

Coleção Química no Cotidiano

Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica
Volume 21



Sociedade Brasileira de Química



INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

Elizete Ventura
Ezequiel Fragoso Vieira Leitão
Juracy Régis de Lucena Júnior
Railton Barbosa de Andrade
Rodolpho Lins Ribeiro Alves
Silmar Andrade do Monte

Um quantum de história do Brasil, de ciência e sociedade na era da teoria quântica

Abordagem que reúne elementos históricos do Brasil, avanços científicos e o contexto social que marcaram o período do desenvolvimento da teoria quântica.

Coleção Química no Cotidiano

Volume 21

**Um quantum de história do Brasil, de ciência
e sociedade na era da teoria quântica**

Elizete Ventura

Ezequiel Fragoso Vieira Leitão

Juracy Régis de Lucena Júnior

Railton Barbosa de Andrade

Rodolpho Lins Ribeiro Alves

Silmar Andrade do Monte



Sociedade Brasileira de Química



INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

Editora *EditSBQ*

1ª Edição

São Paulo, Brasil | Sociedade Brasileira de Química | 2025

© Editora *EditSBQ* - Sociedade Brasileira de Química

Coleção Química no Cotidiano - Quântica e a Sociedade
Volume 21

¹*Elizete Ventura, ¹Silmar Andrade do Monte, ¹Rodolpho Lins Ribeiro Alves, ²Ezequiel Fragoso Vieira Leitão, ³Juracy Régis de Lucena Júnior, ³Railton Barbosa de Andrade.

1 Departamento de Química, CCEN, Universidade Federal da Paraíba, 58059-900, João Pessoa, Brasil.

2 Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Brasil

3 Departamento de Química, CCT, Universidade Estadual da Paraíba, 58109-790, Campina Grande, Brasil.
E-mail: elizete@quimica.ufpb.br

Coordenadoras do projeto (Coleção Química no Cotidiano)
Claudia Moraes de Rezende e Hélio Anderson Duarte

Editora-chefe (Coleção Química no Cotidiano)
Claudia Moraes de Rezende

Arte gráfica e editoração (Coleção Química no Cotidiano)
Cabeça de Papel Projetos e Design LTDA (www.cabecadepapel.com)

Ficha Catalográfica
Wanda Coelho e Silva (CRB/7 46)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E77q Ventura, Elizete.

Um quantum de história do Brasil, de ciência e sociedade na era da teoria quântica / Elizete Ventura, Ezequiel Fragoso Vieira Leitão, Juracy Régis de Lucena Júnior, Railton Barbosa de Andrade, Rodolpho Lins Ribeiro Alves, Silmar Andrade do Monte – São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2025.
p.42 - (Coleção Química no Cotidiano, v. 21)

ISBN 978-85-64099-42-5

1. Química. 2. Quântica. I. Ventura, Elizete. II. Título. III. Série.

CDD 547.7
CDU 547.9

Livro elaborado com finalidade didática. Proibida a sua comercialização

Prefácio

Por Professora Claudia Moraes de Rezende, Instituto de Química, UFRJ.

O ano de 2025 foi eleito pela ONU (Organização das Nações Unidas) como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica, com o objetivo de celebrar o centenário da mecânica quântica e ressaltar o impacto da ciência quântica na tecnologia e na sociedade.

Na Sociedade Brasileira de Química (SBQ), o site QUID+ está colaborando nessa empreitada com a publicação de livretos em linguagem simples, voltados para estudantes, professores da educação básica e o público em geral.

A coleção Química no Cotidiano, que engloba os livretos comemorativos do Ano Internacional das Ciências e Tecnologias Quânticas - 2025, está na sua quarta edição. Ela se iniciou em 2011, com a comemoração do Ano Internacional da Química, seguida da publicação dos livretos do Ano Internacional da Tabela Periódica -2019 e do Movimento Química Pós 2022 - Sustentabilidade e Soberania.

Este é o primeiro volume da coleção comemorativa do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica - 2025, coordenado pela professora Elizete Ventura, desbravadora do mundo e docente do Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba.

Elizete é apaixonada pela vida e pela área de química teórica. Aqui, ela e seus colegas apresentam uma visão geral da história das ciências quânticas em pequenas pinceladas que, nos próximos livretos da coleção, ganharão aspectos mais detalhados.

Pintem seus quadros — e bom proveito!

Preâmbulo

O livro "**Um quantum de história do Brasil, de ciência e sociedade na era da teoria quântica**" apresenta uma abordagem que integra fatos históricos do Brasil, avanços da ciência e o contexto social presentes ao longo do desenvolvimento da teoria quântica. O termo "quantum" aqui faz referência não só à física quântica, mas também representa uma porção significativa desses três elementos — história, ciência e sociedade — durante o processo de construção da teoria. Dessa maneira, o título indica que o conteúdo buscará mostrar como a evolução da ciência quântica esteve entrelaçada a acontecimentos históricos e desafios sociais brasileiros, evidenciando as conexões e influências recíprocas entre ciência e sociedade no Brasil.

A obra foi criada com o objetivo de tornar a mecânica quântica mais compreensível para estudantes do Ensino Médio. A ideia surgiu a partir de um desafio proposto pela Professora Claudia Moraes de Rezende, do Instituto de Química da UFRJ, e pelo Professor Hélio Anderson Duarte, do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais: explicar esse assunto de maneira clara, fácil de entender e sem distorções, especialmente diante do cenário atual de desinformação e negacionismo. Motivados por esse desafio, nós optamos por contar a história da mecânica quântica relacionando-a com algumas transformações importantes ocorridas no Brasil ao longo do desenvolvimento da teoria.

Neste volume, buscamos apresentar o desenvolvimento da mecânica quântica de forma acessível, explicando seus principais conceitos e destacando alguns de seus protagonistas. Começamos pela origem da teoria quântica, com as descobertas de Max Planck, e seguimos com os avanços promovidos por Albert Einstein. Traçamos um panorama dos acontecimentos científicos e sociais mais relevantes do início do século XX, mencionando figuras importantes como Werner Heisenberg, Marie Curie e Mileva Marić, e ressaltando o papel fundamental das mulheres na ciência, mesmo diante dos desafios históricos.

No texto exploramos o entrelaçamento entre ciência e sociedade, abordando episódios importantes como a Revolta da Vacina no Brasil, o negacionismo científico como aqueles

enfrentados por Oswaldo Cruz na saúde pública, ilustrando paralelos com questões atuais, como o movimento antivacina e a distorção dos conceitos quânticos por práticas pseudocientíficas. Ressaltamos também o papel fundamental da matemática como a linguagem universal da ciência, fundamental para criar modelos teóricos capazes de explicar fenômenos da natureza. Por fim, enfatizamos a importância da Química Computacional como uma ferramenta indispensável na busca por soluções para problemas atuais e para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Este documento celebra o centenário da mecânica quântica e integra as ações do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica, declarado pela ONU para o ano de 2025 e apoiado pela Sociedade Brasileira de Química. Convidamos você, leitor, a explorar e reconhecer a relevância do método científico como ferramenta essencial para fortalecer a soberania nacional e assegurar a continuidade da vida humana, especialmente diante das transformações que o planeta vem enfrentando. Venha participar conosco dessa jornada de desafios e descobertas! Boa leitura.

Elizete Ventura
Silmar Andrade
Rodolpho Lins
Ezequiel Fragoso
Juracy Régis
Railton Barbosa

Índice

Prefácio	3
Preâmbulo	4
Índice.....	6
Introdução	8
1. Como um cientista trabalha?	14
2. A catástrofe clássica e as perguntas que mudaram o mundo	16
3. A resposta que mudou o mundo.....	18
4. Contínuo versus quântico.....	19
5. Outros eventos importantes do ano de 1901	20
6. Einstein e o milagre de 1905	22
7. O efeito fotoelétrico e suas aplicações	24
8. O Brasil de 1808 até o ano miraculoso da Física	25
9. Da Revolta da Vacina ao Negacionismo: O Desafio da Ciência contra a Desinformação no Brasil	29
10. O papel das mulheres no desenvolvimento da teoria quântica	32
Marie Curie: superação e impacto científico global.....	33
Mileva Marić: a mente feminina por trás das equações de Einstein	35
11. Do que as coisas são feitas? A Jornada para entender a matéria	36
12. Quem tem medo de matemática?	38
13. Uso da Teoria Quântica em Pseudociências.....	40
14. Mecânica Quântica e a Química Computacional: duas faces de uma mesma moeda.....	42

15. Desafios Globais e Soluções Científicas: O Papel da Química Computacional	44
- Captura de CO ₂	45
- Novos materiais	45
- Produção de Alimentos	46
- Novos Fármacos, Medicamentos e Vacinas	47
- Medicina de Precisão	48
16. Considerações Finais	50
17. Agradecimentos	52
18. Bibliografia	53

Introdução

Este ano celebramos o centenário da Mecânica Quântica, uma teoria que transformou profundamente a ciência e nossa compreensão do universo e de nós mesmos. Este livro convida você a explorar as principais ideias, os experimentos mais importantes e os acontecimentos sociais que marcaram a trajetória dessa área fascinante do conhecimento.

Iniciamos nossa jornada pela sessão **"Como um cientista trabalha?"**, que busca esclarecer, de maneira simples, o método científico, utilizando como exemplo a observação de um arco-íris. O texto ressalta a importância de seguir etapas bem definidas: observar atentamente o fenômeno, levantar perguntas, reproduzir o fenômeno, investigar as causas e relacionar os resultados com conceitos científicos. O propósito é evidenciar que a atuação do cientista é guiada pela curiosidade, pelo uso de métodos apropriados e pela criatividade, elementos essenciais para entender e explicar os fenômenos da natureza.

Na sessão **"A catástrofe clássica e as perguntas que mudaram o mundo"**, é apresentado o dilema enfrentado pela física clássica ao tentar explicar a radiação do corpo negro, fenômeno que levava a previsões absurdas de energia infinita em altas frequências. Já em **"A resposta que mudou o mundo"**, destaca-se a solução inovadora proposta por Max Planck, que ao introduzir o conceito de quantização da energia, deu início à Física Quântica e revolucionou a nossa compreensão da natureza. Por fim, em **"Contínuo versus quântico"**, é apresentada de forma simples a diferença entre uma propriedade contínua e uma quantizada.

