calcular.

O vínculo entre matemática e mecânica estimulou Babbage a tentar outra aproximação: agora entre mecânica e economia política. O resultado é um princípio que complementa e pormenoriza a economia política clássica de Adam Smith fundamentada na divisão do trabalho, além de tornar explícita a dinâmica que conduz à mecanização (robotização, hoje!) dos processos de produção.

## II. Objetivos

O primeiro e principal objetivo do presente projeto é tanto particularizar essa noção de representação como um elemento essencial da ciência cartesiana e, por tabela, da ciência moderna, quanto identificar os elementos que a caracterizam.

Dado o papel das máquinas na Mathesis universalis cartesiana, faz-se factível decompor a noção de representação em mecanismo (máquina), linguagem e programa. Embora essa terminologia seja mais própria da ciência da computação, cujo nascimento, com Babbage, se dá quase dois séculos após a epifania intelectual do quarto aquecido de Descartes, na Alemanha (KOYRÉ, 1963, p. 43-44), não constitui, ao mesmo tempo, um anacronismo na medida em que a compreensão cartesiana da mente humana se dá segundo termos e analogias que permitem essa aproximação.

Embora o método seja tão celebrado em Descartes, nossa leitura é que o método, como remédio que nos cura da indecisão e da dúvida, estabelecendo a via que conduz à verdade (KOYRÉ, 1963, p. 49), opera no contexto de uma representação com características e recursos particulares.

De maneira análoga a como a máquina térmica de Carnot, representada adequadamente, propiciou a descoberta de relações específicas entre grandezas físicas (leis naturais expressas em linguagem matemática), no projeto de Babbage acontece um trabalho como de engenharia reversa. Para se determinar os valores de funções de maior interesse para a ciência por meio de uma máquina

mecânica, que, portanto, não pode outra coisa senão somar, uma representação conveniente para essas funções e um método que reduza seu cálculo a soma, faz-se necessário.

Enquanto na termodinâmica, a máquina constitui o modelo de onde as relações matemáticas na forma de leis da natureza são inferidas, no projeto de Babbage, a matemática, segundo uma representação específica em operação conforme um método concreto, permite a materialização de uma máquina mecânica de propósito geral. A noção de representação ilustra o papel de um espaço conceitual com recursos heurísticos para gerar conhecimento, para promover descobertas. Nesse sentido, a ideia de Babbage é extraordinária: ele visualiza o recurso heurístico de sua representação como sendo passível de mecanização.

### III. Enquadramento histórico conceitual da pesquisa

A obra de Descartes recolhe elementos prementes da cultura moderna que vinha sendo formada em seu tempo. Não há nada de excepcional nisso. Descartes, como cada ser humano, é também produto de seu meio. Ao mesmo tempo, poucos foram tão geniais no sentido de alterar o mundo em que viviam graças a suas concepções originais. Porém, suas contribuições originais ocorrem, via de regra, em conexão com ideias que vinham ganhando corpo desde o Renascimento. Duas dessas ideias merecem especial destaque: a concepção de ciência e o papel das máquinas. Embora possa parecer que essas temáticas constituam campos díspares, em Descartes, elas estão estreitamente ligadas.

Enquanto obra de várias mãos, a expressão da cultura moderna em formação deve ser buscada em aspectos comuns da reflexão de diversos autores, anteriores ou contemporâneos de Descartes e que são igualmente relevantes para a identificação desse período da História como um momento de ruptura. Analisaremos brevemente somente três – Leonardo da Vinci, Galileo Galilei e Francis Bacon –, destacando algumas de suas convergências e diferenças em relação a Descartes, especialmente em torno dos temas acima mencionados: a valorização das máquinas e o conceito moderno de ciência.

No grande domínio de produção de Leonardo da Vinci (1452-1519), a construção de máquinas autônomas – com destaque para o leão mecânico feito a pedido do papa Leão X para presentear o rei Francisco I, da França, e o autômato humanoide coberto com uma armadura medieval – e a percepção que a técnica deve ser guiada pela ciência caracterizam seja a primazia da ciência sobre outras formas de conhecimento<sup>1</sup>, próprio da modernidade, seja os primórdios de uma época das máquinas. De fato, três séculos depois, Carlyle retrata sua época como uma *Age of Machinery* em que as máquinas são vistas não somente como instrumentos de produção de bens ou transformação de matéria-prima, mas também como modelo epistemológico para a mecanização de fenômenos naturais, da vida biológica e mesmo da alma.

Como contraponto, a ciência medieval e renascentista é profundamente informada pela distinção entre técnica e ciência, fundamentada no fato que ciência investiga e descobre as leis da natureza, enquanto a técnica as aplica. Essa visão subjaz, por exemplo, a imagem forjada por Galileu (1564-1642) que “o universo (...) não pode ser compreendido a menos que primeiro aprendamos a linguagem no qual ele está escrito. Ele está escrito na linguagem matemática e os seus caracteres são o triângulo, o círculo e outras figuras geométricas, sem as quais é impossível compreender uma palavra que seja dele: sem estes, ficamos às escuras, num labirinto escuro” (GALILEI, 2020, p. 45). Aqui, Galileu entende que a natureza ou o universo tem algo a dizer. Contemporaneamente, a *praxis*

---

1 A famosa frase “[O]s que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino” ilustra à perfeição o papel de guia que a ciência moderna assume. Por ser guia, ela deve também ser autônoma e conduzir à verdade.

