



## Episódio 05 - COERÊNCIA MANDOU LEMBRANÇAS

*"Itálico"*: Excerto de fala de pseudociência

[entre colchetes]: efeito sonoro

**ABERTURA** \*\*\*\*\*

[intro - baixo]

**Leo** - Ok, pensa em um pêndulo.

**Lu** - Como assim? Um pêndulo desses de hipnotizador? Tipo um relógio de bolso balançando por uma correntinha? [barulho de tic-tac rápido]

**Leo** - Não, com esse não funciona. Tem que ser um pêndulo de haste rígida, daqueles que ficam passando de um lado para o outro naqueles relógios de parede, sabe? Que a gente vê em filme antigo. [tic-tac mais lento e grave, algumas badaladas]

**Lu** - Tá, pensei.

**Leo** - Tá, agora esquece o relógio e fica só com o pêndulo. Imagina que a parte de cima da haste do pêndulo tá fixada numa parede. Agora, o que acontece com quando você ergue a parte de baixo e solta?

**Lu** - Como assim?

**Leo** - Que tipo de movimento o pêndulo faz?

**Lu** - Ele fica indo de um lado pro outro.

**Leo** - Para sempre?

**Lu** - Não, acho que com o tempo vai perdendo força né, até que pára completamente. [pêndulo oscilando até parar]

**Leo** - Pois é, quando a gente descreve matematicamente esse pêndulo, considerando o comprimento da haste, a força da gravidade, a resistência do ar, etc, essa posição em que o pêndulo eventualmente pára, em repouso, a gente pode chamar de posição de equilíbrio. Mais ainda, nesse caso, a gente fala que essa é uma posição de equilíbrio estável, porque toda vez que o pêndulo tá nessa posição e a gente perturba ele né, a gente vai lá e dá um peteleco nele, ele oscila, oscila até perder força e voltar novamente a essa mesma posição de repouso. [oscilação até parar]

**Gláucia** - É, mas tem outra posição, além dessa né, em que o pêndulo fica paradinho também.

**Lu** - Como assim?

**Gláucia** - Se você posicionar com todo o cuidado o pêndulo na vertical, mas para cima, como se ele tivesse plantando bananeira, ele também vai ficar paradinho lá.

**Lu** - Hmmmm. Então por isso que não podia ser um relógio de bolso.

**Leo** - É, por isso que a haste tinha que ser rígida. Essa posição, pêndulo plantando bananeira, também é uma posição de equilíbrio do sistema. Mas nesse caso não é um equilíbrio estável: se houver a mínima perturbação nesse pêndulo, se a gente assoprar [assopro], ele já cai e oscila até parar lá embaixo [oscilação até parar].

**Lu** - Tá, mas esse pêndulo é quântico?

**Leo** - Quântico? Não, é um pêndulo normal, de relógio de parede.

**Lu** - Então por que vocês tão falando nele?

**Leo** - Porque a grande pergunta que a gente vai tentar responder no episódio de hoje é: por que a gente não encontra fenômenos quânticos no nosso dia a dia? E a resposta é um pouco parecida com essa situação do pêndulo. O mundo clássico, que é o que a gente vê no nosso cotidiano, é como se fosse o pêndulo paradinho, lá embaixo. É um ponto de equilíbrio estável: sempre que a gente sai um pouquinho desse mundo clássico [peteleco], logo a gente volta para ele [oscilação até parar]. Já o mundo quântico, onde a gente encontra fenômenos quânticos, é como o pêndulo na vertical lá em cima, equilibrado de maneira meio precária. É como se o mundo quântico fosse um ponto de equilíbrio instável, que qualquer assoprão [assopro] já faz ele cair de volta ao mundo clássico [oscilação até parar]. Ou seja, as condições pra que aconteçam essas coisas quânticas estranhas que a gente vem contando aqui são super específicas e super frágeis, difíceis de serem sustentadas por um longo período de tempo.

**Lu** - Eu sou a Luciane Treulieb, jornalista e divulgadora científica na Universidade Federal de Santa Maria.

**Gláucia** - Eu sou a Gláucia Murta, física e pesquisadora da Universidade de Düsseldorf na Alemanha.

**Leo** - E eu sou Leonardo Guerini, matemático e professor também na UFSM. Esse é o podcast O Q Quântico. [baixo] Hoje, no primeiro bloco a gente vai falar sobre isolamento e o que a teoria de Darwin tem a ver com quântica. No segundo bloco, a gente vai responder se a lua tá no céu quando ninguém tá olhando. E no terceiro bloco a gente fala da relação da fotossíntese das plantas e da migração dos pássaros com a teoria quântica. Vem com a gente, que tá começando o Episódio 5: Coerência mandou lembranças.

[gato]

## **BLOCO 1: ISOLAMENTO E DECOERÊNCIA \*\*\*\*\***

**Gláucia** - Como a gente vem falando há alguns episódios, a teoria quântica surge quando os experimentos começam a mostrar que coisas inesperadas acontecem quando a gente estuda o comportamento de fótons, elétrons e átomos.