A ciência está profundamente inserida no contexto social, e a sessão **“Outros eventos importantes do ano de 1901”**, destaca acontecimentos marcantes tanto no Brasil quanto no mundo, no ano em que nasceu a Física Quântica. Enquanto Max Planck revolucionava a física ao propor a ideia de que a energia é quantizada, Albert Einstein publicava seu primeiro artigo científico. Também foi nesse ano que nasceu Werner Heisenberg, que futuramente seria um dos criadores da Mecânica Quântica em sua versão matricial, que completa cem anos. No campo da medicina, Alois Alzheimer registrou o primeiro caso da doença que mais tarde levaria seu nome. Na cultura brasileira, nascia a poetisa Cecília Meireles. Já na área tecnológica, Santos Dumont realizou um voo histórico ao redor da Torre Eiffel, afirmando seu papel como um dos grandes inventores de todos os tempos. Politicamente, o Brasil vivia o período do “café-com-leite”, caracterizado pela alternância de poder entre São Paulo e Minas Gerais, evidenciando o domínio do agronegócio sobre a política nacional.

Na sessão **“Einstein e o milagre de 1905”**, são detalhadas as descobertas marcantes realizadas por Albert Einstein durante aquele ano, conhecido como o “ano miraculoso”. Nesse período, Einstein publicou artigos que transformaram profundamente a Física, entre eles explicações sobre o movimento browniano, o desenvolvimento da teoria da relatividade especial e a análise do efeito fotoelétrico. Este último mostra que a luz pode agir como partículas. Em seguida, o texto aborda o fenômeno do **“efeito fotoelétrico e suas aplicações”**, no qual certos materiais liberam elétrons quando expostos à luz de uma frequência específica. Einstein elucidou esse efeito ao sugerir que a luz é formada por quanta (fótons), e que cada fóton possui uma quantidade definida de energia. Essa explicação confirmou o caráter quântico da luz e garantiu a Einstein o Prêmio Nobel de Física. As ideias apresentadas por ele foram essenciais para o avanço da Mecânica Quântica e para o entendimento da dualidade entre onda e partícula.

O que acontecia no Brasil enquanto o mundo presenciava avanços científicos revolucionários em 1905? Para entender isso a sessão **“O Brasil de 1808 ao ano miraculoso da física”** apresenta um panorama do país desde a chegada da família real portuguesa, que impulsionou a criação das primeiras instituições de ensino superior no Brasil. Destacam-se marcos como a abolição da escravidão em 1888 e a transição do regime monárquico para a República em 1889. O texto também aborda os desafios que marcaram o início da República, incluindo a necessidade de modernizar as cidades e o crescimento das desigualdades sociais. O cenário de saúde pública era crítico, com epidemias frequentes e a atuação decisiva de Oswaldo Cruz em campanhas de vacinação e melhorias no saneamento básico — esforços que enfrentaram forte resistência popular durante a Revolta da Vacina. Em 1905, o fim do estado de sítio permitiu a recuperação dos direitos civis e trouxe avanços relevantes na saúde pública, consolidando o papel de Oswaldo Cruz no combate às epidemias e na promoção do saneamento no país. Esses aspectos são tratados com mais detalhes na sessão **“Da Revolta da Vacina ao Negacionismo: O Desafio da Ciência contra a Desinformação no Brasil”**. Portanto, enquanto a ciência mundial avançava, o Brasil travava sua própria batalha contra o negacionismo e buscava consolidar a confiança na ciência — uma luta que permanece até os dias atuais.

A trajetória das mulheres sempre foi marcada por obstáculos, e isso ainda é uma realidade: elas frequentemente enfrentam jornadas duplas, recebem salários menores que os homens mesmo desempenhando as mesmas funções, além de outros desafios. Na ciência, infelizmente, essa desigualdade também existe. Por essa razão, incluímos uma sessão especial intitulada **“O papel das mulheres no desenvolvimento da teoria quântica”**, com o objetivo de destacar as contribuições femininas nessa área. O texto mostra que, no século XIX, as mulheres encontravam grandes barreiras para estudar e sofriam muito preconceito. Um exemplo de superação é Marie Curie, que foi a primeira mulher a conquistar um doutorado em

Física na Europa e umas das poucas pessoas a receber dois Prêmios Nobel em Ciências exatas, por suas pesquisas sobre radioatividade, além de ter atuado socialmente durante a Primeira Guerra Mundial. Também está destacado o trabalho de Mileva Marić, física e matemática sérvia, que colaborou intelectualmente com Albert Einstein em seus primeiros estudos, embora nunca tenha recibo o devido reconhecimento. Essas histórias revelam que, apesar das dificuldades, algumas mulheres conseguiram se destacar na ciência e são, portanto, inspiração para as novas gerações.

Até agora, exploramos os principais conceitos da teoria quântica, além dos fatos históricos que influenciaram o mundo e o Brasil naquele período. Mas será que a teoria quântica serve apenas para explicar fenômenos como a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico? Na sessão **“Do que as coisas são feitas? A Jornada para entender a matéria”**, mostramos como evoluiu o conhecimento sobre a composição da matéria, destacando que a Mecânica Quântica foi essencial para explicar fenômenos que a Física clássica não conseguia. São apresentadas as contribuições de cientistas como Planck, Einstein, Bohr e Schrödinger no desenvolvimento das ideias de quantização da energia e do comportamento das partículas subatômicas. Hoje sabemos que toda matéria é composta por átomos, que por sua vez são formados por partículas ainda menores. O comportamento dessas partículas é descrito por probabilidades, o que faz o universo quântico ser muito diferente do que percebemos no dia a dia.

Ressaltamos que nada disso seria possível sem a matemática. Na sessão **“Quem tem medo de matemática?”**, é feita uma analogia entre o aprendizado da linguagem com o da matemática, explicando que esta última também é um instrumento essencial para interpretar e modelar o mundo, permitindo representar fenômenos através de equações. A matemática é apresentada como base para o desenvolvimento de teorias científicas, como a teoria quântica, possibilitando a

descrição precisa de experimentos e a antecipação de fenômenos futuros, como aconteceu com a Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Também destacamos o papel da matemática para o avanço da Química Quântica Computacional, citando John Pople e Walter Kohn, cujos desenvolvimentos transformaram a área e são essenciais para as pesquisas atuais.

Nas duas últimas sessões destacamos a estreita relação entre a Mecânica Quântica e a Química Computacional, mostrando que, embora a Mecânica Quântica forneça a base teórica para compreender o comportamento da matéria em níveis atômicos e moleculares, é a Química Computacional que aplica esses princípios em simulações e no desenvolvimento de novos materiais e substâncias. A Química Computacional surge como uma extensão experimental dos conceitos quânticos, permitindo prever e criar soluções inovadoras para desafios práticos. Na sessão **“Desafios Globais e Soluções Científicas: O Papel da Química Computacional”** discutimos como a Química Computacional pode contribuir na busca por soluções para os grandes problemas globais. Entre as aplicações, estão o desenvolvimento de materiais para captura e reaproveitamento de CO₂, criação de plásticos biodegradáveis para combater a poluição, aumento da produção de alimentos por meio de fertilizantes e bioestimulantes mais eficientes, além do avanço no desenvolvimento de novos medicamentos, vacinas e tratamentos – incluindo a medicina de precisão, que personaliza terapias com base em características genéticas. Está destacado que o uso dessas tecnologias depende do entendimento e valorização da ciência, sendo fundamental para enfrentar os desafios ambientais, alimentares e de saúde da atualidade.

Encerramos este livro trazendo uma lista de referências cuidadosamente selecionadas, priorizando artigos em português e voltados para o ensino de Química e Física. O objetivo é facilitar o acesso dos leitores e tornar o conteúdo ainda mais compreensível.

Assim, concluímos **“Um quantum de história do Brasil, de ciência e sociedade na era da teoria quântica”**. No entanto, essa jornada está longe de terminar. Ao longo dos últimos cem anos, a Mecânica Quântica e suas aplicações revelaram que o universo oferece infinitas possibilidades de questionamentos, criatividade e descobertas que desafiam nossa compreensão. Por isso, permita-se investigar, explorar e buscar respostas com curiosidade genuína — é essa inquietação que impulsiona o avanço da ciência e transforma a sociedade.

A ciência é feita por pessoas comuns, que ousam sonhar e enfrentar desafios, e você pode ser parte dessa transformação. O futuro da pesquisa, da tecnologia e das soluções para os grandes problemas globais depende da capacidade de cada um de nós de ir além do óbvio, de buscar conhecimento e de valorizar a investigação científica. Inspire-se nas histórias contidas neste livro e permita que sua curiosidade seja a ponte para novas ideias. Lembre-se: a dúvida é o ponto de partida para todas as respostas que podem mudar o mundo.

1. Como um cientista trabalha?

Vamos compreender como um cientista trabalha. Para facilitar o entendimento, sugerimos um experimento simples, no qual você, leitor, participará ativamente. É importante lembrar que todo experimento precisa de um passo a passo definido, pois não pode ser realizado de maneira aleatória. Por isso, vamos apresentar as etapas a seguir (veja a **Figura 1**):



Escolha um fenômeno: Em um dia de chuva com sol, observe que no céu irá se formar um arco-íris.

Observe com atenção: Note que o arco-íris é formado por várias cores alinhadas, criando uma faixa contínua.

Questione-se: Por que essas cores aparecem no arco-íris? O que acontece com a luz do Sol ao passar pelas gotículas de chuva?

Reproduza: Você pode reproduzir esse fenômeno no quintal de sua casa, observando como a água de uma mangueira pode produzir um arco-íris.

Investigue: Descubra que a luz branca do Sol, na verdade, é composta por várias cores. Quando essa luz atravessa as gotas de água, ela se divide em várias cores diferentes por causa de um fenômeno chamado dispersão.