é, evidenciando a matemática como linguagem humana, que as figuras geométricas e outros recursos matemáticos descrevem ou modelam fenômenos físicos, sendo o substrato dos fenômenos (número kantiano) inacessíveis ao intelecto (POINCARÉ, 1913, p. 209). Contrariamente, a atitude renascentista compreende que a natureza tem algo a dizer, e este algo são suas leis, comunicadas ao homem em linguagem matemática, no caso das ciências naturais.

A natureza possui um conteúdo, cognoscível e imutável, reflexo da sabedoria e onipotência divinas. Embora a divindade por trás não necessite ser identificada com aquela cristã – doutrinas panteístas também cabem nesse diagnóstico –, a natureza é concebida como precha de conteúdo cognoscível com estatuto de lei e, portanto, como limite da ciência. Essa ordem natural desempenha um papel duplo: por um lado, constitui o limite à ciência e, dado seu conteúdo metafísico, rege a distinção entre ciência e técnica. Portanto, quando a noção de verdade absoluta rui – com a morte de seu garantidor (a morte de Deus de Nietzsche e os pós-modernos) –, tal noção de natureza também ruirá e com ela a ideia de natureza como limite à ciência e a própria distinção entre ciência e técnica (SEVERINO, 1995, p. 234-263).

Sem a natureza, a ciência torna-se técnica empregada na representação de fenômenos. E nisso, a matemática pura e a lógica, aliada aos processos de simulação e modelagem, constituem as ferramentas mais poderosas inventadas pela humanidade. Mas a compreensão e previsão que daí derivam corresponderiam mais bem a uma concepção instrumentalista da ciência, bem diferente daquela que ocupava o imaginário dos cientistas do início da idade moderna.

Contudo, no pensamento de Descartes, a relação ciência e técnica já se encontra veladamente problematizada. Embora ele pretenda reger a técnica segundo a compreensão tradicional, sua ciência não consiste mais no reconhecimento da impronta divina na natureza, no desvelamento dos segredos da natureza. O sujeito cartesiano não é mais capaz disso. Cognitivamente, ele não tem mais acesso às essências das coisas. As ideias a respeito da realidade que o ser humano tem em sua mente são representações construídas e passíveis de serem reconstruídas caso se obtenha ferramentas melhores. A noção de representação é fundamental para Descartes e para a ciência a partir dele.

A verdade como correspondência entre a realidade e a mente é posta em segundo plano para se enfatizar a certeza dentro de um sistema de representação. Nisso a matemática possui um papel primordial. “O espírito do raciocínio matemático, diferente do raciocínio silogístico ou lógico, consiste no fato do matemático, quaisquer que sejam os objetos particulares do seu estudo, uma equação algébrica ou uma construção geométrica, tentar estabelecer entre eles relações ou proporções precisas e religá-las por séries de relações ordenadas” (KOYRÉ, 1963, p. 53-4). Sendo postas pela experiência, essas relações são justificadas pela mente humana; são, portanto, construções artificiais. É a imaginação a única a limitar as possibilidades de justificação dessas relações.

Dessa perspectiva, a geometria clássica fornece uma série de recursos para construção dessas relações. A relação entre a hipotenusa e os catetos num triângulo retângulo; a relação entre ângulos segundo o teorema de Thales; a relação de proporcionalidade, etc. E essas possibilidades são ampliadas em Descartes. A razão disso é bem simples: é ele quem desenvolve um conjunto de regras de tradução da geometria para a álgebra e vice versa. Trata-se da geometria analítica. Essa nova ferramenta é revolucionária.

Enquanto em Galileu, os caracteres geométricos eram identificáveis diretamente na natureza: os círculos, elipses e parábolas correspondem às curvas descritas por corpos no espaço físico, a geometria analítica viabiliza a criação de espaços não físicos – chamados no contexto da física matemática de espaços de configuração ou espaços de fase – e, portanto, a investigação de

fenômenos naturais em espaços adequadamente construídos. A multiplicação de espaços amplia as possibilidades de se encontrar leis que relacionam as grandezas que descrevem determinado fenômeno. Outro salto de possibilidades ocorre quando, ao se analisar as máquinas autônomas, se propõe que as relações entre grandezas seja regida por mecanismos

Descartes (1596-1650), particularmente, vê máquinas autônomas por todas as partes: em praças, catedrais, oficinas, etc. A mecanização cartesiana, entendida à primeira vista como redução de tudo a corpúsculos em movimento, tem, na verdade, o intuito de reproduzir a realidade segundo o modelo geral das máquinas, a saber, partes simples que se movimentam e transmitem movimento segundo regras anteriormente estabelecidas.

Descartes ousou conceber os animais, assim como o corpo humano, como máquinas formadas da combinação de máquinas básicas. O relógio não é apenas uma metáfora, mas uma representação para esse universo máquina. Galileu e Descartes propuseram, com outros, as primeiras teorias das máquinas como aplicação de princípios físicos, as quais são decompostas em máquinas mais simples, como o parafuso, a cunha, o plano inclinado, a roda, o eixo e a polia: “Se, por um lado, o corpo é reduzido a uma máquina, por outro, o espírito é reduzido a um procedimento metódico, regular e, por conseguinte, análogo a um mecanismo, no caso de tomar decisões com o ideal de funcionar como um algoritmo” (CHIAPPIN, LUCENA & LEISTER, 2020, p. 24).

