

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## Como a Física mudou: uma história de modelos, testes e revoluções

Quando olhamos para trás na história da Física, é tentador imaginar uma linha reta: um cientista descobre algo, o conhecimento avança, e assim seguimos até o presente. A história real é mais interessante — e mais honesta — do que isso.

A Física não nasceu pronta. Ela foi construída por sucessivas gerações de pessoas que propuseram modelos, testaram esses modelos contra a natureza e os corrigiram, limitaram ou substituíram quando as evidências pediam. Como vimos no primeiro capítulo desta trilha, um modelo físico não precisa ser uma verdade absoluta para ser útil — precisa apenas descrever a realidade com precisão suficiente dentro de um domínio conhecido.

Vamos percorrer essa história em quatro movimentos: primeiro, como diferentes civilizações aprenderam a observar a natureza; depois, como leis matemáticas passaram a descrever o movimento; em seguida, como o conceito de campo foi desenvolvido e os limites da física clássica começaram a aparecer; e, por fim, como a relatividade e a teoria quântica reformularam nossa compreensão da realidade.

## PARTE 1 — APRENDER A OBSERVAR

## ANTES DA FÍSICA MODERNA: OBSERVAR, CALCULAR E EXPLICAR

Muito antes de existir algo parecido com o método científico, diferentes civilizações já desenvolviam formas sofisticadas de observar e prever fenômenos naturais. Vale diferenciar os tipos de conhecimento que conviviam nessas sociedades.

Explicações religiosas e mitológicas davam sentido a fenômenos como trovões, eclipses e estações do ano atribuindo-os à vontade de divindades — não eram testáveis, mas cumpriam um papel cultural e explicativo importante.

Conhecimentos técnicos e matemáticos eram desenvolvidos com finalidades práticas e se mostravam funcionais mesmo sem uma teoria explicativa por trás. Os egípcios desenvolveram técnicas avançadas de construção, medição, transporte de materiais e controle das águas do Nilo. Na China antiga, astrônomos documentaram sistematicamente eventos celestes e, mais tarde, observações sobre magnetismo. Na Índia antiga, matemáticos e astrônomos desenvolveram sistemas numéricos avançados e modelos astronômicos próprios.

Ao longo de muitos séculos, os babilônios registraram posições de estrelas, planetas e eclipses. Esses registros permitiram reconhecer regularidades e, posteriormente, prever determinados fenômenos celestes.

Essas práticas ainda não constituíam o método científico moderno tal como o entendemos hoje. A ciência moderna surgiria gradualmente da combinação e transformação dessas práticas, incorporando novas formas de experimentação, matematização, comunicação pública e verificação dos resultados — não como a adição de um único ingrediente, mas como uma transformação lenta e cumulativa.



## SOBRE O AUTOR

Ricardo Ribas é professor e apaixonado pelo ensino de ciências. Formado em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), além de Licenciatura em Física e Licenciatura em Química, ambas pelo Centro Universitário Unifatecie (Paranavaí-PR)



# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## DA FILOSOFIA NATURAL ÀS PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES SISTEMÁTICAS

Na Grécia antiga, pensadores como **Tales de Mileto** (c. 624-546 a.C.) passaram a formular também explicações baseadas em elementos e processos da própria natureza, sem depender exclusivamente de narrativas mitológicas — as duas tradições continuariam convivendo por muito tempo, sem uma substituição imediata.



**Tales de Mileto**



**Aristóteles**

**Aristóteles** (384-322 a.C.) levou esse projeto adiante, construindo um sistema abrangente sobre movimento, matéria e causalidade. Sua física permaneceu influente por quase dois mil anos — e não apenas por autoridade. Ela oferecia um sistema coerente, compatível com muitas observações cotidianas disponíveis naquela época: objetos pesados realmente parecem cair mais rápido no ar do que objetos leves, por exemplo. Só séculos depois ficaria claro que esse sistema tinha limites sérios quando testado com mais rigor.

## CIÊNCIA NÃO É OBRA DE GÊNIOS ISOLADOS

Um erro comum ao contar essa história é imaginar um único pensador revolucionando tudo sozinho. Na prática, cada avanço se apoiou em conhecimentos técnicos, observações e debates já em curso havia séculos — um padrão que vai se repetir do início ao fim deste capítulo.

Entre a Grécia antiga e a Europa da Revolução Científica, o conhecimento não ficou parado. Um elo importante veio do mundo islâmico medieval: **Ibn al-Haytham** (c. 965-1040) estudou óptica de forma sistemática e é considerado por muitos historiadores um precursor do método empírico — insistia que ideias sobre a luz e a visão deveriam ser testadas por experimentos controlados, não apenas argumentadas. Suas obras influenciaram cientistas europeus séculos mais tarde.