Figura 1: Do Arco-Íris à Química.

Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 27/09/2025.

Relacione o fenômeno ao conceito: As cores do arco-íris ilustram o espectro da radiação, ou seja, a separação da luz em diferentes comprimentos de onda — cada um formando uma cor específica.

Explore outras situações: Pesquise como esse princípio é usado para identificar elementos químicos a partir da espectroscopia, mostrando que cada elemento possui um espectro único.

Os passos apresentados no experimento do arco-íris refletem a essência do trabalho científico: observar, questionar, reproduzir, investigar, relacionar conceitos e generalizar. Ou seja, o cientista analisa um fenômeno, faz perguntas sobre ele, tenta replicá-lo, busca compreender suas causas e liga suas observações a teorias já conhecidas. No exemplo que exploramos, utilizamos o conceito de radiação eletromagnética, que pode ser explicada por ondas — como ocorre com as ondas de rádio, por exemplo, que também apresentam frequência (ν) e comprimento de onda (λ).

Agora se imagine diante de um fenômeno que não pode ser explicado por nenhuma teoria científica existente. Algo totalmente novo, capaz de transformar nossa compreensão do mundo. Cientistas frequentemente se deparam com desafios assim, e nem sempre encontram respostas. Mas, às vezes, surge uma descoberta revolucionária: uma nova teoria que explica o que parecia inexplicável. Vamos contar agora a história de um cientista que passou exatamente por isso e criou uma teoria inovadora, mudando para sempre a ciência.

2. A catástrofe clássica e as perguntas que mudaram o mundo

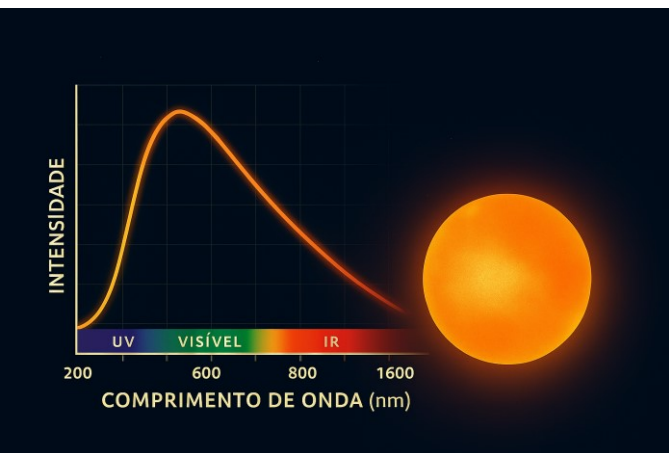


Figura 2: Radiação do Corpo Negro.

Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 27/09/2025.

Em 1900, o físico alemão Max Planck, que tinha 42 anos na época, enfrentava um grande desafio: explicar um fenômeno conhecido como radiação do corpo negro que, até aquele momento, nenhuma teoria conseguia explicar. Mas, afinal, o que é a radiação do corpo negro, conforme ilustrado na **Figura 2**?

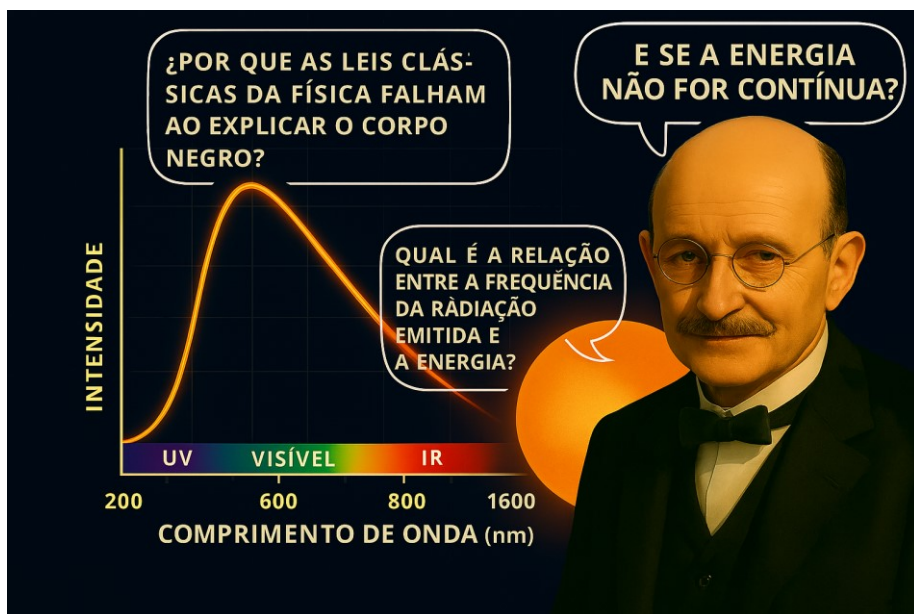
Um corpo negro é um objeto teórico que pode ser construído com materiais adequados e tem a característica de absorver toda a radiação eletromagnética que incide sobre ele. Além disso, ele também reemite toda a radiação incidente. Na **Figura 2**, é possível ver um gráfico que mostra como varia a intensidade da radiação emitida por um corpo negro, em uma certa temperatura, em função do comprimento de onda da radiação.

O principal desafio enfrentado por Max Planck foi compreender como a energia da radiação emitida por um corpo negro é distribuída entre diferentes frequências. Como mostra a Figura 2, a intensidade da energia emitida, inicia com valor muito baixo para pequenos comprimentos de onda, atinge um valor máximo e depois diminui conforme o comprimento de onda aumenta. As teorias clássicas, especialmente a Lei de Rayleigh-Jeans, previam que a energia deveria crescer indefinidamente à medida que o comprimento de onda diminuísse. Isso levaria à

ideia absurda de que o corpo negro emitiria uma quantidade infinita de energia em frequências elevadas, algo fisicamente impossível. Por essa razão, a aplicação dos modelos clássicos resultava em um absurdo conhecido como “**catástrofe do ultravioleta**” (Polito, 2017; Gontijo & Rodrigues, 2022).

O fato de uma teoria consagrada apresentar falhas é algo que realmente perturba a mente de qualquer cientista. A mente de Max Planck deve ter mergulhado em uma infinidade de perguntas, como as mostradas na **Figura 3**. Certamente a mais fundamental delas foi: “**Por que as leis clássicas da física não conseguem explicar o fenômeno da radiação do corpo negro?**”. O fracasso de uma teoria científica abre espaço para o surgimento de uma nova explicação. A busca de Planck para explicar o comportamento da radiação emitida pelo corpo negro levou a uma relação entre energia e frequência. E, em meio a esse desafio, uma questão fundamental que ele deve ter feito foi: “**E se a energia não fosse emitida de forma contínua?**”

Figura 3: Max Planck e as perguntas que mudaram o mundo.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 27/09/2025.



3. A resposta que mudou o mundo

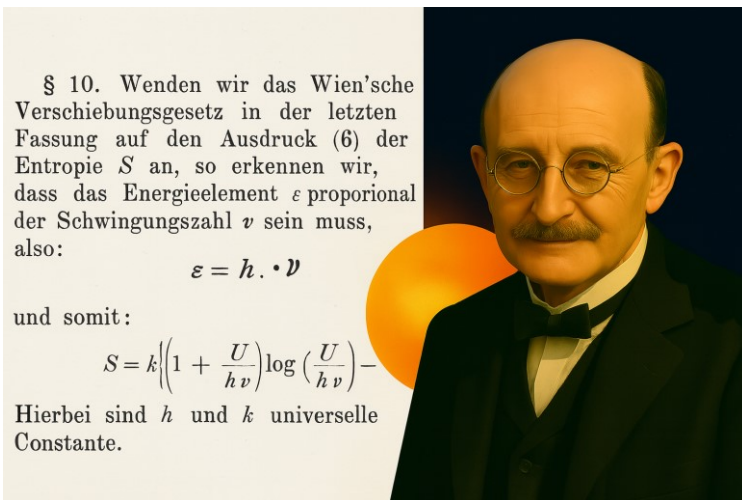


Figura 4: O artigo do Max Planck.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em
27/09/2025.

Em 1901, Max Planck publicou seus resultados em uma das revistas científicas mais respeitadas da época, a *Annalen der Physik*, especificamente na 3ª edição do volume 309, nas páginas 425-648. Todos os artigos dessa revista eram publicados em alemão. Na seção 10 de

seu artigo, Planck apresentou pela primeira vez a fórmula que relaciona energia e frequência ($\varepsilon = h \cdot \nu$) (veja **Figura 4**). Ou seja, a energia é quantizada. Mas por que essa edição dessa revista foi tão revolucionária?

Primeiro, a explicação de Planck para a radiação do corpo negro mudou o rumo da ciência porque foi a primeira vez que alguém sugeriu que a energia não era liberada de forma contínua, como acontece nos fenômenos estudados na física clássica, mas sim em pequenas unidades (pacotes) chamadas "quanta". Essa ideia inovadora rompeu com os modelos clássicos e abriu caminho para o surgimento da Física Quântica, transformando completamente o entendimento sobre matéria, luz e o universo. Graças a essa nova abordagem, foi possível desenvolver tecnologias e fazer descobertas que impactaram áreas como eletrônica, medicina e comunicação, mudando para sempre o curso da ciência moderna (Pires et al., 2024).

Além disso, nessa mesma edição da revista, poucas páginas antes do artigo de Planck, um jovem de 22 anos publicava seu primeiro trabalho científico. Seu nome era Albert Einstein.

4. Contínuo versus quântico



Figura 5: Ilustração da diferença entre propriedades contínuas e quantizadas.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 27/09/2025.

Você sabe qual é a diferença entre uma propriedade de valor contínuo e uma propriedade de valor quantizado?

Para facilitar, vamos usar um exemplo: imagine que você quer subir até o primeiro andar de um prédio. Se optar por subir por uma rampa, sua altura em relação ao chão pode assumir qualquer valor ao longo do caminho, pois o trajeto é contínuo.