Finalmente, na emergência da cultura científica moderna, resta fazer um breve comentário sobre um último autor. Francis Bacon (1561-1626), especialmente em *Nova Atlantis*, chama a atenção para o fato que a nova ciência (indutivista) redundará em florescimento humano e melhoria das condições de vida, como aumento da expectativa de vida, diminuição da dor e da fadiga, cura de doenças e correção de defeitos orgânicos, ampliação das possibilidades físicas, etc. Nesse momento, é o fim que legitima a ciência como projeto social. Descartes também advoga pela ciência nesses termos mas desde uma perspectiva bem diferente. De fato, Bacon, diante do ceticismo reinante em sua época, propõe a experiência como remédio. “O *Novum Organum* não tem outra finalidade: à incerteza da razão entregue a si mesma opor a certeza da experiência ordenada” (KOYRÉ, 1963, p. 30). Entretanto,

“O empirismo puro não leva a nada. Nem mesmo à experiência. Porque toda experiência supõe uma teoria prévia. Interrogação da natureza, a experiência implica uma linguagem na qual seja formulada. E foi por não o ter compreendido e por ter querido seguir a ordem das coisas e não a das razões, tal como disse Descartes, que a reforma baconiana foi um fracasso. Foi por o ter compreendido e ter seguido o caminho inverso que a revolução cartesiana, que liberta a razão em vez a entrar, foi um sucesso” (KOYRÉ, 1963, p. 31)

É bem conhecido o debate a respeito da influência dos Exercícios Espirituais de Ignácio de Loyola, fundador dos jesuítas, sobre as *Meditações Metafísicas*, de Descartes. Embora não haja consenso sobre os detalhes e a natureza desse influxo (RAMÓN, 2010), em ambos se vislumbra uma intenção de salvação segundo a mesma estrutura: salvação – religiosa, no primeiro, epistemológica, no segundo –, manifesta no processo de descoberta do eu e de Deus como implicados na estrutura do pensar. Esse descobrimento não ocorre por dedução, mas sim no curso de um caminho que segue os passos de uma meditação clássica (KOSMAN, 1986, p. 39), onde o método funciona como remédio e antídoto, contra o erro moral ou pecado, em Ignácio, contra o erro epistemológico ou ceticismo, em Descartes.

Nesse contexto, as *Meditações metafísicas*, embora seja uma das primeiras obras de Descartes, revela uma estrutura constante na produção intelectual desse autor. Com a *Meditação* se espera suscitar no sujeito a experiência da iluminação intelectual, não um conhecimento demonstrativo; ela constitui “um caminho até as ideias inatas, cuja verdade se impõe por sua própria característica no momento em que são adequadamente enfocadas pelo olho desencarnado do intelecto” (RAMÓN, 2010, p. 991) através de uma intuição clara e distinta. Por isso a meditação cartesiana é um método

de descobrimento, não de demonstração; é um método analítico, não sintético, segundo terminologia do próprio autor.

Como exemplo, “o eu pensante é descoberto não por um raciocínio discursivo, e sim por iluminação a partir da *meditatio* que considera as imagens da sensação. A estrutura da meditação, portanto, não consiste num elemento adicional retórico, mas sim a maneira de entender a investigação filosófica...” (RAMÓN, 2010, p. 997). Após a descoberta do cogito, é hora de dirigir-se para o mundo externo. Nesse momento, duas condições determinam a natureza da investigação.

Primeiro, na forma de uma tese epistemológica, o cogito não captura diretamente as essências dos seres; o que ele faz é representá-los. Essa representação corresponde às ideias. “A radicalidade dessa proposta de Descartes é de que o cogito traz consigo, inerentemente, uma separação entre a representação, a qual está na mente, e a coisa representada, que está no mundo. Com o cogito, não há conhecimento direto das coisas, mas, apenas, de suas representações, as ideias” (CHIAPPIN, LUCENA & LEISTER, 2020, p. 24).

Segundo, o mundo e tudo que este contém é capturado pelo cogito como representação. De maneira semelhante a como a meditação constitui o método para acessar as ideias inatas no caso da filosofia primeira, funcionando como um espaço conceitual com recursos para resolução de problemas, nas várias ciências, um espaço conceitual com recursos heurísticos apropriados deve ser proposto (descoberto ou construído) para se chegar à iluminação e à descoberta das ideias claras e distintas, referentes aos diversos campos do saber. É precisamente essa semelhança metodológica entre qualquer área do conhecimento que incutiu em Descartes a certeza de uma ciência universal.

Em particular, Descartes define a nova ontologia da natureza como uma máquina eficiente, formada de massas e movimento, funcionando segundo leis de causalidade, e o indivíduo, como um agente racional, o cogito, que é quem constrói as representações mecânicas para a organização dos dados, por meio de relações funcionais causais, envolvendo espaço, tempo e massa, entre eles. O âmbito em que essa estratégia se mostrou mais frutuosa no projeto cartesiano foi a geometria.

Dados os problemas que ele pretendia solucionar, o procedimento foi criar um espaço apropriado, sua geometria analítica, que não só resolveu problemas que duravam séculos, mas sobretudo viabilizou representar curvas na forma algébrica. Esse é um ganho epistemológico extraordinário. A identificação desses dois espaços conceituais, a geometria e a geometria analítica, com seus recursos heurísticos próprios capazes ou não de resolver problemas é o principal fator que justifica a operacionalidade da noção de representação em Descartes.