**Ibn al-Haytham**

### SOBRE O AUTOR

Ricardo Ribas é professor e apaixonado pelo ensino de ciências. Formado em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), além de Licenciatura em Física e Licenciatura em Química, ambas pelo Centro Universitário Unifatecie (Paranavaí-PR)



# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## PARTE 2 — CONSTRUIR LEIS PARA O MOVIMENTO COPÉRNICO, KEPLER E UMA NOVA ORGANIZAÇÃO DO COSMOS

Por muito tempo, o modelo aceito colocava a Terra parada no centro do cosmos conhecido, com o Sol, a Lua e os planetas girando ao seu redor. Em 1543, Nicolau Copérnico apresentou um sistema no qual a Terra se movia ao redor do Sol, assim como os demais planetas. A Terra deixava de ocupar uma posição imóvel e central.

Vale notar que o sistema copernicano preservava diversos elementos da astronomia antiga, como órbitas circulares e uma estrutura geométrica bastante complexa. Foi um passo decisivo, não uma solução completa e imediatamente mais precisa.



O restante da história aconteceu em cadeia. Tycho Brahe, no fim do século XVI, coletou décadas de observações astronômicas extraordinariamente precisas a olho nu, antes mesmo da invenção do telescópio. Usando esses dados, Johannes Kepler descobriu, entre 1609 e 1619, que os planetas não descrevem círculos, e sim elipses, e formulou três leis matemáticas que descreviam o movimento planetário com muito mais exatidão. Cada elo dessa corrente dependeu do anterior.

Se um modelo já parecia funcionar havia séculos, por que tantos astrônomos continuaram insistindo em revisá-lo? Porque nenhum modelo é avaliado apenas por parecer plausível. Astrônomos buscavam maior coerência matemática, confrontavam previsões com observações cada vez mais precisas e tentavam resolver dificuldades acumuladas nos sistemas existentes. As discrepâncias, mesmo pequenas, indicavam que ainda havia algo a compreender.

Kepler havia encontrado uma descrição matemática muito melhor para as órbitas. Faltava, porém, compreender que tipo de movimento e de força poderia produzir essas trajetórias — problema que passaria pelas investigações de Galileu e encontraria uma síntese no trabalho de Newton.



Na ilustração:

- Nicolau Copérnico — no canto inferior esquerdo, desenhando o modelo heliocêntrico com órbitas circulares.
- Tycho Brahe — na parte superior central, realizando observações com o grande quadrante. As duas pessoas ao lado são seus assistentes.
- Johannes Kepler — no canto inferior direito, analisando os registros de Tycho e a órbita elíptica de Marte.

O fluxo luminoso representa a transmissão do conhecimento e dos dados entre eles: Copérnico → Tycho Brahe → Kepler.

### SOBRE O AUTOR

Ricardo Ribas é professor e apaixonado pelo ensino de ciências. Formado em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), além de Licenciatura em Física e Licenciatura em Química, ambas pelo Centro Universitário Unifatecie (Paranavaí-PR)



# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## GALILEU: MEDIR O MOVIMENTO E OBSERVAR O CÉU

Galileu Galilei (1564-1642) contribuiu em duas frentes importantes.

Com planos inclinados, investigou quantitativamente o movimento acelerado dos corpos. Seus estudos mostraram que, desprezada a resistência do ar, corpos de massas diferentes têm a mesma aceleração de queda — um resultado que contrariava a intuição, e a própria física aristotélica.

Ele também não inventou o telescópio, mas foi um dos primeiros a aperfeiçoá-lo significativamente e usá-lo de forma sistemática para observar o céu. Em 1610, publicou o que viu: luas orbitando Júpiter e fases de Vênus semelhantes às da Lua. As luas de Júpiter mostravam que nem tudo orbitava a Terra. Já as fases de Vênus contrariavam especificamente o sistema de Ptolomeu, mas eram compatíveis com outros modelos da época, como o geo-heliocêntrico de Tycho Brahe, em que Vênus orbitava o Sol, mas o Sol orbitava a Terra. Ou seja: essas observações enfraqueceram componentes importantes da cosmologia tradicional, embora não demonstrassem, isoladamente, que a própria Terra se movia.

Sua defesa pública do movimento da Terra acabaria envolvendo Galileu em um conflito complexo com autoridades da Igreja, que misturava interpretação das Escrituras, autoridade institucional e disputas pessoais. Em 1633, foi julgado pela Inquisição e condenado à prisão domiciliar.