**Leo** - Esses fenômenos quânticos só começaram a aparecer no início do século 20, em parte porque antes disso a gente não tinha tecnologia suficiente pra acessar e manipular sistemas tão pequenos. Aliás, foi só por essa época que a gente começou a ter evidências de que a matéria era mesmo formada por átomos e da existência do fóton e do elétron.

**Gláucia** - Foi importante a tecnologia avançar o suficiente pra gente conseguir trabalhar com esses objetos, ou sistemas, muito muito pequenos, porque um fator essencial pra poder observar superposição e outras características quânticas é que os sistemas estejam bem isolados de tudo que está ao seu redor. O isolamento é um conceito bem importante que vai aparecer bastante ao longo do episódio, mas ele é basicamente isso que você imagina mesmo: deixar um sistema, ou objeto isolado, ou seja, sem interagir com nada, nem outro sistema e nem mesmo com a luz.

**Bárbara Amaral:** Então você pode ter as coisas super microscópicas, mas se ele interage com o ambiente de determinadas formas, já era suas características quânticas.

**Gláucia** - Essa quem fala é a Bárbara Amaral, professora do departamento de física da Universidade de São Paulo. Como diz a Bárbara, não adianta fazer experimentos com elétrons preparados com todo cuidado se, durante o experimento, esses elétrons se misturam com outros elétrons, ou átomos, ou fótons, ou qualquer outra coisa, de uma forma bagunçada.

**Leo** - Então trabalhar com esses sistemas muito pequenos é útil por isso, porque a gente consegue ter um controle maior e isolar esses sistemas mais facilmente. Mas à medida que a ciência e a tecnologia foram progredindo, foram sendo desenvolvidas técnicas mais sofisticadas para proteger os sistemas quânticos dessa interação com o seu entorno.

**Bárbara Amaral:** E eu acho que é justamente por isso que hoje em dia as pessoas já conseguem observar esses fenômenos quânticos com moléculas já grandes.

**Leo** - Como a gente já falou por aqui, o experimento da fenda dupla foi inicialmente feito com fótons, depois elétrons, depois átomos, depois moléculas... então esses efeitos quânticos foram confirmados para sistemas cada vez maiores, ainda que bem pequenos.

**Bárbara Amaral:** É uma forção de barra falar que é um sistema macroscópico né, porque ainda é uma molécula com algumas dezenas de átomos, mas do ponto de vista do que era observado alguns anos atrás, é um sistemão, grandão né, e justamente porque as ferramentas de controle da interação desses caras com ambiente são muito melhores hoje do que eram alguns anos atrás.

**Lu** - Tá, mas qual é a maior coisa que se tem registro que apresenta características quânticas? Em off vocês tinham comentado que teve um experimento recente que bateu esse recorde, né?

**Leo** - Pois é, essa entrevista com a Bárbara aconteceu em meados de 2022, e, em abril de 2023, foi publicado um artigo na revista Science, em que um grupo de pesquisadores do ETH, que é uma universidade Federal em Zurique, na Suíça, conseguiu colocar em superposição o maior sistema físico até então.

[pause]

**Gláucia** - Só lembrando, no episódio passado a gente falou bastante sobre superposição de trajetórias, que é uma espécie de combinação de estados diferentes que um sistema quântico pode apresentar. No caso do experimento da fenda dupla, o elétron pode estar em uma superposição de passar pela fenda da esquerda e de passar pela fenda da direita. Mas superposição não acontece só com trajetórias, na verdade a gente pode ter superposição de qualquer propriedade do sistema.

[play]

**Leo** - O experimento do pessoal da Suíça envolvia um cristal de safira conectado a um circuito supercondutor. A gente não vai entrar em detalhes sobre circuitos supercondutores e sobre esse experimento em si, mas foi algo bem mais sofisticado do que o experimento da fenda dupla, por exemplo, que a gente explicou aqui.

**Gláucia** - Trazendo umas informações mais gerais, esse cristal de safira pesava 16 microgramas, que parece quase nada né, mas isso representa uma massa trilhões de vezes maior que a massa do maior sistema que tinha sido colocado em superposição anteriormente. Inclusive, esse cristal é visível a olho nu, apesar de ser bem pequenininho, mais ou menos da espessura de um fio de cabelo.

**Lu** - Tá, mas então, diferente do que a Bárbara falou, já dá para chamar de macroscópico né?

**Gláucia** - O cristal em si é macroscópico, verdade, mas isso não quer dizer que os pesquisadores conseguiram ver a superposição a olho nu, e isso por dois motivos. Primeiro porque, em termos técnicos, o que foi colocado em superposição foram diferentes modos de vibração da estrutura cristalina, que a gente não vai explicar aqui.

**Leo** - Mas o que é importante pra gente é saber que esse modo de vibração da estrutura cristalina é uma propriedade do cristal que não pode ser visualizada diretamente, o que é diferente da posição ou trajetória de um objeto, por exemplo.