Por outro lado, se subir por uma escada, sua altura só irá mudar conforme você passa de um degrau para outro, ou seja, você só poderá estar em alturas que são múltiplos da altura de cada degrau. Isso significa que, ao usar a escada, sua altura em relação ao chão é quantizada, podendo assumir apenas certos valores definidos, e não qualquer valor como na rampa. A **Figura 5** ilustra bem essa situação.

5. Outros eventos importantes do ano de 1901

Em 1901, o mundo vivia um período de grandes mudanças que marcaram o início do século XX com fatos históricos importantes em várias áreas, conforme ilustrado na **Figura 6**:



Figura 6: Eventos importantes na sociedade em 1901.
Fonte: própria.

Ciência e Física: Max Planck deu um passo revolucionário para a ciência ao propor que a energia poderia ser transferida em pequenas quantidades, chamadas "quanta". Esse novo conceito inaugurou uma área na ciência chamada de Física Quântica, mudando para sempre o entendimento da matéria e da luz. Nesse mesmo ano, Albert Einstein publicou seu primeiro artigo científico, iniciando uma carreira que transformaria a física. Também em 1901 nasceu Werner Heisenberg, que décadas depois criaria a "mecânica matricial" — uma abordagem que consolidou a teoria quântica através do uso de ferramentas matemáticas baseadas em matrizes.

Medicina: O neuropsiquiatra Alois Alzheimer documentou o primeiro caso da doença que hoje leva seu nome ao estudar uma paciente que apresentava perda de memória, dificuldades de compreensão, afasia (alteração na fala), desorientação, comportamento imprevisível, paranoia e comprometimento psicossocial acentuado. A doença de Alzheimer continua sendo um grande desafio para a ciência atualmente.

Cultura e Literatura: O ano foi marcante para a cultura brasileira, com o nascimento de Cecília Meireles, que se tornaria uma das maiores poetisas do Brasil.

Tecnologia e Aviação: Alberto Santos Dumont protagonizou um feito histórico ao voar com seu dirigível número 6 ao redor da Torre Eiffel, em Paris, completando o percurso em menos de 30 minutos. Com isso, conquistou o prêmio *Deutsch de la Meurthe*, que reconhecia avanços pioneiros na navegação aérea.

Política Brasileira: No cenário político brasileiro, predominava a política do “café-com-leite”, caracterizado pela alternância do poder entre São Paulo (principal produtor de café) e Minas Gerais (grande produtor de leite). O agronegócio, portanto, dominava a política nacional.

6. Einstein e o milagre de 1905

Em 1905, anos após Max Planck apresentar a ideia de que a energia pode ser emitida em quantidades discretas chamadas “quanta”, Albert Einstein publicou uma sequência de cinco artigos que mudaram profundamente o rumo da Física. Esse período ficou conhecido como o "ano miraculoso" da Física. Todos esses trabalhos foram divulgados na revista *Annalen der Physik*. Na **Figura 7**, mostramos mês a mês os títulos dos artigos publicados por Einstein, junto com o volume, edição e página da revista, além da capa de sua tese de doutorado, defendida em abril. Sem dúvida, 1905 foi um ano extraordinário para a física. (Stachel, 2004)



Figura 7: O ano miraculoso da Física apresentado mês a mês, indicando o título de cada artigo publicado por Einstein, acompanhado do volume, edição e páginas correspondentes da revista *Annalen der Physik*, além da capa da tese de doutorado defendida em abril de 1905. Fonte: própria

- **Março:** Einstein publicou o artigo sobre o efeito fotoelétrico, no qual explicou que, ao incidir sobre a matéria, a luz transfere energia como se fosse uma partícula. Posteriormente, detalharemos esse fenômeno.
- **Abril:** Einstein defendeu sua tese de doutorado na Universidade de Zurique, na Suíça. Nesse trabalho, intitulado “Uma Nova Determinação das Dimensões Moleculares”, ele desenvolveu métodos inovadores para calcular o tamanho das moléculas e a constante de Avogadro, utilizando medições realizadas em soluções diluídas. Essa pesquisa foi essencial para comprovar a existência das moléculas e consolidar a teoria atômica, trazendo avanços importantes para a física e a química.
- **Julho:** Nesse mês Einstein publicou um estudo sobre o movimento browniano onde demonstrou que partículas microscópicas suspensas em líquidos se movem de forma irregular devido ao impacto das moléculas do líquido. Esse trabalho forneceu uma explicação matemática para o fenômeno e, mais importante, serviu como evidência experimental para a existência dos átomos e moléculas.
- **Setembro:** Einstein publicou um artigo sobre a teoria da relatividade restrita, que transformou completamente a forma como compreendemos o tempo, o espaço e o movimento. Sua principal descoberta foi demonstrar que as leis da física são idênticas para todos os observadores que se movem em linha reta e a uma velocidade constante, e que a velocidade da luz no vácuo permanece a mesma, independentemente do observador.
- **Novembro:** No último artigo publicado em 1905, Einstein aprofundou a teoria da relatividade ao apresentar conceitos fundamentais como a dilatação do tempo, a contração do espaço e a equivalência entre massa e energia, representada pela famosa equação $E=mc^2$. Essas ideias inovadoras romperam com os princípios tradicionais da física, permitindo o surgimento de novos avanços em várias áreas da ciência moderna.

7. O efeito fotoelétrico e suas aplicações

O efeito fotoelétrico consiste no seguinte fenômeno: ao incidirmos luz com uma frequência adequada sobre uma superfície metálica, elétrons são ejetados desse metal (veja **Figura 8**). Esse fenômeno foi primeiramente observado por Heinrich Hertz, utilizado por J.J. Thomson na descoberta do elétron e Philipp Lenard demonstrou a relação da luz projetada sobre um metal com a saída de elétrons. Para explicar esse processo foi necessário repensar a natureza da luz: em vez de ser apenas uma onda, ela também pode se comportar como um conjunto de partículas, chamadas de fótons. Quando a luz atinge o metal cada fóton transfere energia suficiente para que um elétron consiga vencer a força de atração do material e seja liberado, saindo com uma determinada velocidade. Assim, podemos dizer que a luz tem uma dupla natureza: ela é uma onda em algumas situações e é partícula em outras, especialmente ao interagir com partículas quânticas, como acontece no efeito fotoelétrico.

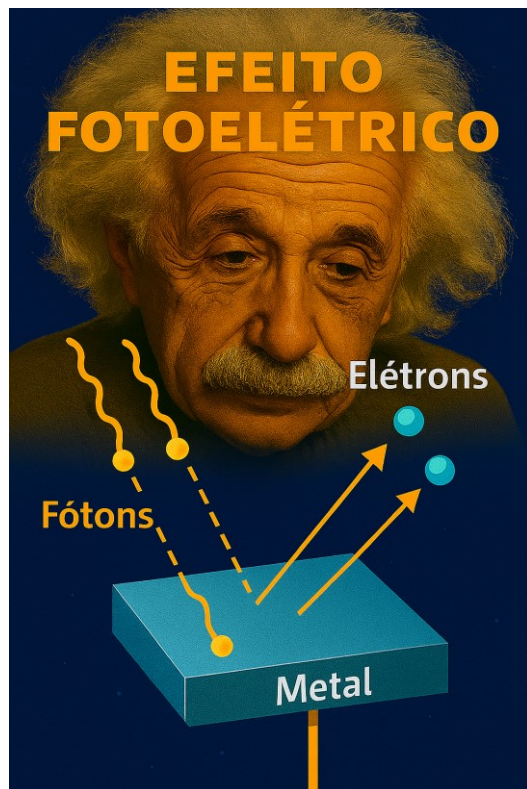


Figura 8: Ilustração do efeito fotoelétrico.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 30/09/2025.

O efeito fotoelétrico tem aplicações em diversas tecnologias modernas, como nas células fotovoltaicas, que convertem a energia da luz solar em eletricidade, sendo fundamentais na geração de energia solar. Além disso, o efeito

fotoelétrico é empregado em sensores de luz, como fotodetectores usados em câmeras digitais, alarmes de segurança e leitores de códigos de barras. Essa tecnologia também está presente em portas automáticas, que utilizam sensores fotoelétricos para detectar a presença de pessoas e abrir automaticamente (Alves & Santos, 2021).

8. O Brasil de 1808 até o ano miraculoso da Física

Nesta seção apresentamos os principais acontecimentos históricos que marcaram o desenvolvimento científico e social do Brasil entre 1808 e 1905. Entre eles, destacam-se a criação das primeiras instituições de ensino superior após a chegada da família real portuguesa, a abolição da escravidão em 1888 e a mudança do regime monárquico para a República em 1889. Também serão abordados os desafios enfrentados pelo Brasil no início do período republicano, como a modernização das cidades e o aumento das desigualdades sociais, visíveis no crescimento urbano acelerado e nas condições precárias de moradia. Além disso, será tratado o grave cenário de saúde pública no começo do século XX, com a ocorrência de epidemias e a importante atuação de Oswaldo Cruz, que liderou campanhas de vacinação obrigatórias e melhorias no saneamento básico, mesmo enfrentando forte resistência da população na chamada Revolta da Vacina. Em 1905, com o fim do estado de sítio, os direitos civis foram retomados e houve avanços notáveis na saúde pública graças ao trabalho de Oswaldo Cruz, apesar das dificuldades políticas e sociais do período. Todos esses eventos estão representados na **Figura 9**.

O Brasil: de 1808 até o Ano Miraculoso da Física



Figura 9: Ilustração dos principais eventos históricos que ocorrem no Brasil no período de 1808 até 1905.
Fonte: própria.

1808: O desenvolvimento científico no Brasil se iniciou a partir de 1808, com a chegada da família real portuguesa ao Rio de Janeiro. Um dos marcos desse processo foi a criação das primeiras escolas superiores do país, destacando-se a fundação da Escola de Cirurgia da Bahia (atual Faculdade de Medicina da Bahia) e da Escola de Cirurgia do Rio de Janeiro (atual Faculdade de Medicina da UFRJ), ambas em 1808. Essas instituições foram fundamentais para o início do ensino superior e da pesquisa científica no Brasil, especialmente nas áreas da saúde.