Com Galileu, a combinação entre observação, experimentação, idealização e descrição matemática ganhou uma forma especialmente influente na construção da ciência moderna — dando continuidade a uma prática que, como vimos, já vinha sendo construída havia séculos.



## NEWTON: UNIFICAR O CÉU E A TERRA



Em 1687, Isaac Newton publicou Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, geralmente chamado apenas de Principia, um dos livros mais influentes da história da ciência. Nele, formulou as três leis do movimento e a lei da gravitação universal, mostrando que a mesma força que faz uma maçã cair também mantém a Lua em órbita. Pela primeira vez, os movimentos no céu e na Terra foram explicados por um único conjunto de leis. Embora já tivesse desenvolvido as bases do cálculo, Newton escreveu os Principia majoritariamente com métodos geométricos, mais familiares aos leitores da época.



Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](https://fundamentosdafisica.com.br)**

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## NEWTON NÃO TRABALHOUSOLADO

John Flamsteed também forneceu dados astronômicos usados por Newton, embora os dois tenham entrado em conflito sobre sua publicação, e Isaac Barrow e John Wallis contribuíram com os antecedentes matemáticos que precederam o cálculo.

| Cientista | Contribuição ou relação com Newton                                                                                                             |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kepler    | Leis do movimento planetário                                                                                                                   |
| Galileu   | Fundamentos do estudo do movimento                                                                                                             |
| Hooke     | Discutiu a atração central e sua dependência com o inverso do quadrado da distância; mais tarde, acusou Newton de usar suas ideias sem crédito |
| Huygens   | Movimento circular, pêndulos e a teoria ondulatória da luz                                                                                     |
| Leibniz   | Desenvolveu o cálculo de forma independente, dando origem a uma das mais famosas disputas de prioridade da história da ciência                 |
| Halley    | Incentivou, discutiu e financiou a publicação dos <i>Principia</i>                                                                             |

O ambiente científico do século XVII

Newton fazia parte de uma comunidade científica ativa na Inglaterra e na Europa. Robert Boyle avançava a física experimental e o estudo dos gases no mesmo círculo científico. René Descartes, uma geração antes, já defendia uma visão mecanicista da natureza — algumas de suas ideias, como os “vórtices” para explicar o movimento planetário, seriam posteriormente refutadas pelo próprio Newton.



Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](http://fundamentosdafisica.com.br)**

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## PARTE 3 — DESCOBRIR CAMPOS E LIMITES

### CAMPOS E ONDAS: A CONSTRUÇÃO DO ELETROMAGNETISMO

Assim como a mecânica clássica, o eletromagnetismo foi construído em etapas, cada uma apoiada na anterior: Coulomb (1785) → Ørsted (1820) → Ampère (anos 1820) → Faraday (1830-1840) → Maxwell (1861-1865) → Hertz (1887) → Heaviside

Charles-Augustin de Coulomb mediu e formulou matematicamente a força entre cargas elétricas — ainda no século XVIII, um precursor dos desenvolvimentos que viriam décadas depois. Hans Christian Ørsted já investigava uma possível relação entre eletricidade e magnetismo quando observou, em 1820, que uma corrente elétrica desviava a agulha de uma bússola, estabelecendo uma ligação experimental decisiva entre corrente elétrica e magnetismo. André-Marie Ampère formalizou matematicamente essa relação entre corrente elétrica e magnetismo.

Michael Faraday descobriu a indução eletromagnética e propôs o conceito de campo — uma forma de pensar o espaço ao redor de cargas e ímãs que seria essencial para tudo o que viria depois. Ele teve pouca formação matemática formal, mas seus experimentos e sua intuição física foram a base conceitual sobre a qual a próxima etapa se apoiou.

James Clerk Maxwell construiu uma teoria unificada dos fenômenos elétricos e magnéticos e mostrou que a luz podia ser compreendida como uma onda eletromagnética, prevendo a existência de outras ondas do mesmo tipo, ainda não observadas. Heinrich Hertz detectou experimentalmente essas ondas em 1887, fornecendo uma importante confirmação para uma das previsões da teoria. Oliver Heaviside ajudou a reformular a extensa apresentação original de Maxwell na linguagem vetorial compacta que deu origem à forma moderna das suas equações — um trabalho de reorganização matemática que também contou com contribuições de outros, como Josiah Willard Gibbs.