**Gláucia** - E o segundo motivo pra gente não ver a superposição, é porque, mesmo que fosse uma superposição de posições, a gente só consegue enxergar um objeto se a nossa retina capta a luz que foi refletida por esse objeto. É aquela história, eu só estou vendo esse microfone na minha frente porque tem um monte de fótons saindo da lâmpada aqui da sala, batendo no microfone e sendo refletidos na direção do meu olho. Então conseguir enxergar uma coisa a olho nu significa que tem um monte de fótons batendo nessa coisa e depois sendo detectados pelo meu olho. Se a gente estivesse enxergando o cristal no momento do experimento, essa interação com os fótons bagunçaria totalmente o estado dele, e isso acabaria com a superposição.

**Lu** - Então isso quer dizer que a gente nunca vai conseguir ver um sistema em superposição a olho nu? Isso é impossível?

**Leo** - Depende do que você chama de “ver”. De certa forma quando a gente vê o padrão de interferência no experimento de fenda dupla, a gente tá testemunhando que de fato o sistema estava em superposição, agora se “ver” se refere a observar diretamente, com o nosso olho mesmo, a posição desse objeto, então a teoria quântica, na sua forma atual, diz que isso não é possível. E isso poderia ser explicado como um problema de isolamento, já que tudo indica que não tem como um objeto macroscópico se manter em superposição depois de interagir com o ambiente a sua volta, ou nesse caso, com luz o suficiente para que a gente de fato enxergue ele a olho nu.

**Gláucia** - A gente conversou sobre isso com o Marcelo Terra Cunha, que é professor do departamento de matemática aplicada da universidade estadual de Campinas.

**Marcelo Terra Cunha:** E a questão é que isolado ou não isolado são coisas muito diferentes, são coisas inerentemente diferentes, e aí um pouquinho de não isolamento é suficiente para acumular grandes diferenças para o caso isolado.

**Leo** - É como se esse pouquinho de “não isolamento”, como o Terra falou, de alguma forma “sujasse” as características quânticas do sistema.

**Marcelo Terra Cunha:** E essa sujeira, esse ruído, é o que atrapalha a gente manter os fenômenos quânticos até a escala macroscópica. Atrapalha, não quer dizer proíbe, né? Só quer dizer que dá muito trabalho.

**Leo** - Dá mais trabalho, porque quanto maior os sistemas, mais difícil é proteger eles da interação com o seu entorno, e mais rápido eles perdem as características quânticas. Isso quer dizer que quanto maior o sistema, menor é a janela de tempo que a gente tem para detectar e tirar vantagem desses fenômenos quânticos, como bem ressalta a Bárbara:

**Bárbara Amaral:** E aí é claro que a escala vai ter um papel fundamental aí porque quanto maior o seu sistema, mais acoplado ele vai estar com o ambiente, mais ele vai estar sujeito a essa perda de propriedades quânticas digamos assim.

**Lu** - Tá, deixa eu ver se eu entendi uma coisa: na verdade, a quântica não tem a ver só com coisas microscópicas? Quer dizer, não diretamente? A gente só fala de átomos e outras coisas super pequenas porque essas são as coisas que são fáceis de isolar?

**Leo** - Isso, a teoria quântica em si não está restrita a escalas muito muito pequenas. O que acontece é que as condições para que os fenômenos quânticos aconteçam são bem restritas.

**Gláucia** - A gente costuma pensar em fótons e elétrons quando fala de quântica, mas não exatamente por eles serem microscópicos, e sim porque esses são os sistemas que a gente consegue isolar, ou seja, que a gente tem tecnologia

suficiente pra proteger das interações com o ambiente. O Rafael Chaves, que é professor de física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e pesquisador do Instituto Internacional de Física, reforça esse ponto do tamanho dos sistemas.

**Rafael Chaves:** Por que que eu não observo isso se eu for crescer esse sistema de tamanho? Eu agora ao invés de falar de um elétron eu falo de dois, de três, de cem, de mil, quem sabe de um milhão de elétrons ou quem sabe de um gato, ou quem sabe de uma pessoa. Bom, porque quanto maior for o sistema físico em questão, maior vai ser a interação dele com o ambiente que o circunda.

**Gláucia** - Ou seja, não existe um limite de tamanho que separa o mundo quântico do nosso mundo cotidiano. A gente não pode fazer uma divisão do tipo [radio] “se estamos falando de um átomo estamos no regime quântico, se estamos falando de um gato, a gente está no regime clássico”. O que sim existe é um problema de isolamento.

**Rafael Chaves:** E aí, enfim, pra entrar em mais detalhes, né? A gente tem que falar do que a gente chama de teoria da decoerência, que é o que explica a transição entre esse mundo exótico, esquisito, que é o mundo quântico e o mundo caretão, que é o que a gente vive aqui no nosso dia a dia, né?