Um dos fatores principais da valorização da aplicação da matemática no conhecimento da natureza é que se entendeu que esse processo de representação da natureza por modelos transformou-os num laboratório, permitindo a simulação e, assim, a reprodução, com cada vez mais propriedades, da própria natureza.

Em harmonia com a tese gnoseológica de que as ideias são representações, a compreensão do mundo (o homem incluso), com suas partes, mecanismos e leis, ocorre estabelecendo um espaço conceitual com recursos heurísticos no qual o problema em estudo é formulado e soluções buscadas. Dependendo dos recursos heurísticos disponibilizados, a solução é estabelecida com maior ou menor facilidade, consistência e universalidade. Introduzindo uma terminologia consonante com a epistemologia cartesiana, chamaremos esse espaço conceitual com recursos para resolução de problemas de representação.

A relação entre problema a resolver e representação é plena de matizes. Todo problema necessita de uma representação para ser formulado. Porém, não necessariamente essa representação viabiliza a

resolução do mesmo, pois os recursos disponibilizados por essa representação não atinam uma específica articulação dos conceitos que proporcione o encaminhamento da solução. O problema de Pappus é um bom exemplo disso. Sua formulação (ou formulações: há várias versões desse problema) não necessita mais que conceitos básicos da geometria clássica. Sua solução, no entanto, se dá somente quando Descartes o formula no espaço da geometria analítica que possui o recurso de expressar algebricamente conceitos geométricos, como pontos, retas e curvas. É nessa nova representação que o problema vem resolvido.

Desse modo testemunhamos a radicalidade e a ousadia do projeto da ciência moderna em sua vertente cartesiana. Efetivamente, “Descartes consolida filosoficamente, em suas obras, tanto a atividade científica da mecanização do espaço, tempo, matéria, como praticada por Galileu e ele mesmo, quanto a mecanização do espírito, com sua proposta, com o cogito, um agente racional, de que o mundo é sua construção artificial” (CHIAPPIN, LUCENA & LEISTER, 2020, p. 24).

A inteligência, enquanto razão, adquire uma dimensão mecânica. “A construção de máquinas autônomas, como o flautista, o leão de Da Vinci e, depois, as máquinas têxteis por cartões perfurados, com o formato de máquinas programadas, representa uma espécie de racionalidade realizada” (CHIAPPIN, LUCENA & LEISTER, 2020, p. 24).

A ciência moderna tem por objeto o natural em suas várias áreas – do movimento físico ao movimento biológico que chamamos de vida –, porém representado por modelos, estruturas e espaços artificiais, criação humana, por isso ciência do artificial.

A construção da noção de representação em Descartes deriva de sua concepção da natureza do conhecimento e do papel das máquinas para a compreensão da natureza, dos corpos e da mente humana. Por sua vez, a fecundidade dessa noção são comprovados, ainda em Descartes, em dois momentos-chaves de seu pensamento: na descoberta do cogito e na Geometria. Especialmente nessa última, e obras afins, é possível testemunhar a conexão entre representação e recursos heurísticos com os quais problemas são formulados e eventualmente resolvidos. Nesse cenário, o modo como Descartes vê que as curvas podem ser representadas – por gênese, por curva e por equação – ilustra bem como as ferramentas epistemológicas primordiais, as máquinas, na geometria dos antigos, são absorvidas ou incorporadas à geometria analítica, que é uma representação abstrata.

Na geometria clássica, as máquinas colaboram para a construção de curvas. Descartes reconhece um papel central dessas máquinas não somente para a imaginação na medida em que dão forma material a essas curvas, mas sobretudo para a razão, enquanto permite a detecção dos passos e da ordem que leva do ponto inicial, pura potência geométrica, para a curva definida, com sua força de ato apreciável pelo sentido da visão.

À medida que o espaço físico perde relevância para a geometria, essas máquinas deixam de ser mencionadas. Elas perdem sua função. Porém, como a geometria analítica, enquanto representação, foi construída a partir da geometria dos antigos, as máquinas, empregadas nesta, se transformam em recursos heurísticos naquela. Essa transição de máquina entendida como recurso produtivo para recurso heurístico é o primeiro passo na busca por representações abstratas capazes de absorver adequadamente problemas.

A formulação matemática abstrata é raramente a primeira versão que um problema original recebe no âmbito da Física clássica. Até aquela, um longo caminho deve ser percorrido. E há muito a se ganhar sobre a compreensão do trabalho do cientista – e sobre a história da ciência indissociável deste – ao se explicitar esse processo.

#### **IV. A noção de representação como um referencial teórico metodológico**

A construção da noção de representação nos moldes pretendidos nesse projeto abre um horizonte de aplicações ainda pouco explorado, na forma de um referencial teórico metodológico para reconstrução da história de disciplinas com características semelhantes à proposta por Lakatos.

Entre as várias possibilidades no campo da Física, dando sequência a uma série de artigos já publicados, a termodinâmica é uma das áreas em que a aplicação dessa noção acaba por revelar um fio condutor que acompanha várias das principais teorias desse campo desde Carnot até Gibbs, passando por Clapeyron, Clausius, William Thomson, Maxwell e James Thomson.

A ideia, nesse percurso, é mostrar como a teoria de Carnot da máquina térmica ideal – portanto não implementável – estabelece esse campo da física como ciência, sendo sua máquina térmica reversível o modelo primordial que vem alternativamente representada por vários dos autores citados no parágrafo anterior. A máquina térmica de Carnot é representada diagramaticamente por Clapeyron, Clausius, William Thomson e Maxwell dando origem a leis fundamentais e experimentais diferentes à medida que recursos heurísticos são descobertos ou associados a essa representação. Aqui se destacam as duas leis fundamentais da termodinâmica, a equação de Clapeyron-Clausius, as relações de Maxwell e a dependência da pressão para a ebulição da água.