1888: A escravidão foi a base do trabalho no Brasil desde o período colonial, com início em meados do século XVI, quando os portugueses começaram a utilizar mão de obra escravizada africana nas plantações de açúcar e, posteriormente, em outras atividades econômicas. O regime escravagista perdurou por quase 400 anos e o Brasil foi um dos últimos países do mundo a abolir oficialmente a escravidão, o que ocorreu apenas em 13 de maio de 1888 com a assinatura da Lei Áurea (Gomes, 2024). Diante disso, surge uma questão essencial: o que aconteceu com as pessoas escravizadas após conquistarem a liberdade? (Domingues, 2014).

1889: Ano do fim do regime monárquico no Brasil e o início do período republicano. O movimento foi liderado por militares insatisfeitos com a monarquia. A mudança representou uma ruptura significativa na história brasileira, trazendo novos desafios para a organização política e social do Brasil.

1901: A recém-criada República do Brasil enfrentava muitos desafios. A política do país era dominada pelo setor do agronegócio, com o poder sendo alternado entre as oligarquias de São Paulo, principal produtora de café, e Minas Gerais, grande produtora de leite. Nas cidades, principalmente no Rio de Janeiro e em São Paulo, o crescimento urbano se acelerava devido ao aumento da migração interna e externa. No Rio de Janeiro, a Avenida Central (atualmente chamada de Avenida Rio Branco) simbolizava a modernização da cidade, enquanto o cortiço Cabeça de Porco, uma das primeiras favelas cariocas, evidenciava as desigualdades sociais e as condições precárias de moradia vividas por grande parte da população.

1904: o Brasil vivia grandes problemas sociais e de saúde pública, principalmente devido à falta de saneamento básico nas cidades. Epidemias de doenças como varíola, febre amarela e peste bubônica se espalhavam rapidamente, especialmente em centros urbanos como o Rio de Janeiro. Para enfrentar essa situação, o médico Oswaldo Cruz iniciou campanhas de vacinação obrigatórias e melhorias no

saneamento, com o objetivo de conter o avanço das doenças por meio da imunização da população. No entanto, essas medidas encontraram forte resistência popular, resultando na chamada Revolta da Vacina, um período de manifestações e confrontos entre a população e as autoridades. Diante da gravidade dos protestos e do tumulto nas ruas, o governo decretou estado de sítio, restringindo direitos civis e aumentando o controle sobre os cidadãos.

1905: Enquanto o mundo científico celebrava as descobertas revolucionárias de Einstein, o Brasil ainda buscava consolidar seu regime republicano, enfrentando problemas como a modernização das cidades e profundas desigualdades sociais. Nesse ano chegou ao fim o estado de sítio, instaurado após os intensos protestos da Revolta da Vacina em 1904. Com isso, os direitos civis foram restabelecidos e houve uma tentativa de pacificar o país após os conflitos entre a população e o governo causados pela vacinação obrigatória. Nesse cenário, Oswaldo Cruz teve papel de destaque no combate às epidemias urbanas, especialmente no Rio de Janeiro. Como diretor da Saúde Pública, ele liderou campanhas de vacinação e melhorias no saneamento básico, medidas que foram fundamentais para diminuir o número de doenças e promover o avanço da saúde pública, apesar da resistência inicial da população.

9. Da Revolta da Vacina ao Negacionismo: O Desafio da Ciência contra a Desinformação no Brasil

Oswaldo Cruz se destacou como o principal nome da ciência brasileira no início do século XX. Formou-se em Medicina pela Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro em 1892 e, desde o começo de sua carreira, demonstrou grande interesse por pesquisas, especialmente nas áreas de microbiologia e saúde pública. Sua sólida formação acadêmica permitiu que liderasse campanhas sanitárias essenciais no Brasil, tornando-se uma referência na medicina e um dos primeiros pesquisadores do país.

Sua atuação durante a Revolta da Vacina, em 1904, é um exemplo claro do confronto entre o avanço científico e a resistência causada pela falta de informação. Ao comandar campanhas de vacinação obrigatórias para combater epidemias como a varíola, Oswaldo Cruz enfrentou forte oposição da população, muitas vezes alimentada por boatos e desinformação (Aguilar, 2021).



Figura 10: A revolta da vacina e o negacionismo atual.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 02/10/2025.

Esse episódio histórico se relaciona diretamente com fenômenos atuais de negacionismo, como o movimento antivacina e a rejeição de evidências científicas em áreas como saúde pública e mudanças climáticas (veja **Figura 10**). Assim como em 1904, a falta de informação e a resistência à ciência continuam dificultando a implementação de soluções baseadas em conhecimento científico. Isso reforça a importância constante da educação, do diálogo e de políticas públicas que valorizem a ciência como caminho para o progresso coletivo.

No passado, a recusa em seguir orientações científicas causou mais de 6.000 mortes por varíola somente no Rio de Janeiro. Recentemente, a pandemia de Covid-19 levou à morte de mais de 700 mil pessoas em todo o Brasil. Diante desses dados, é importante refletir: quantas vidas ainda estão sendo perdidas todos os dias devido à rejeição das vacinas? Doenças como sarampo e paralisia infantil, que já haviam sido erradicadas, estão reaparecendo justamente por causa da resistência ao uso de imunizantes.

Os riscos à nossa sobrevivência vão além das doenças. Um exemplo evidente do valor da ciência está nas pesquisas que revelaram os efeitos prejudiciais dos clorofluorcarbonos (CFCs) sobre a camada de ozônio. Durante mais de cinquenta anos, os CFCs foram os principais causadores do enfraquecimento acelerado dessa camada, que é essencial para proteger todas as formas de vida no planeta. Se não fosse pela atuação da ciência, provavelmente a camada de ozônio teria sido diminuída a ponto de comprometer a própria sobrevivência humana na superfície do planeta, tornando nossa existência muito mais difícil (Newman, et al., 2009).

A confirmação de que a ciência foi decisiva para salvar a humanidade veio recentemente, com o relatório da ONU divulgado em janeiro de 2023 pelo Painel de Avaliação Científica da Convenção de Viena sobre a Camada de Ozônio. O

documento mostra que a camada está se recuperando devido à redução do uso de substâncias como os CFCs, uma conquista do Protocolo de Montreal. A expectativa é de que a camada de ozônio esteja totalmente recuperada até 2040 na maior parte do planeta e até 2066 na Antártica (Unidas, 2023).

Diante desse cenário, vale destacar a célebre frase do físico Marcelo Gleiser*: “A ciência não é uma escolha, é uma necessidade”. Agora, mais do que nunca, é fundamental recorrer ao conhecimento científico para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, que impactam diretamente os recursos naturais, a saúde, a economia e os direitos humanos. Essas mudanças já estão provocando o surgimento de um novo grupo de pessoas em situação de grande vulnerabilidade, conhecidos como “refugiados ambientais” (Blank, 2015).

** Marcelo Gleiser é brasileiro, cientista de renome internacional, professor de física e astronomia no Dartmouth College (EUA) e ativo divulgador da ciência.*

10. O papel das mulheres no desenvolvimento da teoria quântica

Durante o século XIX as mulheres enfrentavam restrições severas ao acesso à educação formal e às universidades, além de preconceitos que limitavam sua participação em ambientes acadêmicos e científicos. O papel tradicional atribuído à mulher, restrito ao ambiente doméstico, dificultava ainda mais sua inserção em carreiras científicas.

Mesmo diante dessas dificuldades Marie Curie se destacou como um exemplo extraordinário. Ela foi a primeira mulher a obter um doutorado em Física na Europa e conquistou dois Prêmios Nobel, rompendo barreiras ao realizar pesquisas pioneiras sobre radioatividade. Curie enfrentou preconceito de gênero, xenofobia e diversas restrições institucionais ao longo de sua carreira.

Outro exemplo que merece destaque é Mileva Marić, colega de classe e primeira esposa de Albert Einstein. Marić, formada em Matemática e Física, colaborou intelectualmente com Einstein em seus primeiros trabalhos, apesar de sua contribuição não ser amplamente reconhecida pela história oficial. A trajetória de ambas evidencia como, apesar das adversidades, algumas mulheres conseguiram deixar uma marca significativa na ciência do século XIX e início do século XX.

A seguir, será apresentado um breve relato sobre a história dessas duas mulheres notáveis.

Marie Curie: superação e impacto científico global



Figura 11: Ilustração do trabalho de Marie Curie.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 02/10/2025.

Marie Curie nasceu em Varsóvia, na Polônia, em 1867, período em que o país estava sob ocupação russa, o que dificultava especialmente o acesso de mulheres ao ensino superior. Desde jovem, ela demonstrava grande interesse pelas ciências. Com muita determinação, decidiu se mudar para Paris, onde conseguiu se formar em Física e Matemática pela Universidade de Sorbonne.

Junto com seu esposo, Pierre Curie, Marie realizou pesquisas pioneiras sobre radioatividade. Seu trabalho levou à descoberta de dois novos elementos químicos, o polônio e o rádio, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1903, dividindo o prêmio com Pierre Curie e Henri Becquerel (veja **Figura 11**). Anos depois, em 1911, conquistou seu segundo Prêmio Nobel, desta vez em Química, tornando-se a primeira pessoa a receber dois prêmios em áreas científicas distintas.

Além de suas contribuições essenciais para a ciência, destaca-se também seu importante papel social. Durante a Primeira Guerra Mundial Marie Curie se

envolveu ativamente no desenvolvimento de unidades móveis de radiografia, que foram fundamentais para o tratamento de soldados feridos nos campos de batalha.

Marie Curie foi mãe de duas filhas: Irène Joliot-Curie e Ève Curie. Irène seguiu a carreira científica da mãe, tornando-se uma Física e Química de destaque. Junto com seu esposo, Frédéric Joliot-Curie, Irène recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1935 pelo trabalho sobre a produção de elementos radioativos sintéticos. Um fato curioso é que Frédéric adotou o sobrenome da esposa, o que é incomum, já que normalmente é a mulher quem assume o sobrenome do esposo após o casamento.