**Leo** - Como disse o Rafael, o nome técnico desse processo de perda de propriedades quânticas é [eco] decoerência.

**Rafael Chaves:** Então essa transição clássico-quântica que é explicada por essa teoria da decoerência que basicamente nos diz que quanto maior é o sistema físico mais rápido as propriedades quânticas dele se perdem. É o que explica o fato da gente não observar os fenômenos quânticos na escala que a gente tá acostumado.

**Leo** - Quando a gente fala de computadores quânticos, por exemplo, uma propriedade importante é o tempo em que o sistema consegue manter as suas características quânticas, que é chamado de tempo de coerência.

**Gláucia** - Aqui cuidado para não confundir “de coerência”, na expressão “tempo de coerência”, com “decoerência”, que é uma palavra só.



**Leo** - Então quando a gente vê na internet algumas fotos de computadores quânticos, como os que estão sendo desenvolvidos por empresas como Google e IBM, na maioria das vezes o que a gente tá vendo é basicamente o sistema de refrigeração desses computadores. Essas temperaturas baixíssimas são importantes para manter o sistema praticamente no vácuo, e portanto evitar que tenha outras partículas ali pra “sujar” as propriedades quânticas e atrapalhar a computação. Ou seja, para manter o sistema isolado e impedir que ocorra decoerência.

**Lu** - E qual é o tempo de coerência desses computadores?

**Leo** - Bom pra dar um exemplo concreto, os computadores quânticos da IBM que estão disponíveis para uso em pesquisa têm um tempo de coerência atualmente da ordem de 100 microssegundos. Que é um tempo mil vezes menor que o tempo que leva para você piscar.

**Lu** - Nossa, não dá pra nada mesmo.

**Leo** - Pois é, parece que não, mas para esses computadores já é o suficiente para obter os primeiros resultados que vão além do que os computadores clássicos podem fazer.

**Gláucia** - E vale dizer também que num computador quântico a gente não está interessado só em deixar o sistema lá paradinho com suas propriedades quânticas. Pra fazer uma computação, a gente precisa interagir com ele, manipular o sistema para que ele siga uma série de passos para implementar um determinado algoritmo. E essas interações também causam decoerência.

**Lu** - Tá começando a ficar clara a dificuldade de construir esses computadores quânticos....

**Gláucia** - Pois é, para explicar a decoerência, que é esse processo de perda das propriedades quânticas de um sistema, foi desenvolvido um conceito chamado [eco] darwinismo quântico. Como o nome sugere, ele parte de uma analogia com a teoria da seleção natural. Então, de maneira um pouco simplificada, o que o darwinismo quântico diz é que o mundo clássico, esse mundo que a gente conhece e interage no nosso dia a dia, esse mundo é assim porque quando a gente deixa os fótons e elétrons e átomos interagirem entre si sem controle nenhum, os estados que sobrevivem a essa interação são justamente aqueles que não apresentam nenhuma

característica quântica. Ou seja, é aquela história da “sobrevivência do mais adaptado”, que o Darwin fala: os estados clássicos são os mais adaptados à selva das interações físicas que acontecem no nosso cotidiano, enquanto que as propriedades quânticas só são criadas e só conseguem sobreviver em nichos muito específicos.

[gato]

## **BLOCO 2: DECOERÊNCIA E INTERPRETAÇÕES \*\*\*\*\***

**Leo** - Bom, uma vez que a gente entende que a interação de um sistema com o seu entorno causa decoerência, a gente consegue explicar algumas coisas da teoria quântica que podem soar paradoxais. Por exemplo, no episódio passado a gente viu como que uma das posições que a gente pode assumir em relação à teoria quântica e à ciência em geral é sobre ser realista ou antirrealista. A gente contou que os partidários do realismo acreditam que os sistemas quânticos existem exatamente da maneira que a teoria os retrata. Já os antirrealistas acreditam que não, que a teoria apresenta apenas uma descrição criada por nós para falar desses fenômenos, e portanto ela fala mais sobre a nossa maneira de interagir com o mundo do que sobre o mundo em si.

**Gláucia** - E no último bit quântico, a gente contou pra vocês a anedota do gato de Schrödinger.

[pause]

Aliás, se você ainda não escutou, vai lá pra conhecer a história desse gato que é bastante famoso.

[play]

O gato de Schrödinger surge como um argumento pra mostrar que a interpretação realista da teoria quântica seria absurda. Segundo o Schrodinger, se você acredita que um átomo pode estar literalmente em superposição, então deve concluir que um gato também pode. No caso, em superposição de vivo e morto, o que parece bem absurdo mesmo. Mas, para ter um gato morto-vivo, esse sistema envolvendo átomo e gato precisa estar isolado. Aliás, é por isso que o Schrödinger fala que essa história toda se passa dentro de uma caixa.

**Marcelo Terra Cunha:** Então quando o Schrodinger faz a descrição do experimento do gato de Schrodinger, ele é muito cuidadoso em pedir um ambiente completamente isolado para que seja possível de certa forma transmitir a superposição de um decaimento atômico, né?