### QUANDO A FÍSICA CLÁSSICA ENCONTROU SEUS LIMITES

No fim do século XIX, a mecânica newtoniana e o eletromagnetismo de Maxwell formavam um edifício teórico extraordinariamente bem-sucedido. E é exatamente aqui que a história da física se torna mais interessante para o tema desta trilha: um modelo pode funcionar excepcionalmente bem e, ainda assim, ter limites.

Alguns problemas resistiam à explicação clássica. A radiação de corpo negro, o padrão de luz emitido por objetos aquecidos, não correspondia às previsões da física clássica em certas frequências. O efeito fotoelétrico, a emissão de elétrons por metais iluminados, não se comportava como a teoria ondulatória clássica da luz previa. Os espectros atômicos, as cores específicas emitidas por átomos excitados, apareciam em padrões discretos que a física clássica não explicava satisfatoriamente. Havia também uma pequena discrepância no movimento de Mercúrio, um desvio na órbita do planeta que a gravitação newtoniana não conseguia justificar por completo.

Como a luz poderia ser uma onda se os físicos não conseguiam encontrar o meio no qual ela se propagava? Esse era o problema do éter, o meio hipotético que se acreditava necessário para a propagação da luz. Em 1887, o experimento de Michelson e Morley não detectou o movimento da Terra em relação a esse suposto éter luminífero — um resultado que contrariou uma expectativa importante, embora sua interpretação histórica tenha sido mais complexa do que a simples “refutação do éter” costuma sugerir.

Nenhum desses problemas significava que Newton ou Maxwell estivessem “errados” no sentido comum da palavra. Significava que seus modelos tinham um domínio de validade — e esses experimentos estavam batendo na borda desse domínio. Parte dessas dificuldades exigiria, décadas mais tarde, a teoria quântica. Outras estavam relacionadas à compatibilidade entre mecânica, eletromagnetismo, espaço e tempo — contexto no qual surgiu o trabalho de Albert Einstein.



# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## PARTE 4 — REFORMULAR A REALIDADE

### EINSTEIN E A RELATIVIDADE: ESPAÇO, TEMPO E GRAVITAÇÃO

O trabalho de Einstein participou dessa transformação por dois caminhos distintos: a relatividade especial e, posteriormente, a relatividade geral.

Em 1905, publicou a relatividade especial, que revisou nossa compreensão de espaço, tempo e simultaneidade. Embora se aplique a qualquer velocidade, suas diferenças em relação à mecânica clássica se tornam especialmente perceptíveis quando as velocidades se aproximam da velocidade da luz. Desse trabalho também emergiu a equivalência entre massa e energia, expressa pela famosa equação  $E = mc^2$ .

Já em 1915, chegou à forma final das equações da relatividade geral, uma teoria mais ampla que descreve a gravitação por meio da geometria do espaço-tempo, relacionada à distribuição de matéria e energia — especialmente relevante onde a gravidade é intensa ou é preciso grande precisão.

Em 1919, duas expedições britânicas observaram um eclipse solar: uma na ilha do Príncipe, liderada por Arthur Eddington, e outra em Sobral, no Ceará, liderada por Andrew Crommelin e Charles Davidson. As medições indicaram um desvio na luz das estrelas ao passar perto do Sol compatível com a previsão da relatividade geral.



Um experimento confirma definitivamente uma teoria?

Não exatamente. O eclipse de 1919 não “provou” a relatividade geral de forma definitiva — foi uma confirmação importante, uma evidência favorável que colocou a teoria à prova e que ela superou. Uma teoria que sobrevive a testes cada vez mais rigorosos ganha, aos poucos, nossa confiança, sem nunca se tornar imune a revisão. A relatividade geral seguiria sendo testada de muitas outras formas nas décadas seguintes



Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](http://fundamentosdafisica.com.br)**

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## A REVOLUÇÃO QUÂNTICA: UMA CONSTRUÇÃO COLETIVA

Enquanto a relatividade transformava nossa compreensão de espaço, tempo, movimento e gravitação, outra revolução se desenvolvia a partir do estudo da matéria e da radiação em escala atômica — também obra de muitas mãos: **Planck (1900) → Einstein (1905) → Bohr (1913) → de Broglie (1924) → Heisenberg (1925) → Pauli (1925) → Schrödinger (1926) → Born (1926)**

Max Planck propôs, em 1900, que a energia seria trocada em pacotes discretos, ou “quanta”, para resolver o problema da radiação de corpo negro. Einstein usou, em 1905, a ideia de quantum de luz para explicar o efeito fotoelétrico. Niels Bohr propôs, em 1913, um modelo atômico com níveis de energia quantizados, explicando os espectros discretos observados. Louis de Broglie sugeriu, em 1924, que a matéria, assim como a luz, poderia ter comportamento ondulatório. Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger desenvolveram, em 1925 e 1926, duas formulações fundamentais e matematicamente equivalentes da mecânica quântica. Wolfgang Pauli formulou, em 1925, o princípio de exclusão, essencial para entender a estrutura da matéria. Max Born propôs, em 1926, a interpretação probabilística dessas equações.