Por outro lado, Ève Curie seguiu um caminho diferente da mãe e da irmã, optando por não atuar na área científica. Ela se destacou como escritora, jornalista e pianista, e é autora da conhecida biografia “Madame Curie”, sobre sua mãe, disponível em português em edições recentes (Curie, 2023). Assim, tanto Irène, que se tornou uma cientista premiada, quanto Ève, que obteve sucesso nas artes e na literatura, demonstram como a família Curie exerceu influência marcante em diversos campos do saber.

A história de Marie Curie é marcada pela superação dos obstáculos impostos às mulheres e por seu compromisso incansável com a pesquisa, sendo hoje uma grande inspiração para cientistas e mulheres ao redor do mundo.

Mileva Marić: a mente feminina por trás das equações de Einstein

Mileva Marić (**Figura 12**) nasceu em Titel, na Sérvia, em 19 de dezembro de 1875, filha de um oficial do Império Austro-Húngaro. Destacou-se como Física e Matemática e foi uma das primeiras mulheres a estudar essas disciplinas na Europa. Ela ingressou no Instituto Politécnico de Zurique, onde conheceu Albert Einstein. Embora seja frequentemente lembrada como a primeira esposa de Einstein, sua participação nos primeiros trabalhos científicos do físico foi amplamente ignorada. Mileva possuía um talento excepcional para a Matemática e seu papel no desenvolvimento científico merece ser reconhecido junto ao de Einstein.

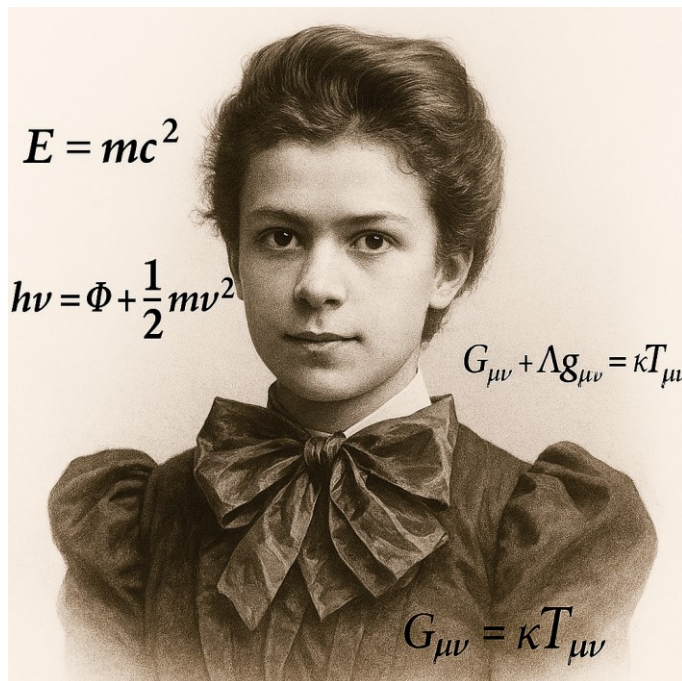


Figura 12: Mileva Marić – a colaboradora de Einstein.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 02/10/2025.

11. Do que as coisas são feitas? A Jornada para entender a matéria



Figura 13: Ilustração do modelo atômico de Bohr e Schrödinger.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 09/10/2025.

A busca para entender do que a matéria é feita começou ainda na época dos filósofos antigos, mas só avançou de verdade com o surgimento da Mecânica Quântica. Max Planck contribuiu ao propor o conceito de “quanta” para explicar como corpos negros emitem ou absorvem radiação eletromagnética. Albert Einstein aplicou essa ideia para esclarecer o efeito fotoelétrico mostrando que a luz também pode ser vista como partículas chamadas fótons. Em 1913, Niels Bohr aplicou o conceito de quantização ao seu modelo do átomo, esclarecendo como os elétrons

mudam de nível de energia ao absorver ou emitir fótons. A grande revolução veio em 1926, quando Erwin Schrödinger desenvolveu modelos matemáticos que permitiram descrever o comportamento dos elétrons no átomo de hidrogênio. Mais tarde, esse modelo foi estendido para todos os átomos da tabela periódica e para moléculas. Assim, podemos dizer que o modelo de Bohr foi o primeiro a considerar a quantização da energia no átomo, enquanto o modelo de Schrödinger representa o modelo puramente quântico para o átomo (veja **Figura 13**).

Hoje, sabemos que toda a matéria é composta por átomos, que, por sua vez, são formados por partículas ainda menores, conhecidas como partículas subatômicas — entre elas, os elétrons. Essas partículas, descritas pela teoria quântica, apresentam comportamentos muito diferentes do que estamos acostumados a observar no cotidiano. No universo quântico, não conseguimos medir ao mesmo tempo, com exatidão, a posição e a velocidade de uma partícula, como fazemos, por exemplo, ao observar um carro em movimento. Em vez disso, trabalhamos com probabilidades: utilizando a função de onda, que descreve os sistemas quânticos, conseguimos determinar onde é mais provável encontrar uma partícula em determinada região do espaço. Assim, as partículas quânticas possuem propriedades realmente estranhas e, ao mesmo tempo, fascinantes.

12. Quem tem medo de matemática?

Usamos a fala e a escrita para nos expressar e trocar informações. Você consegue ler este texto porque desenvolveu essa habilidade há muito tempo, passando por um processo de aprendizagem. Normalmente, começamos pelas vogais, depois aprendemos as consoantes, formamos sílabas, reconhecemos palavras e, posteriormente, juntamos essas palavras para formar frases. Com o tempo, aprendemos as regras para construir frases e, assim, conseguimos escrever nossos próprios textos. Esqueci de algo? Acho que não. E ninguém sente medo de aprender a ler. Afinal, a leitura abre um universo ilimitado de comunicação, que fica ainda mais rico quando aprendemos outros idiomas.

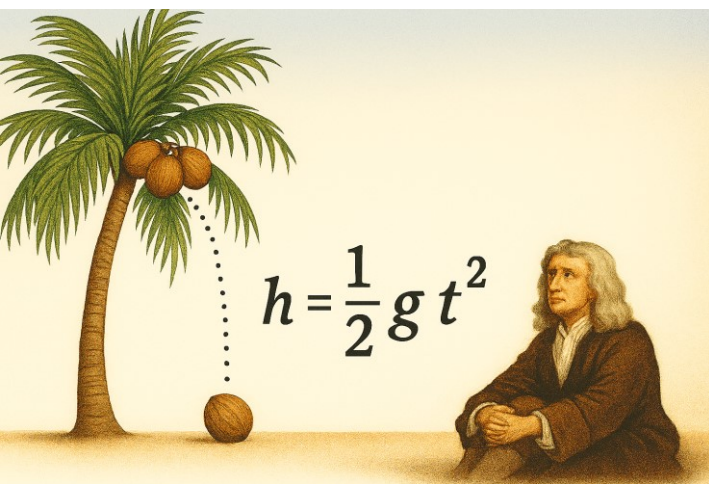


Figura 14: Ilustração de como a matemática pode ajudar a interpretar o mundo.

Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 08/10/2025.

A matemática segue princípios semelhantes aos da linguagem, funcionando como uma forma de interpretar o mundo ao nosso redor. Por exemplo, você pode descrever em palavras um coco caindo de um coqueiro: falar sobre o ambiente, o vento, a altura do cacho e o instante em que o coco toca o chão. A Matemática faz o mesmo, mas utiliza equações para representar esse fenômeno, criando um modelo que pode ser aplicado a qualquer coco caindo de qualquer

coqueiro (**Figura 14**). É assim que funciona: a Matemática representa sistemas, sejam eles concretos ou abstratos, permitindo que compreendamos e expliquemos diversos acontecimentos.

Todas as teorias desenvolvidas nas ciências exatas e da natureza e em outras áreas só se tornaram possíveis graças à matemática. No caso da teoria quântica, por exemplo, a matemática foi a principal ferramenta utilizada para descrever os fenômenos que intrigavam os cientistas. Com o uso de ferramentas matemáticas avançadas, como álgebra linear, cálculo diferencial e análise de probabilidades, foi possível formular leis que descrevem o comportamento das partículas elementares e suas interações. Sem essas ferramentas, não seria possível representar os resultados dos experimentos — como o estudo da radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico — em modelos matemáticos precisos.

Uma das principais vantagens dos modelos matemáticos é a capacidade de antecipar fenômenos que só serão confirmados experimentalmente anos depois. Um exemplo marcante disso é a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, que previa que a luz poderia ser desviada ao passar perto de grandes massas, como a do Sol. Embora Einstein tenha publicado essa teoria em 1915, a confirmação só veio em 1919, durante um eclipse solar, quando foi observado o desvio da luz das estrelas.

Outro exemplo interessante da aplicação da Matemática vem do desenvolvimento da Química Computacional, que falaremos depois. A sólida formação de John Pople em Matemática, seguindo a tradição iniciada por Newton em Cambridge, na Inglaterra, permitiu que ele implementasse programas e algoritmos computacionais eficientes de Química Quântica para o cálculo de inúmeras propriedades moleculares, um árduo trabalho feito em mais de quatro décadas. Walter Kohn, um dos principais criadores da teoria do funcional da

densidade (do inglês, *Density Funcional Theory* - DFT), também precisou de grande conhecimento matemático para o desenvolvimento desta teoria. Por estes trabalhos os dois compartilharam o prêmio Nobel de Química de 1998. Hoje em dia é praticamente impossível realizarmos pesquisas em modelagem molecular sem precisarmos recorrer aos métodos criados por estes cientistas.

Quer aprender sobre teorias que possibilitam prever resultados futuros? Então, comece estudando matemática.