**Gláucia** - Esse falando novamente é o Marcelo Terra Cunha, da Unicamp. Então aqui a gente vê que tudo o que a gente discutiu no bloco anterior, sobre isolamento e decoerência, serve como uma explicação alternativa de porquê nunca ninguém viu um gato em superposição de vivo e morto: a conclusão do Schrödinger de que a superposição do átomo é transmitida para o gato não é tão plausível porque é extremamente difícil, para não dizer impossível, isolar um sistema físico tão grande, quente e complexo quanto um gato. Ou seja, não é porque nunca ninguém encontrou um gato zumbi caminhando por aí que necessariamente a interpretação realista da teoria quântica é absurda. Isso pode ser explicado simplesmente pelo processo de decoerência.

**Leo** - Ainda nesse contexto das discussões filosóficas sobre a teoria quântica, o Einstein, que era um realista convicto, trouxe a seguinte pergunta pra desafiar os partidários do antirrealismo: [rádio] “você realmente acredita que a lua não está no céu quando você não está olhando para ela?” Isso porque, segundo os antirrealistas, se você não está observando a lua, você não poderia falar nada sobre ela.

**Gláucia** - Mas, bom, acho que a maioria de nós acredita que a lua tá lá né. Em particular, trazendo pro contexto da quântica, a gente não pensa que a lua poderia estar numa superposição de “estar no céu” e “não estar no céu”. Mas como argumentar que isso de fato não acontece? De novo, a decoerência explica. Aqui, o Rafael Chaves novamente.

**Rafael Chaves:** Então por exemplo, esse exemplo eu acho muito legal né? Por que que a lua está lá no céu quando ninguém está olhando? Porque de fato sempre alguém está olhando.

**Gláucia** - Aqui, “estar olhando” não é no sentido literal, não precisa envolver realmente uma pessoa com binóculos voltados para a lua; “estar olhando” significa apenas que existe um registro em algum lugar, de que a lua está lá no céu. E nesse caso, existe. Aliás, existem vários.

**Rafael Chaves:** Existem zilhões de fótons que estão se chocando com a lua a cada instante de tempo. [...] E nesse processo, qualquer, vamos dizer, superposição quântica que a lua tivesse, ela se perde por causa desse processo de decoerência.

**Leo** - Ou seja, todas essas interações com fótons e outras partículas dispersam qualquer propriedade quântica. A lua nunca está isolada o suficiente para que seja possível demonstrar alguma estranheza quântica, como a superposição. Nas palavras do divulgador científico Phillip Ball: [rádio] “o universo está sempre olhando”.

**Gláucia** - Então a gente vê que, antes, com a história do gato, o Schrodinger queria apontar que a interpretação realista fazia previsões absurdas. Agora, com a história da lua, o Einstein tentou dizer que o antirrealismo é que era absurdo. Mas em ambos os casos, a decoerência mostra que esses absurdos podem ser resolvidos simplesmente pela perda de propriedades quânticas.

**Leo** - Ou seja, a decoerência explica por que esse argumentos não servem para descartar nem um ponto de vista, nem o outro. A gente não consegue obter evidências nem contra o realismo e nem contra o antirrealismo. Com isso, a gente se convence, mais uma vez, que essa discussão é mais filosófica que científica, e não admite respostas fáceis.

[gato]

### **BLOCO 3: BIOLOGIA QUÂNTICA \*\*\*\*\***

**Gláucia** - Bom, mas não são apenas questões filosóficas que a decoerência nos ajuda a esclarecer. Escuta aqui o Pablo Saldanha, professor da Universidade Federal de Minas Gerais.

**Pablo Saldanha:** Então esses experimentos, eles mostram o comportamento da matéria, mas num regime extremamente restrito, que é escuro, tem que estar escuro porque da mesma maneira, se o elétron esbarra com fóton, e o fóton marca o caminho, a interferência some.

**Gláucia** - Aqui o Pablo está se referindo ao experimento da fenda dupla. Quando a gente discutiu sobre isso no episódio 4, a gente contou que uma maneira de registrar a trajetória dos elétrons depois de passar pelas fendas era estudar as pegadas, entre aspas, que eles deixam através da interação com fótons. Mas como a gente viu, isso dá errado justamente porque essa interação com os fótons altera o estado dos elétrons e isso acaba com o padrão de interferência.

**Pablo Saldanha:** Tem que ser no escuro. Tem que ser no vácuo, porque se esbarra em alguma molécula já era.

**Gláucia** - Assim como esbarrar em um fóton já modifica o elétron, esbarrar numa molécula qualquer, como uma molécula de ar, tem o mesmo efeito. Então não pode ter nada, nem luz, nem ar, nem nada mesmo, no entorno desse elétron, para que o experimento ocorra corretamente. Por isso, vácuo é uma condição necessária para isolar o sistema do ambiente.