Se a mecânica de Newton explicava tão bem o movimento dos objetos ao nosso redor, por que foi necessário criar uma física inteiramente nova para os átomos? Porque os resultados experimentais em escala atômica não correspondiam às previsões da física clássica, e insistir no modelo antigo significava continuar errando previsões que passaram a ser possíveis de testar.

Vale uma correção importante de linguagem: dizer que o mundo quântico “não segue as mesmas regras” do mundo macroscópico pode sugerir que são dois universos separados. Não são. As leis quânticas sustentam o mundo macroscópico também — seus efeitos mais característicos apenas se tornam mais evidentes em escala atômica e subatômica, como já vimos na seção sobre escalas microscópica e macroscópica do primeiro capítulo desta trilha.

Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](http://fundamentosdafisica.com.br)**



# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## A Física nos Séculos XX e XXI

Depois dessas duas revoluções, a Física do último século se espalhou por campos bastante diferentes de investigação:

| Campo                                       | Desenvolvimentos                                         | Aplicações e questões                                         |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| física atômica, óptica e matéria condensada | Estrutura eletrônica, propriedades dos materiais, lasers | Semicondutores, computadores, telecomunicações                |
| física nuclear e de partículas              | Núcleo atômico, partículas elementares, Modelo Padrão    | Energia nuclear, medicina nuclear, radioterapia, aceleradores |
| astrofísica e cosmologia                    | Estrelas, galáxias e expansão do Universo                | Origem do Universo, matéria escura, energia escura            |
| sistemas complexos e fluidos                | Caos, turbulência e fenômenos coletivos                  | Clima, materiais, transporte, dinâmica de populações          |

Um exemplo particularmente bonito de como essa física vira tecnologia do dia a dia é o GPS: seu funcionamento combina relatividade especial, relatividade geral, mecânica orbital clássica e relógios atômicos baseados em física quântica, além de propagação de sinais e correções de engenharia. Sem as correções relativísticas incorporadas ao sistema, os erros de posicionamento cresceriam rapidamente, podendo alcançar vários quilômetros em um único dia.



Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](https://fundamentosdafisica.com.br)**

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA

## O QUE PERMANECE QUANDO UM MODELO É SUPERADO?

Uma teoria nova torna a anterior inútil? Quase nunca. A Física atual certamente tem perguntas em aberto — a natureza da matéria escura, a expansão acelerada do Universo e a busca por uma teoria quântica da gravidade continuam sendo investigadas, e é bem possível que os modelos de hoje sejam ampliados ou reformulados no futuro.

Isso não significa que modelos bem testados vão simplesmente desaparecer. A mecânica newtoniana, por exemplo, continua funcionando extraordinariamente bem em velocidades baixas e campos gravitacionais fracos — por isso ainda a usamos para projetar pontes, calcular trajetórias de foguetes e ensinar o movimento no Ensino Médio.

## POR QUE AINDA ESTUDAMOS NEWTON?

Porque, dentro de seu domínio de validade, a mecânica newtoniana continua sendo precisa o suficiente para uma enorme variedade de aplicações práticas. Quando um modelo é superado, geralmente o que muda é o seu domínio de validade — não sua utilidade dentro dele.

Essa é, talvez, a lição mais importante desta história: a Física avança não colecionando verdades definitivas, mas construindo explicações cada vez mais abrangentes e testando-as, sem parar, contra a natureza.

## FECHANDO O CAPÍTULO: A HISTÓRIA DA FÍSICA CONTINUA

A história da Física mostra que fazer ciência não é acumular certezas permanentes, mas construir, testar e corrigir explicações sobre o mundo. No próximo capítulo desta trilha, vamos olhar mais de perto como os físicos transformam observações em grandezas, medidas e relações matemáticas. Acompanhe o Fundamentos da Física para continuar essa jornada e compreender não apenas as fórmulas, mas como e por que elas foram construídas.

Continue acompanhando o blog. Toda semana teremos conteúdo novo por aqui.

Este foi o segundo passo da trilha Fundamentos da Física.



Gostou? Quer entender Física de verdade, do zero? Este é só o começo, continue a trilha completa em **[fundamentosdafisica.com.br](https://fundamentosdafisica.com.br)**