13. Uso da Teoria Quântica em Pseudociências

A teoria quântica é resultado de um processo científico rigoroso. Para construir uma teoria, a ciência segue etapas essenciais do método científico: primeiro, observa-se um fenômeno e se propõe uma hipótese para explicá-lo (**Figura 15**). Na sequência, realizam-se experimentos ou estudos adicionais para testar essa hipótese, com coleta de dados de forma controlada e sistemática. Se diferentes pesquisadores repetirem esses experimentos e obtiverem resultados semelhantes, a hipótese pode ser transformada em uma teoria, ou seja, uma explicação fundamentada para determinado fenômeno. Já mencionamos alguns

experimentos que deram origem à teoria quântica. O método científico consiste em um processo contínuo que envolve constante revisão: novas evidências podem fortalecer ou alterar a teoria existente. Por isso, teorias científicas não são verdades absolutas, mas modelos que procuram explicar a realidade com base em observações, experimentos e raciocínio lógico. O rigor do método científico é o que diferencia o conhecimento científico de crenças pessoais ou interpretações subjetivas.

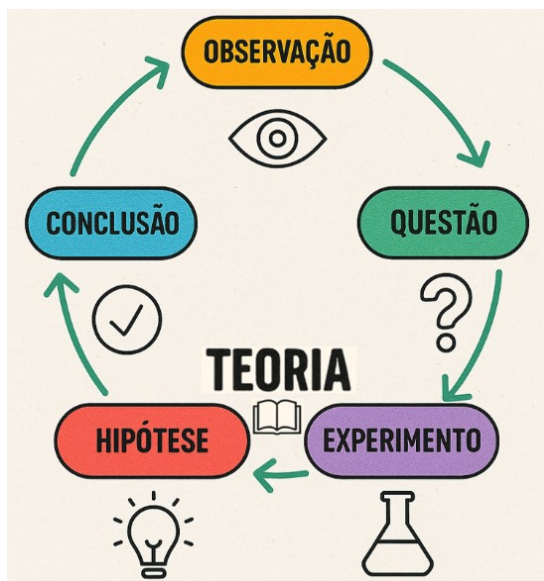


Figura 15: Ilustração do método científico.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 08/10/2025.

Atualmente, ao ouvir o termo “quântico”, muitas pessoas imediatamente o associam a profissionais que se autodenominam “coaches quânticos”. Esses indivíduos afirmam ser capazes de ajudar outras pessoas a alcançarem objetivos pessoais ou profissionais, alegando utilizar conceitos que teriam origem na teoria quântica. Na prática, esses *coaches* misturam ideias de motivação, desenvolvimento pessoal e interpretações livres de termos da Física, como “energia”, “frequência” e “colapso da função de onda” para criar métodos de mudança de comportamento e de conquista de metas. No entanto, esses métodos geralmente têm um valor financeiro considerável, e quem costuma obter maiores benefícios desse processo é o próprio *coach*, assim como acontece em esquemas como o “jogo do tigrinho”.

É bem provável que cientistas como Planck, Einstein, Heisenberg e Marie Curie — cujas descobertas sobre radiação foram fundamentais para a teoria quântica — se surpreendessem ao ver como hoje em dia alguns pseudoprofissionais distorcem os conceitos que eles criaram. Talvez ficassem espantados ao perceber que suas ideias estão sendo usadas em abordagens que nada têm a ver com o rigor científico que guiou suas pesquisas.

14. Mecânica Quântica e a Química Computacional: duas faces de uma mesma moeda

Apesar do que pode parecer à primeira vista, a Mecânica Quântica não é uma teoria exclusiva dos físicos, nem criada apenas para eles — a Química está profundamente conectada a esse campo. O principal foco da Química é entender e promover a transformação da matéria por meio das reações químicas, sendo uma ciência essencialmente experimental. Mas é importante lembrar que os experimentos não se limitam ao uso de vidrarias e reagentes em laboratório; eles também podem ser realizados por meio de simulações computacionais. Assim como

os cientistas da NASA simulam na Terra as condições de vida no espaço antes de uma missão, os grandes laboratórios farmacêuticos avançam na síntese de novos medicamentos realizando simulações que comprovam a eficácia das substâncias. A Química Computacional, portanto, utiliza os princípios da Mecânica Quântica para realizar simulações das reações químicas. Podemos dizer que a Química Computacional é, de certa forma, uma vertente do lado experimental da Mecânica Quântica.

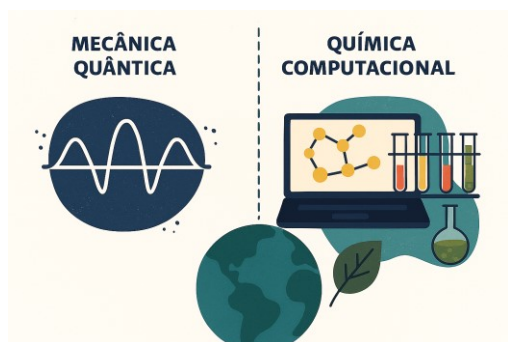


Figura 16: Mecânica Quântica e a química computacional.
Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 09/10/2025.

Portanto, a Mecânica Quântica e a Química Computacional representam duas faces de uma mesma moeda: enquanto a Mecânica Quântica fornece a base teórica para entender como a matéria se comporta em níveis atômicos e moleculares, a Química Computacional utiliza esses princípios para simular, prever e criar novas substâncias e materiais. Essa integração é essencial para solucionar problemas atuais, como o desenvolvimento de materiais inovadores e a busca por alternativas sustentáveis que contribuam para a preservação do planeta (veja a **Figura 16**).

15. Desafios Globais e Soluções Científicas: O Papel da Química Computacional



Figura 17: Os desafios e o negacionismo científico.

Fonte: gerado por Microsoft Copilot em 08/10/2025.

Se tivéssemos que resumir a nossa existência no Planeta Terra em uma única frase, seria: estamos sozinhos. Até hoje, não há nenhuma evidência científica de que exista, em todo o Universo conhecido, outro lugar com vida. É possível que nosso planeta seja realmente único e singular, sem outro local com formas de vida como as que temos aqui. No fim das contas, simplesmente não sabemos.

Aqui, na singularidade da Terra, vivemos diante de uma dicotomia: de um lado, precisamos enfrentar desafios que só podem ser resolvidos com o apoio da ciência; de outro, temos que lidar com pessoas que rejeitam ou negam o conhecimento científico (veja **Figura 17**).

Diante de uma sociedade marcada tanto pela desinformação quanto por enormes desafios que ameaçam nossa sobrevivência, é fundamental que mais pessoas compreendam o funcionamento da ciência. A participação de todos é essencial. Nesta seção, vamos apresentar alguns dos principais problemas atuais e mostrar, com exemplos, como a Química Computacional pode contribuir na busca por soluções.

- Captura de CO₂

Por um lado, existem vários indícios de que a Terra já não consegue mais absorver o CO₂ que produzimos, resultando no aumento da temperatura global. Diversos alertas apontam que talvez já tenhamos ultrapassado um ponto de não retorno, levando o planeta a buscar um novo equilíbrio que pode não ser adequado para a nossa sobrevivência. Por outro lado, ainda há pessoas que negam essa realidade.

A Química Quântica Computacional pode ter um papel importante no combate ao aumento do CO₂ na atmosfera e, conseqüentemente, ao aquecimento global. Utilizando simulação computacional é possível projetar novos materiais, como catalisadores e adsorventes, que sejam mais eficientes e seletivos na captura de CO₂. Além disso, é possível também transformar o CO₂ capturado em outros produtos, como combustíveis sintéticos ou substâncias químicas usadas na indústria. Isso torna o reaproveitamento desse gás uma alternativa mais sustentável e viável. Dessa forma, os avanços nessa área podem contribuir para diminuir a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, ajudando a evitar que o planeta ultrapasse limites irreversíveis para o clima, como mencionado anteriormente.

- Novos materiais

Atualmente, mares, lagos e rios enfrentam sérios problemas de poluição, provocados por indústrias, lançamento de esgoto, descarte de plásticos e outros poluentes. Um dos maiores desafios é a grande quantidade de microplásticos encontrada nos peixes. Diante disso, é essencial que a ciência busque criar materiais biodegradáveis capazes de substituir o plástico comum. Até que isso se torne realidade, é necessário diminuir tanto a produção quanto o uso de embalagens plásticas. No entanto, continuamos utilizando sacolas plásticas até para pequenas compras no supermercado, mesmo sabendo que esse material pode levar centenas

de anos para se decompor. Essa atitude revela, em parte, um comportamento que se aproxima do negacionismo.

A Química Computacional pode ser uma grande aliada no desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis para substituir o plástico comum. Por meio dessas ferramentas, é possível simular como diferentes substâncias irão se comportar no meio ambiente, o que acelera o desenvolvimento de alternativas menos prejudiciais para mares, lagos e rios. Além disso, a Química Computacional permite estudar as reações químicas envolvidas na degradação de microplásticos, facilitando a criação de catalisadores ou enzimas capazes de minimizar esse problema. Dessa forma, é possível propor soluções inovadoras que reduzem o impacto dos resíduos plásticos, tornando a transição para materiais biodegradáveis mais rápida e eficaz.

- Produção de Alimentos

Atualmente, mais de 8 bilhões de pessoas vivem no nosso planeta e todas precisam de alimentos para sobreviver. Entretanto, a quantidade de terra disponível para produção agrícola está diminuindo, seja pela infertilidade causada pelo uso inadequado do solo, seja pelos efeitos do aquecimento global. Diante desse cenário, é fundamental que a ciência desenvolva, com urgência, novas tecnologias capazes de aumentar a produção de alimentos nessas condições adversas.

A Química Computacional pode ser uma grande aliada na busca por soluções para aumentar a produção de alimentos, especialmente diante do desafio da escassez de terras agrícolas e dos impactos das mudanças climáticas. Com o uso de simulações, é possível projetar moléculas que podem ser usadas como fertilizantes e defensivos agrícolas mais eficientes, adaptando-se a diferentes tipos de solo e reduzindo danos ao meio ambiente. Além disso, essas moléculas podem

funcionar como bioestimulantes, ajudando no crescimento das plantas mesmo em condições desfavoráveis de temperatura, umidade e nutrientes.