**Pablo Saldanha:** Então para ver essas propriedades quânticas, só em laboratórios de última geração.

**Leo** - Então a decoerência também é útil para a gente entender o quão improváveis são algumas ideias da pseudociência quântica. Alguns episódios atrás, a gente contou aqui como algumas pessoas usam a quântica para justificar, entre aspas, “cientificamente”, a existência de uma vibração da fatura, ou uma frequência do sucesso.

[chiado]

*“No meu treinamento power mind quântico, eu falo de todos os níveis e como elevar a frequência vibracional e até chegar na frequência do milagre.”*

[chiado]

*“A energia vibratória que é conhecida na escala de consciência.”*

[chiado]

**Leo** - A gente já contou como a teoria quântica descreve os sistemas através de uma dualidade onda-partícula, ou seja, que mesmo coisas que a gente gosta de pensar como bem sólidas, como átomos e moléculas, também podem apresentar propriedades de ondas. Mas mesmo que no regime quântico exista esse comportamento “vibracional” da matéria, é um grande salto querer dizer que existe uma vibração quântica do pensamento, ou que nossos órgãos ficam doentes quando a gente vibra na frequência errada. Isso porque o corpo humano tem tudo para ser um péssimo ambiente para fenômenos quânticos.

**Pablo Saldanha:** Pra você ter essa superposição quântica, você só vai ter experimentos extremamente bem controlados que não é o caso de humanos, né? Porque são quentes, são densos, estão sujeitos à radiação eletromagnética.

**Leo** - Lembra que é preciso ter temperaturas baixas, vácuo e isolamento em geral para conseguir observar fenômenos quânticos? Tudo que não tem dentro do nosso corpo. Já começa que nem está claro o que causaria esses fenômenos quânticos dentro da gente. Mas aí você fala...

**Pablo Saldanha:** ...mas aí você fala, ah não, a gente não entende bem o cérebro, vamos supor que tem alguma coisa dentro dele que cria a superposição quântica. Tudo bem. Se criar, ela vai durar um tempo que não dá tempo de acontecer absolutamente nada.

**Leo** - Essa falta de isolamento dentro do nosso corpo faria com que qualquer propriedade quântica desaparecesse muito rapidamente. Essa janela de tempo seria da ordem de femtosegundos, que é uma fração de tempo que a gente obtém quando divide um segundo em um milhão de partes iguais e depois divide cada partezinha dessas um bilhão de vezes. Ou seja, um tempo muito menor que o tempo de coerência dos computadores quânticos que a gente falou antes, que já eram super pequenos.

**Pablo Saldanha:** Igual eu falei, não dá tempo de um neurônio comunicar com o vizinho, né? Na verdade, não dá tempo do sinal elétrico percorrer um milésimo do comprimento de um neurônio. Não dá tempo de acontecer basicamente nada.

**Lu** - Então a gente já pode descartar completamente a possibilidade de efeitos quânticos no corpo humano?

**Gláucia** - Bom, por toda a nossa discussão sobre decoerência, a gente vê que o corpo humano é um ambiente hostil para fenômenos quânticos. O que inclusive faz cair por terra vários argumentos da pseudociência. Mas também é legal trazer um contraponto aqui. A gente mencionou no bloco 1 o conceito de darwinismo quântico, e que isso não tem muito a ver com biologia, é mais uma analogia mesmo. Mas acontece que existe também um campo de estudos chamado [eco] biologia quântica, e esse sim trata da intersecção entre biologia, química e física quântica. Aqui, o Rafael Chaves, novamente.

**Rafael Chaves:** Por exemplo, a biologia quântica, que é essa ideia de você tentar entender se processos biológicos poderiam ter efeitos quânticos presentes, ou de outra forma, se efeitos quânticos poderiam de alguma forma

fornecer vantagens evolutivas, por exemplo para diferentes bichos, enfim, sistemas biológicos.

**Lu** - Tá, mas qual é a diferença? Porque pelos mesmos motivos que vocês acabaram de falar, que os corpos são quentes e que não têm vácuo nem isolamento nenhum, também deveria ser difícil para essas plantas e bichos sustentarem efeitos quânticos no seu interior né?

**Leo** - Verdade. Vale ressaltar que a biologia quântica é uma área de pesquisa relativamente nova, então muitas coisas ainda estão no campo da especulação. Mas aos poucos os pesquisadores vêm coletando algumas evidências a favor da existência de efeitos quânticos em alguns sistemas biológicos bem específicos.

**Gláucia** - O exemplo mais estudado é o da fotossíntese, em que plantas e outros organismos, como bactérias, absorvem luz para gerar energia [pause] é isso mesmo, não é só planta que faz fotossíntese, tem bactéria que faz fotossíntese também [play]. Aqui, é importante falar que nem eu nem o Leo somos especialistas nisso, mas a gente vai tentar dar uma ideia de como funciona esse processo na escala celular. E bom, vão aparecer alguns termos complicados, mas me acompanha que é um exemplo bem legal.