Contudo, a descoberta dos pontos críticos, por Thomas Andrews, exige um exame sobre o poder das representações diagramáticas para a incorporação desse novo fenômeno à termodinâmica. Esse exame é realizado veladamente por James Thomson e explicitamente por Gibbs. O resultado é a verificação da necessidade de uma representação com recursos mais poderosos, a qual, porém, devia ser construída, de maneira análoga a como Descartes construiu a geometria analítica. O que Gibbs faz é construir uma nova geometria: uma geometria diferencial, distinta da Riemanniana, e que acabou sendo usada regularmente na Física, especialmente no eletromagnetismo.

Essa sequência de trabalhos, embora guiado pela noção de representação desenvolvida no contexto da epistemologia cartesiana, desvela como as máquinas, enquanto modelo, podem gerar conhecimento na forma de leis naturais fundamentais e experimentais. Esse fato, em si extraordinário, traduz bem a expectativa cartesiana de que a reflexão sobre as máquinas teria muito a contribuir para todas as formas de conhecimento: “os erros em filosofia tem sua origem em não se pensar suficientemente a respeito das máquinas”. A máquina térmica reversível inaugura uma via que conduz, com a intervenção de representações apropriadas, a um conjunto bem específico de relações entre grandezas físicas (leis naturais) na forma de equações matemáticas.

Na mesma época, Babbage tem em mãos um problema semelhante ao de Carnot. Ele também deseja construir uma máquina, mas uma máquina de calcular. Nesse momento, a eletricidade e os conhecimentos afins a essa área ainda não constituía uma opção para a realização desse projeto. A máquina, então, devia ser mecânica. Há muitas dificuldades para levar essa tarefa a cabo. Tanto é assim que Babbage não a finalizou. O atraso em entregar resultados e a grande dimensão que o projeto assumia, acarretou a não renovação do financiamento governamental. Ele faleceu sem a ver em funcionamento. Somente em 1991, sua máquina de calcular foi finalizada, segundo o projeto original, embora se tratasse do projeto revisado e melhorado pelo próprio autor.

Trata-se de uma máquina de propósito múltiplo e necessitada de programação. É chamada máquina a diferença (difference engine). O nome advém do fato que o método matemático em que se fundamenta sua operação, método das diferenças finitas, permite determinar o valor de qualquer polinômio somente através de somas. Como se sabia, desde Brook Taylor (1685-1731), que qualquer função pode ser expressa por uma série, tabelas matemáticas de seno, cosseno, tangente e logaritmo poderiam ser montadas através desse estratagema.



Porém, ele irá além e mostrará que a própria economia política pode e deve ser repensada a partir dessa experiência. E ele o faz através de uma compreensão mecanicista da divisão do trabalho conforme a clássica elaboração apresentada em *A riqueza das nações*. Nessa obra, Adam Smith defende que “divisão do trabalho, na medida em que pode ser introduzida, gera, em cada ofício, um aumento proporcional das forças produtivas do trabalho. A diferenciação das ocupações e empregos parece haver-se efetuado em decorrência dessa vantagem” (SMITH, 1988, p. 18). Embora nos pareça hoje amedrontadora e desumana, implementar a observação de Smith e conduzi-la até suas últimas consequências, a saber, “a divisão do trabalho, reduzindo a atividade de cada pessoa a alguma operação simples e fazendo dela o único emprego de sua vida, necessariamente aumenta muito a destreza do operário” (SMITH, 1988, p. 19), promete o aumento da produção de riqueza e a distribuição desta pela estrutura da sociedade comercial, visto que cada indivíduo torna-se, de certo modo, comerciante ao cambiar o produto de seu próprio trabalho pelos produtos ou serviços de outros via moeda.

Babbage, por sua vez, como superintendente do projeto de criação da máquina de calcular, visitou oficinas, manufaturas e indústrias por toda a Europa que empregavam diversos tipos de máquina na consecução de seus objetivos, estudando e descobrindo os princípios relacionados a elas. Nesse cenário é que ele se interessa também pela economia política, campo que ele vê em estreita relação com a ciência das máquinas (BABBAGE, 2009, p. iv-v).

Com comparável euforia que alguns personagens do início da idade moderna, Babbage, em *On the economy of machinery and manufactures*, traça as causas e as consequências da aplicação de maquinarias para substituir as qualidades e o poder dos braços humanos (BABBAGE, 2009, p. 1). Curiosamente, embora estivesse envolvido diretamente no projeto do primeiro computador analógico, ele não chama a atenção, já nesse momento, que as máquinas tem o potencial, enquanto modelo de compreensão do mundo, de incrementar a qualidade e o poder da mente humana, como o fizera o visionário Descartes.

Babbage tem o cuidado de distinguir ferramenta (tool) e máquina (machine), afirmando que as primeiras são simples e geralmente manuseadas pela mão, enquanto as máquinas são mais complexas, combinações de várias ferramentas, e são movidas por animais ou pela força do vapor. Em Descartes, essa distinção inexistente. Qualquer ferramenta, por mais simples que seja – como um régua ou um compasso –, é uma máquina

Na parte inicial dessa obra, Babbage se concentra em descrever os princípios mecânicos relacionados às máquinas empregadas nas indústrias. Na segunda parte, a intenção do autor é mostrar como esses princípios estão associados a princípios da economia: “os princípios econômicos que regulam a aplicação de máquinas e que governam o interior de todas nossas grandes indústrias são tão essenciais à prosperidade de um grande país comercial quanto são os princípios mecânicos” (BABBAGE, 2009, p. 98).