A colaboração entre químicos e biólogos, apoiada pela Química Computacional, permite identificar e criar plantas mais resistentes a pragas, doenças e outros fatores de estresse ambiental. Mesmo sendo um mecanismo extremamente complexo, é possível tentar entender como ocorre a resistência das plantas em nível molecular, orientar modificações genéticas e acelerar o desenvolvimento de sementes que se adaptam a solos pobres ou climas extremos. Esse trabalho conjunto favorece o surgimento de tecnologias inovadoras que podem contribuir diretamente para a segurança alimentar mundial, tornando a agricultura mais produtiva, sustentável e preparada para enfrentar os desafios ambientais do nosso tempo.

- Novos Fármacos, Medicamentos e Vacinas

Não somos os únicos seres vivos que lutam pelo direito de existir. Compartilhamos o planeta com uma enorme variedade de seres, incluindo vírus, bactérias, fungos e outros microrganismos patogênicos, que também buscam sobreviver — muitas vezes usando nosso corpo como hospedeiro. Atualmente, enfrentamos o desafio das bactérias super-resistentes e ainda sofremos com os impactos de uma pandemia viral que paralisou o mundo. Por isso, é essencial que a ciência siga desenvolvendo novos medicamentos, vacinas e tratamentos para garantir nossa sobrevivência. Entretanto, existem pessoas que negam a eficácia das vacinas. Se fossem coerentes, essas pessoas também precisariam recusar outros avanços científicos na saúde, como analgésicos, antibióticos, transplantes e até procedimentos simples, como o uso de gesso para imobilizar ossos quebrados.

Para quem confia e valoriza a ciência, há motivos para otimismo. A Química Computacional está se tornando cada vez mais importante na criação de novos remédios, vacinas e tratamentos. Com o uso de simulações em computador é possível analisar em detalhes como diferentes substâncias agem contra vírus, bactérias e outros microrganismos causadores de doenças. Isso ajuda a identificar, de forma relativamente rápida, quais moléculas têm mais chance de funcionar como princípio ativo, acelerando e barateando o desenvolvimento de novas opções terapêuticas.

Além disso, a Química Computacional possibilita prever a eficácia e os possíveis efeitos colaterais de compostos antes mesmo de serem testados em laboratório ou em seres vivos. Com essas ferramentas, é possível modificar estruturas químicas para torná-las mais seguras e eficazes, acelerando o desenvolvimento de medicamentos e vacinas para combater doenças infecciosas, inclusive aquelas causadas por bactérias super-resistentes e vírus emergentes.

- Medicina de Precisão

Enquanto algumas pessoas desacreditam da ciência, aquelas que enfrentam doenças graves seguem esperando com esperança por uma cura. A ciência, porém, não para de avançar e traz novidades importantes. Mesmo sem uma cura definitiva para enfermidades sérias, como câncer e doenças neurodegenerativas — a exemplo do Alzheimer, Parkinson, Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA), Huntington e Esclerose Múltipla — os tratamentos têm apresentado avanços notáveis, melhorando a qualidade e a expectativa de vida dos pacientes. Uma dessas inovações é a chamada medicina de precisão, que se destaca por adaptar o tratamento às características individuais de cada pessoa. Ao contrário das terapias convencionais, que seguem um protocolo igual para todos, a

medicina de precisão considera fatores genéticos, ambientais e o estilo de vida do paciente, tornando os tratamentos mais eficazes e com menos efeitos colaterais.

Assim como acontece com qualquer tecnologia inovadora, a medicina de precisão — que personaliza os tratamentos — ainda é muito cara e não está ao alcance da maior parte da população. Da mesma forma que no desenvolvimento de novos medicamentos, a integração entre a Química e a Medicina pode contribuir significativamente para tornar essa abordagem mais acessível. Por meio de simulações computacionais, é possível analisar as características genéticas dos indivíduos e identificar padrões que simplificam as etapas do tratamento. Isso facilita o avanço da tecnologia, tornando-a mais disponível no futuro, além de desempenhar um papel essencial na busca por soluções inovadoras para os desafios da saúde, impulsionando o progresso científico e protegendo vidas.

16. Considerações Finais

A teoria quântica não apenas transformou nosso entendimento sobre a matéria e a luz, mas também proporcionou avanços tecnológicos que hoje permeiam diferentes áreas, como Química, engenharia, medicina e comunicação. Neste capítulo, abordamos como essa teoria se desenvolveu, sua relação com o progresso científico em geral e os principais acontecimentos históricos ligados à ciência no Brasil. Também destacamos a importância das mulheres nesse processo e discutimos os grandes desafios enfrentados atualmente pela humanidade.

No contexto brasileiro, vimos como o desenvolvimento científico esteve historicamente ligado à superação de desafios sociais, como a abolição da escravidão, a modernização das cidades e as campanhas de saúde pública lideradas por Oswaldo Cruz. Episódios como a Revolta da Vacina ilustram a tensão entre conhecimento científico e resistência social, tema que permanece atual diante do negacionismo e da desinformação.

Além disso, reconhecemos o papel fundamental das mulheres na ciência, enfrentando barreiras e contribuindo de forma decisiva para o progresso do conhecimento, como exemplificado pelas trajetórias de Marie Curie e Mileva Marić. Por fim, discutimos como os desafios globais — do aquecimento global à produção de alimentos, da poluição à criação de novos medicamentos — exigem soluções baseadas em ciência e tecnologia. A Química Computacional, tanto com os métodos quânticos ou clássicos, destaca-se como ferramenta essencial na busca por novas moléculas ou para entender mecanismos de reações complexas que possam ajudar a humanidade a resolver seus graves problemas.

Esperamos que este livro desperte o interesse de estudantes do ensino médio, contribuindo para que escolham seguir carreiras em ciências exatas e da natureza. Convidamos todos a se juntarem a nós no compromisso contínuo de promover o avanço científico e utilizar a ciência como instrumento de transformação social, sempre em busca de uma sociedade mais justa, saudável e sustentável. Para concluir, lembramos as palavras de Louis Pasteur: “Não existe ciência aplicada, existem apenas aplicações da ciência”. Fazer pesquisa científica é como montar um quebra-cabeças sem saber qual será a imagem final, pois cada nova descoberta pode transformar completamente o cenário. Junte-se a nós nessa jornada emocionante e permanente em busca do conhecimento.

17. Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão à Professora Claudia Moraes de Rezende, do Instituto de Química da UFRJ, pelas valiosas revisões, sugestões e, especialmente, pela generosidade em redigir o prefácio deste volume. Também agradecemos ao Professor Hélio Anderson Duarte, do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais, pelas revisões criteriosas e sugestões construtivas. Consideramos uma grande honra poder contar com a colaboração de ambos em nossa obra.

Agradecemos à Sociedade Brasileira de Química (SBQ) pelo convite para integrar a celebração do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica.

A produção científica só é possível graças ao financiamento adequado. Reconhecemos, portanto, o papel fundamental dos órgãos de fomento que tornaram este trabalho viável, assim como toda a produção do nosso grupo.

Agradecemos ao CNPq pelas bolsas de produtividade (processos 303625/2025-2 (EV) e 313398/2023-2 (SAM)), pelas bolsas concedidas aos nossos estudantes de mestrado, doutorado e iniciação científica, e pelo financiamento do Instituto Nacional de Ciências Moleculares – INCT-CiMol (CNPq 406804/2022-2), que permitiu a integração de pesquisadores de diferentes regiões do Brasil e do exterior.

Agradecemos também à Finep, responsável pela infraestrutura de equipamentos que garantem o pleno funcionamento dos nossos laboratórios, e à Capes, pelas bolsas oferecidas aos nossos alunos de pós-graduação.

18. Bibliografia

- Aguiar, E. (2021). *A Revolta da Vacina e o negacionismo dos positivistas*. Zelig.
- Alves, E. G., & Santos, A. L. (2021). Efeito fotoelétrico: desenvolvimento de um experimento quantitativo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, p. e20210146. doi:<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0146>
- Blank, D. M. (2015). O Contexto das Mudanças Climáticas e as Suas Vítimas. *MERCATOR*, 14, pp. 157-172. doi:<https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0010>
- Curie, È. (2023). *Madame Curie*. LIVROS DO BRASIL (PORTUGAL).
- Domingues, F. G. (2014). *Políticas da raça: Experiências e legados da abolição e da pós-emancipação no Brasil*. Selo Negro.
- Gomes, L. (2024). *Trilogia Escravidão - I: Do primeiro leilão de cativos em Portugal até a morte de Zumbi dos Palmares; II: Da corrida do ouro em Minas Gerais até a chegada da corte de Dom João ao Brasil, III: Da Independência à Lei Áurea*. Globo Livros.
- Gontijo, L. M., & Rodrigues, C. G. (2022). Radiação térmica e a fórmula de Planck. *Química Nova*, 10, pp. 1303-1314. doi:<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170942>
- Newman, A. L., Oman, A. R., Fleming, E. L., Frith, S. M., Kawa, S. R., Jackman, C. H., . . . Velders, G. J. (2009). What would have happened to the ozone layer if. *Atmospheric Chemistry and Physics*, pp. 2113–2128.
- Pires, F. S., Lima, N. W., Muzy, P. d., & Rabelo, W. R. (2024). A teoria da informação quântica e sua computação na Revista Brasileira de Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, p. e20240225. doi:<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0225>
- Polito, A. M. (2017). Radiação de Corpo Negro e os Primórdios da Física Quântica. *Physicae Organum - Brasília*, 3, pp. 154-171.

Stachel, J. (2004). 1905 e tudo o mais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27, pp. 5-9.

Unidas, N. (10 de Janeiro de 2023). *ONU News*. Fonte:

<https://news.un.org/pt/story/2023/01/1807817#:~:text=Especialistas%20apoiados%20pela%20ONU%20afirmam%20que%20restaura%C3%A7%C3%A3o%20pode,99%25%20de%20subst%C3%A2ncias%20nocivas%20a%20camada%20de%20oz%C3%B4nio.>



Uma produção SBQ - Sociedade Brasileira de Química

www.s bq.org.br