**Lu** - Ok, to acompanhando.

**Gláucia** - O exemplo mais estudado é, de fato, uma bactéria, a bactéria verde sulfurosa, que usa uma espécie de antena nas suas células para absorver fótons. Esses fótons excitam elétrons, mais ou menos que nem no efeito fotoelétrico, e esses elétrons são então transportados até um lugar chamado centro de reação, para gerar energia pra bactéria. A eficiência com que esse processo é realizado é bem alta: mais de 99% dos elétrons excitados são transportados com sucesso para o centro de reação da célula. E assim... essa excitação dos elétrons dura muito pouco tempo, então essa taxa de eficiência ser tão alta desse jeito é bem impressionante. Impressionante até demais. Se esse transporte até o centro de reação fosse realizado através de modelos clássicos de difusão, grande parte desses elétrons não ia chegar lá, e a eficiência seria bem menor. Então os pesquisadores começaram a suspeitar que algum processo quântico poderia estar acontecendo ali. Em 2007, pesquisadores acharam indícios que esse transporte talvez fosse feito de maneira [eco] quanticamente coerente. Ou seja, a ideia é que os elétrons excitados estariam explorando uma superposição de trajetórias, como

acontece no experimento da fenda dupla, e com isso conseguissem encontrar o caminho ótimo até o seu destino.

**Leo** - Esses estudos iniciais mostraram que esses efeitos quânticos poderiam ocorrer inclusive em temperatura ambiente, e durar até 300 femtossegundos. Ou seja, apesar da superposição existir por um tempo extremamente curto, em princípio isso seria suficiente para realizar a tarefa. Em outras palavras, o que essas pesquisas estavam sugerindo é que a natureza de alguma maneira evoluiu a ponto de conseguir proteger, ainda que minimamente, alguns processos quânticos da decoerência, de alguma forma que a gente ainda não entende.

**Gláucia** - Só que estudos mais recentes, realizados de 2017 para cá, estimaram que esse tempo de coerência seria na verdade menor, o que diminui consideravelmente a possibilidade de efeitos quânticos serem decisivos nesse processo. Então atualmente as coisas estão nesse pé, sem uma resposta definitiva. Talvez não dê mesmo tempo desses fenômenos quânticos influenciarem muito na fotossíntese. Mas como deu para ver, isso é um tema de pesquisa muito atual com várias perguntas em aberto.

**Leo** - Outro problema estudado pela biologia quântica que atraiu bastante atenção é o da chamada magnetorecepção. Existem evidências de que alguns pássaros usam o campo magnético da Terra para se localizar durante períodos de migração. Mas como eles fazem isso? A conjectura é que esses pássaros conseguem detectar a diferença de inclinação do campo magnético da Terra.

**Lu** - E o que isso tem a ver com quântica?

**Gláucia** - Bom, embora tenha dados que podem ser interpretados como evidências de que isso de fato ocorre, a pergunta que fica é: como explicar esse mecanismo? Um problema é que o campo magnético da Terra é muito pequeno, quase insignificante em comparação com a energia térmica das moléculas do pássaro. Então é aí que entra a quântica: uma das hipóteses é que essa variação do campo magnético alteraria o estado quântico de um sistema chamado [rádio] pares de radicais, que podem ser produzidos em certas moléculas na presença de luz. Sem entrar em detalhes, o ponto aqui é que esse efeito só pode ser explicado usando teoria quântica. Então essas moléculas seriam como uma espécie de bússola quântica para esses pássaros.



**Leo** - Então nesse caso, a gente tem [plim] várias evidências de que os pássaros se guiam através do campo magnético da Terra, [plim] a proposta de uma teoria que explicaria esse fenômeno baseado em efeitos quânticos, e além disso [plim] já foi encontrada nos olhos dos pássaros uma proteína que é capaz de gerar pares desses radicais que a Gláucia falou, a proteína Criptocromo.

**Gláucia** - Mas ainda assim não dá pra bater o martelo e dizer que os pássaros se guiam por fenômenos quânticos. Isso porque ainda faltam evidências pra conectar esses pontos e provar que esses mecanismos quânticos são mesmo os responsáveis por fazer os pássaros detectarem o campo magnético da Terra. Então apesar dessa ser uma ideia muito legal, ainda é basicamente uma especulação.

**Lu** - Isso me fez lembrar a história da luz que vocês contaram no episódio dois, em que tinham várias ideias diferentes mas faltava evidência a favor de uma ou de outra.

**Leo** - Exato. Acho que a mensagem final é que a pesquisa sobre fenômenos quânticos em sistemas biológicos ainda está nos estágios iniciais e precisa responder muitos questionamentos, mas tem estudos sérios sobre isso sendo feitos de maneira responsável.

**Rafael Chaves:** Mas justamente por causa disso, porque as pessoas que trabalhavam nesse campo tiveram esse cuidado, né? De que ir acumulando evidências e diferentes modelos, enfim então acho que é um bom exemplo aí de que mostra que é sim permitido pensar fora da caixa desde que a gente faça isso do jeito certo, que é usar o método científico.