Os princípios econômicos mencionados acima parecem constituir um conjunto separado e independente de conhecimento em confronto com os princípios mecânicos. Mas não é bem assim. Enquanto os princípios mecânicos determinam as características físicas (forma, dimensão, rigidez, etc) conforme a função, força e velocidade com que certa ferramenta deve operar, os princípios econômicos impõem que a força seja a mínima e a velocidade a máxima possível na busca da minimização do tempo de produção. Nesse sentido, não constituem conjuntos separáveis de princípios: são faces diferentes da mesma moeda. A maneira de conferir a confluência desses princípios é sob a ótica da divisão do trabalho. É a partir daí, de fato, que ocorrem insights sobre ferramentas e máquinas a construir:

“Quando cada processo pelo qual qualquer artigo é produzido é a ocupação exclusiva de um indivíduo, toda a sua atenção sendo dedicada a uma operação muito limitada e simples, qualquer melhoria na forma de suas ferramentas, ou no modo de usá-las, é muito mais provável de ocorrer em sua mente do que se fosse distraído por uma variedade maior de circunstâncias. Essa melhoria na ferramenta geralmente é o primeiro passo para uma máquina” (BABBAGE, 2009, p. 135).

A percepção da conveniência de ferramentas e máquinas é mais natural a mãos e mentes inseridas na divisão do trabalho. Nisso, o trabalhador de operação talvez tenha algo a contribuir. Contudo, essas ferramentas e máquinas, concebidas a partir da compreensão específica de cada unidade do processo de produção, tornam-se objeto de estudo de mãos e mentes que buscam controlar e operacionalizar o processo em seu conjunto. Isso é igualmente consequência da divisão do trabalho. Para estes, outros hábitos são requeridos para combinar numa única máquina todas essas artes dispersas (BABBAGE, 2009, p. 136). O sujeito que reúne esses hábitos além, óbvio, de conhecimentos relativos às unidades do processo, com suas ferramentas e máquinas, vem a ser um trabalhador de um nível superior, mestre da manufatura, muito mais difícil de se substituir nessa linha de produção.

O princípio econômico que Babbage propõe como complemento ao princípio da Economia política de Adam Smith exige a intervenção de tal agente, o mestre da manufatura, que imprime certa racionalidade ao processo na medida que discerne a quantidade de recursos humanos a ser empregada em cada unidade de produção e em suas concatenações. Com palavras do próprio autor:

“Que o mestre fabricante, dividindo o trabalho a ser executado em diferentes processos, cada um exigindo diferentes graus de habilidade e força, pode comprar exatamente a quantidade precisa de ambos necessária para cada processo; considerando que, se todo o trabalho for executado por um trabalhador, essa pessoa deve possuir habilidade suficiente para 'executar a mais difícil e força suficiente para executar a mais trabalhosa das operações em que a arte é dividida” (BABBAGE, 2009, p. 137).

Outra coisa que não seja a observação desse princípio constitui um desperdício de trabalho, portanto de riqueza. Impossível não recordar da observação análoga feita por Carnot no contexto da geração de força motriz pela máquina térmica.

Esse processo deve ser então planejado e dirigido de maneira semelhante a como as máquinas devem ser planejadas e dirigidas a um propósito específico. No limite, a produção de riqueza, segundo a divisão do trabalho, que constitui a lógica da Economia (princípio fundamental da economia política), deve seguir o modelo de uma máquina autônoma. Um pouco mais de 50 anos após a publicação de *A riqueza das nações*, de Adam Smith, Babbage faz dessa obra uma leitura que revela bem o impacto geral que a multiplicação das máquinas gerou na consciência da época. Basta recordar do *Age of machinery* de Carlyle, contemporâneo de Babbage. está claro que os benefícios da divisão do trabalho não se aplicam somente à produção de bens materiais:

“Já mencionamos o que talvez possa parecer paradoxal para alguns de nossos leitores - que a divisão do trabalho pode ser aplicada com igual sucesso às operações mentais e que garante, por sua adoção, a mesma economia de tempo. Um breve relato de sua aplicação prática, na mais extensa série de cálculos já executados, oferecerá uma ilustração interessante desse fato, ao mesmo tempo em que proporcionará uma ocasião para mostrar que os arranjos que devem regular a economia interna de uma manufatura, são fundados em princípios de raízes mais profundas do que se poderia supor, e são capazes de serem empregados de forma útil na pavimentação do caminho para algumas das investigações mais sublimes da mente humana” (BABBAGE, 2009, p. 153).

Exemplo de como a divisão do trabalho conduz à economia de tempo mental é, novamente, sua máquina de calcular. E é devido a essa aplicação da divisão do trabalho ao trabalho mental que é viabilizada a materialização da máquina a diferença. Ao mesmo tempo, isso se constitui em princípio da economia: “Vimos, então, que o efeito da divisão do trabalho, tanto nos processos mecânicos quanto nos mentais, é que ela nos permite comprar e aplicar a cada processo

precisamente a quantidade de habilidade e conhecimento que é necessário para isso.” (BABBAGE, 2009, p. 162).