[gato]

**ENCERRAMENTO** \*\*\*\*\*

**Lu** - O episódio tá chegando ao fim e, como a gente falou de várias coisas diferentes, eu fiz uma listinha de mensagens para levar pra casa, me ajudem se eu entendi alguma coisa errada.

**Gláucia** - Tá.

**Lu** - [plim] O isolamento é importante pros processos quânticos acontecerem;

[plim] geralmente os efeitos quânticos ocorrem em escalas muito pequenas (de tamanho e de tempo), justamente porque nessa escala é mais fácil isolar os sistemas;

[plim] coerência é quando os sistemas têm propriedades quânticas e decoerência quando eles perdem essas propriedades;

[plim] os primeiros computadores quânticos já estão aparecendo, mas precisam realizar suas computações em períodos de tempo muito pequenos;

[plim] o corpo humano, por ser quente, grande e complexo não é um ambiente propício pra ter propriedades quânticas, e por fim

[plim] pesquisas na área da biologia quântica existem, são sérias, mas a gente ainda não tem resultados precisos sobre isso ainda.

**Gláucia** - Acho que isso resume bem.

**Lu** - Mas eu ainda fiquei com uma dúvida, tanto a biologia quântica quanto algumas falas de pseudociência falam de efeitos quânticos em seres vivos. Mas por que que um é ciência e o outro não?

**Gláucia** - Os dois casos que a gente mencionou sobre biologia quântica seguem uma mesma linha de raciocínio, os pesquisadores observaram algum fenômeno e em seguida buscaram teorias e modelos matemáticos pra explicar ele. Algumas dessas teorias se baseiam em fenômenos quânticos como a principal explicação, aí agora os pesquisadores estão em busca de evidências que provem, que corroborem essas teorias. Até lá, essas explicações só tem o status de hipótese mesmo.

**Leo** - Já na pseudociência quântica a ideia disseminada em grande parte dos materiais pseudocientíficos segue uma linha de raciocínio bastante diferente, baseada principalmente numa extrapolação rasa do tipo [rádio] “se átomos e moléculas podem apresentar efeitos quânticos e nós somos feitos de átomos e moléculas, então nós também podemos apresentar fenômenos quânticos”. E isso é falso.

**Lu** - Tá, acho que entendi. Inclusive as discussões do episódio de hoje mostram que essas extrapolações não fazem nenhum sentido justamente por causa da decoerência né.

**Leo** - Exato. E bom, a gente fica por aqui. No próximo episódio, a gente vai falar de determinismo, probabilidades, mágicos amadores e tentar responder a pergunta: será que deus joga dados?

[gato]

## **CRÉDITOS** \*\*\*\*\*

[trilha identidade - bateria, depois baixo e piano]

**Leo** - No nosso site [www.ufsm.br/oqquantico](http://www.ufsm.br/oqquantico), você encontra links para os artigos científicos que a gente citou aqui, além de alguns textos de divulgação científica sobre eles.

Nesse episódio você ouviu trechos de entrevistas com a Bárbara Amaral, o Marcelo Terra Cunha, o Pablo Saldanha e o Rafael Chaves. Aliás, o Rafael Chaves também fala sobre decoerência e darwinismo quântico no seu livro 'Incerteza Quântica', além de ter escrito um artigo sobre isso para a Folha de SP, que também está no nosso site.

A gente também utilizou falas do canal de YouTube Elaine Ourives.

**Gláucia** - Se você gostou do episódio, você pode ajudar recomendando o podcast para aquele amigo ou amiga que se interessa pelo tema. Siga também o Q Quântico no instagram @oqquantico e não deixe de avaliar o podcast na sua plataforma de podcast favorita.

**Lu** - O Q Quântico é apresentado por mim, Luciane Treulieb, pela Gláucia Murta e pelo Leonardo Guerini.

Além de nós três, a Samara Wobeto e o Vitor Zuccolo completam o time de produtores do podcast

O roteiro desse episódio é do Leonardo Guerini, com contribuições minhas, da Gláucia Murta, e da Samara Wobeto

A Idealização do projeto é do Leonardo Guerini e da Gláucia Murta

A Consultoria de roteiro é feita pela equipe do podcast Ciência Suja

A edição de som é do Leonardo Guerini

A mixagem é do Felipe Barbosa

O suporte de gravação é do Pablo Ruan,

A música original é do Pedro Leal David

e a Identidade visual e as ilustrações de capa são do Augusto Zambonato

Quem cuida das nossas mídias sociais é a Milene Eichelberger e

O nosso site foi desenvolvido pelo Daniel Carli

**Glaucia** - O Q Quântico é produzido dentro de universidades públicas. A gente contou com o apoio de diversos funcionários das nossas instituições que contribuíram para que o podcast chegasse ao seu formato final. Nós agradecemos o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do cluster de excelência “Matter and Light for Quantum Computing” da Alemanha. E o suporte e infraestrutura da Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e das rádios da Universidade Federal de Santa Maria.

Obrigado pela audiência e até o próximo episódio!

[transição - gato]