Extrapolando esse princípio de Babbage para a sociedade enquanto máquina produtora, abre-se uma alternativa a Adam Smith e sua política do *laissez faire*, segundo a qual as unidades de produção devem agir movidas somente por seu próprio interesse uma vez que uma mão invisível as coordena, reconduzindo cada um dos agentes que formam o mercado ao equilíbrio. A leitura de Babbage, fortemente marcada pelo papel e contribuição das máquinas na produção, admite a necessidade de intervenção de um agente com capacidade suficiente para ordenar todo o processo. E essa ordem, recorrendo a Descartes, se dá de tal modo que cada termo (agente) depende do que o precede, e determina, por sua vez, aquele que o segue.

No limite, essa alternativa proposta por Babbage conduz à ideia de planificação, seja para a produção de algum item em particular, seja para a capacidade de produção atual de uma sociedade, seja em vista da ampliação da extensão do mercado. Explorar a consistência e o alcance dessa leitura, aproximando-a e comparando-a com leituras marxistas constitui o derradeiro ato desse projeto. Por isso, detalhes dessa pesquisa e dos resultados pretendidos serão informados no final do primeiro ano de trabalho.

## **V. Metodologia**

O estudo dos temas propostos ocorrerá a partir da bibliografia básica, disponível abaixo, centrando-se em autores como Descartes, Carnot, Gibbs e Babbage, não se limitando, porém, a eles. Dada a transversalidade do tema, uma bibliografia auxiliar ampla, que contemple desde obras clássicas a teses recentes, faz-se imprescindível. Na primeira fase da pesquisa, enquanto realizamos uma reconstrução racional da termodinâmica, nosso trabalho é profundamente influenciado pela metodologia dos programas de pesquisa, de Lakatos, enriquecida pela metodologia da teoria da ciência, de Chiappin. Nessa etapa, é imperioso expor esse processo em dois trabalhos: o primeiro se refere à descoberta e aos resultados experimentais de Thomas Andrews com as tentativas de teorização formuladas por James Thomson (Artigo 1); o segundo pretende detalhar o esforço de Gibbs para construir uma representação capaz de absorver esse novo fenômeno, o que exige uma profunda reformulação da termodinâmica (Artigo 2).

Após essa fase, a ideia da máquina como modelo epistemológico em Descartes e na Termodinâmica estará suficientemente desenvolvida e, assim, alguns temas referentes à filosofia da técnica ou tecnologia serão chamados em voga para enriquecer e desvelar desdobramentos filosóficos e históricos da pesquisa realizada num cenário mais restrito, como é o caso da primeira fase da presente pesquisa. Tomaremos de Emanuele Severino, um autor ainda pouco nomeado no meio acadêmico brasileiro, noções e processos para ampliar o alcance dos resultados obtidos na primeira fase.

Esse refinamento filosófico faz-se necessário para abordarmos a temática em torno a Babbage, não apenas para que seu projeto da máquina de calcular seja metodologicamente bem capturado, mas sobretudo porque, ao abordar a economia política desse autor, a intermediação das máquinas para a reformulação da divisão do trabalho de Smith seja corretamente avaliado. Aqui também almejamos publicar os resultados do estudo em dois artigos. O primeiro referente à máquina de calcular (Artigo 3) e o segundo para abordar o papel das máquinas na economia política (Artigo 4).

## **Plano de trabalho e cronograma**

Para realizar o projeto proposto segundo a metodologia apenas detalhada, pretendemos, a partir do momento da oficialização institucional do mesmo, seguir o seguinte cronograma:

Período da Pesquisa	Atividade	Resultado
Meses 1 e 2	Revisão da obra de Descartes e construção da noção de representação segundo uma terminologia da ciência da computação.	
Meses 3 e 4	Reorganização dos trabalhos de Carnot e Gibbs segundo a noção de representação.	*Submissão do Artigo 1 (ver seção V).
Meses 5 e 6	Estudo pormenorizado da obra de Gibbs.	*Submissão do Artigo 2 (ver seção V).
Meses 7 e 8	Estudo das principais obras de Babbage e bibliografia associada a esse autor.	
Meses 9 e 10	Escrita do artigo referente ao método da diferença finita e o poder heurístico do mesmo para a concepção da máquina de Babbage.	*Direção de seminários de leitura e pesquisa (Temática a definir).
Meses 11 e 12	Aproximação entre Adam Smith e Babbage: as máquinas e a economia política.	*Submissão do artigo 3 (ver seção V).
Meses 13 e 14	A epistemologia das máquinas: o caso da economia política (eventual estágio no exterior).	
Meses 15 e 16	A epistemologia das máquinas: o caso da economia política (eventual estágio no exterior).	
Meses 17 e 18	A epistemologia das máquinas: o caso da economia política (eventual desenvolvimento dessa etapa da pesquisa no exterior).	
Meses 19 e 20	Escrita do artigo referente à aproximação entre Smith e Babbage, a reformulação de aspectos da economia política sob a ótica das máquinas como modelo epistemológico.	*Organização de conferências e participação em eventos temáticos referentes à pesquisa sobre economia política.
Meses 21 e 22	Escrita do artigo referente à aproximação entre Smith e Babbage, a reformulação de aspectos da economia política sob a ótica das máquinas como modelo epistemológico.	*Submissão do artigo 4 (ver seção V).
Meses 23 e 24		Relatório final de atividades.

\* Essas atividades e/ou resultados podem ter sua oferta ou publicação remanejada segundo os interesses da instituição e a disponibilidades de nossos colaboradores.

## **Bibliografia**

BABBAGE, C. (2009). *On the economy of machinery and manufactures*. Cambridge: Cambridge University Press.

BACHELARD, G. (2002). *The formation of the scientific mind: a contribution to a psychoanalysis of objective knowledge*. Manchester: Clinamen Press.

- BACON, F. (2007). *O progresso do conhecimento*. São Paulo: Editora Unesp.
- BACON, F. (2014). *Novo órganon*. São Paulo: Edipro.
- BURNETT, D. G. (2005). *Descartes and the hyperbolic quest: Lens making machines and their significance in the Seventeenth Century*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- CARLYLE, T. (2019). *The signs of the times*. 1829. Disponível em: <https://pdcrodas.webs.ull.es/anglo/CarlyleSignsOfTheTimes.pdf>. Acesso em: 23/set./2019.
- CARNOT, S. (2005). *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance*. Paris: Éditions Jacques Gabay.
- CHIAPPIN, J.R.N. (2009). Uma Reconstrução Racional da Concepção Popperiana da Ciência: O Racionalismo Crítico como um Termo Médio entre o Dogmatismo e o Relativismo. *Khronos: Revista de História da Ciência* 1: 10-25.
- CHIAPPIN, J.R.N. (2013). A concepção metafísica de Descartes da ciência e da representação mecanicista da natureza. *Discurso* 43: 253-287.
- CHIAPPIN, J.R.N. (2013a). A matematização da natureza e os fundamentos filosóficos da mecânica. *Argumentos: Revista de Filosofia* 10: 167-192.
- CHIAPPIN, J.R.N.; LUCENA, J.; LEISTER, C. (2020). Inteligência artificial: da mecanização da matéria e do espírito ao desenho e construção científica de máquinas e algoritmos, e do Estado moderno como máquina. *Revista USP*. 21-36. 10.11606/issn.2316-9036.v0i124p21-36.
- CLAUSIUS, R. (1868). *The mechanical theory of heat, with its applications to the steam-engine and to the physical properties of bodies*. London: John Van Voorst, 1 Paternoster Row. MDCCCLXVII.
- DESCARTES, R. (1824). *Traité de la mécanique*. Disponível em: [https://fr.wikisource.org/wiki/Traité\\_de\\_la\\_mécanique](https://fr.wikisource.org/wiki/Traité_de_la_mécanique). Acesso em: 20/dez./2019.
- DESCARTES, R. (1902). *Oeuvres de Descartes VI: Discours de la méthode & essais*. Paris: Charles Adam & Paul Tannery.
- DESCARTES, R. (2005). *Meditações metafísicas*. São Paulo: Martins Fontes.
- GALILEI, G. (1638). *Duas novas ciências, incluindo: Da força de percussão*. São Paulo: Chec Editorial-Institutuo Cultural Ítalo-Brasileiro-Nova Stella.
- GALILEI, G. (2011). *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* (Tradução e revisão de Pablo Rubén Mariconda). São Paulo: Editora 34.
- GALILEI, G. (2020). *Il saggliatore*. Versão na internet: [https://www.liberliber.it/mediateca/libri/g/galilei/il\\_saggiatore\\_mascardi/pdf/galilei\\_il\\_saggiatore.pdf](https://www.liberliber.it/mediateca/libri/g/galilei/il_saggiatore_mascardi/pdf/galilei_il_saggiatore.pdf)
- GIBBS, J.W. (1931). *The collected works of J. Willard Gibbs* (v. I.). New York: Longmans, Grenn and Co.

KOSMAN, L.A. (1986). The naive narrator: meditation on Descartes' Meditations. *Essays on Descartes' Meditations*. Berkeley: University of California Press, p. 21-43.

KOYRÉ, A. (1963). *Considerações sobre Descartes*. Lisboa: Editorial Presença.

LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge: Cambridge University Press.

LARANJEIRAS, C.C.; LUCENA, J.; CHIAPPIN, J.R.N. (2020). Boltzmann and the heuristics of representation in statistical mechanics. *Transversal: international journal for the historiography of science* 72. 10.24117/2526-2270.2020.i8.07.

LUCENA, J.; CHIAPPIN, J.R.N. (2017). A geometria como instrumento heurístico da reformulação da termodinâmica na representação de ciclos para a de potenciais. *Principia* 21. 291-315. 10.5007/1808-1711.2017v21n3p291.

LUCENA, J.; LARANJEIRAS, C.; CHIAPPIN, J.R.N. (2018). Gibbs' rational reconstruction of thermodynamics according to the heuristic tradition of Descartes' analytical method. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 41. 10.1590/1806-9126-rbef-2018-0012.

POINCARÉ, H. (1913). *The foundation of science*. New York: Science Press.

RAMÓN, S.R. (2010). Las raíces ignacianas de Descartes. Estado de la cuestión. *Pensamiento*, vol. 66, n. 250, p. 981-1002.

ROMANO, R.M. (1982). The Economic Ideas of Charles Babbage. *History of Political Economy*, 14(3): 385-404.

ROSENBERG, N. (1994). Charles Babbage: Pioneer Economist. *Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History*. Cambridge: Cambridge University Press: 24-46.

SEVERINO, E. (1995). *Essenza del nichilismo*. Milano: Adelphi Edizioni.

SMITH, A. (1988). *A riqueza das nações*, vol. 1. São Paulo: Nova Cultura, coleção 'Os Economistas'.