

## UMA ABORDAGEM FILOSÓFICA AO ENSINO DE FÍSICA

*Oswaldo Pessoa Jr.*

*Para os professores Flávio di Giorgio, ~~Nízia~~ Wendel de Magalhães (Lucy) e  
Antônio Penhalves Rocha (Pena).*

Como utilizar a *filosofia da ciência* no ensino de ciência? A abordagem mais usual tem sido a de expor uma teoria de mudança científica (como a de Kuhn) durante uma apresentação histórica de um tópico científico (como a revolução newtoniana).

Há no entanto inúmeras outras maneiras de utilizar a filosofia da ciência, e uma classe dessas aplicações consiste em adaptar os diferentes métodos científicos ao método didático, em sala de aula. Se há um método indutivo e um método dedutivo, haveria adaptações em que a ciência é ensinada de maneira mais indutiva, e outras em que ela é ensinada de maneira principalmente dedutiva.

É bem possível que cada uma destas explorações resulte em aulas menos eficazes e interessantes do que as abordagens tradicionais. No entanto, é possível que alguns destes experimentos didáticos dêem resultados inesperadamente bons. A única maneira de sabê-lo é explorá-los.

Nos exemplos citados, consideramos aplicações da área de filosofia da ciência, que é a sub-área da *epistemologia* que se preocupa com o conhecimento científico. No entanto, talvez fosse interessante apresentar, numa aula de ciência, conceitos mais básicos de epistemologia, como a noção de existência, a distinção sujeito-objeto, a definição de verdade, etc. Ao fazermos isto, estaríamos também explorando a área conhecida como “protofísica”, que é a física do completamente óbvio.

Além de introduzir alguns conceitos básicos de epistemologia, inspiramo-nos também em uma corrente da filosofia da ciência do início do século XX conhecida como *operacionismo*. Esta doutrina positivista foi divulgada especialmente pelo físico norte-americano Percy Bridgman, e estipulava que todas as grandezas físicas devem ser definidas a partir das operações práticas usadas para medi-las. Uma consequência desta abordagem é a definição de “medições diretas”, que veremos no texto a seguir.

\* \* \*

O presente relato se baseia em aulas ministradas pelo professor de física na escola média, Satyendra Vela, natural da província de Goa, na Índia, mas radicado no Brasil. Este curso foi ministrado uma única vez na então 2ª série colegial da escola particular em que eu freqüentava. O curso durou apenas um mês, pois o prof. Vela seria subitamente despedido, conforme veremos.

“Ensinar é uma arte”, diz o bordão. O professor deve usar sua criatividade para despertar o interesse dos alunos. Satyendra sabia fazer isso. Inspirado nesta atitude lúdica, resolvi apresentar as questões epistemológicas (que se seguem) de maneira literária, preenchendo assim um dos objetivos deste volume, que é explorar a influência mútua entre ensino de ciência e filosofia da ciência. Agradeço ao prof. Waldomiro por me instigar a fazer esta exploração e a reconstruir (com algumas modificações – afinal nossa memória é imperfeita) este marcante episódio de minha formação educacional.

## 1. COISA

Satyendra entrou na classe com um pesado saco de pano e jogou-o com um estrondo sobre a mesa. Retirou de dentro uma pedra e perguntou: “O que é isto?”.

– Uma pedra! –, respondemos em coro.

– Que mais?... Se a gente quisesse ser mais geral...

– É uma coisa –, alguém arriscou.

– Isso! É uma *coisa!* É um “ente”. Como é que vocês sabem que é uma coisa?

Entreolhamo-nos perplexos.

– Estamos vendo, né professor!

– Muito bem, vocês estão *vendo!*

Satyendra abriu o saco, que continha pedras semelhantes à que ele tinha na mão.

– Venham aqui na frente! Cada um pegue uma destas coisas e voltem para suas cadeiras. Quero que cada um de vocês arranje uma caixa para guardar as coisas que trarei em cada aula. Meu primeiro presente a vocês são estas pedras, de granito rosa da Pedra do Rosetto, em Caconde.

Lembro até hoje a cena de todos nós sentados, com pedras na mão, esperando o prosseguimento da aula. Alguns batiam as pedras na cadeira, na cabeça do colega, outros arremessavam para cima, ou fingiam que iam atirar a pedra no outro.

– Muito bem! Vejo que estas coisas produzem sons! – e bateu uma pedra contra outra. – O que mais vocês podem falar sobre essa coisa?

– Ela é dura!... E gostosa de segurar!

A classe desabou de rir. Amaral aproveitava todas as deixas para uma piadinha chula. O professor não gostou, mas prosseguiu.

– Ela é pesada? – ao que respondemos que sim. – Ela tem gosto?

Metade da classe arriscou uma lambida. Muitos risos, piadas, e caretas pelo gosto salgado e sem graça.

## 2. EXISTÊNCIA DE INDIVÍDUOS E CONJUNTOS

– Esta é minha pedra de estimação. Seu nome é Teofrasto. – Fez então uma gracinha, fingindo que Teofrasto era um bonequinho falante, que em voz fina de ventríloquo falou “Olá, sou Teofrasto, o granito. Prazer...”

– Teofrasto *existe* –, prosseguiu. – Não vou querer *definir* existência, mas entendemos o que significa dizer que Teofrasto existe. Cada coisa existe. Se é coisa, então existe.

– Penso logo existo, professor! –, falou com esperteza e sarcasmo Cabeção.

– A pedra não pensa, ô idiota! –, retrucou na hora o mulato Ponte.

Pausa para risos. Satyendra deixou a classe entregue a si mesma por um minuto, antes de prosseguir.

– Muito bem... Há 37 pedras nesta sala. Cada uma delas existe. Podemos imaginar o *conjunto* de 37 pedras. Este conjunto existe?

– Existe! – foi o consenso geral.

– Óquei. Então estamos incluindo na definição de existência não só a condição de indivíduos, como Teofrasto, mas também a condição de um conjunto de indivíduos.

– Professor, mas uma pedra não é um conjunto de átomos? – arriscou Eugênio.

– Muito bem! Eis um bom argumento para aceitarmos que um conjunto também exista. E um conjunto de conjuntos também! E o conjunto de todos os conjuntos? Ele existe?

### 3. PERCEPÇÃO

O prof. Vela nem sempre respondia as perguntas que fazia. Enquanto pensávamos na última pergunta ou simplesmente nos distraíamos, ele resolveu mudar de assunto. Levantou sua pedra no ar, girando-a, e disse:

– Vamos voltar a Teofrasto. Vocês estão percebendo Teofrasto, vocês estão observando-o. A *percepção* não se dá só com os olhos, mas com todos nossos sentidos. Cada um se concentre em sua própria pedra. Quando vocês giram sua pedra, a percepção muda, a aparência da pedra muda. Mas *ela* muda de fato?

– Não, professor – constatou Lóca. – A pedra não muda, só muda o ângulo no qual a vejo. Só muda a *perspectiva*, né professor?

– Isso mesmo! Muito bem! Nada mais óbvio! Nada como uma aula sobre o óbvio! Posso passar uma prova sobre este assunto?

“Não” foi o mote geral, mas alguns até admitiam a possibilidade!

– Pois bem, vejamos que há uma diferença entre a coisa e a *aparência* da coisa. A aparência muda conforme a perspectiva, mas a coisa não muda... Pelo menos, não Teofrasto, ele não muda.

– Professor, mas a pedra não está mudando seus átomos? – perguntou Eugênio.

– Sim, acho que você tem razão. Mas se nos fixarmos numa escala macroscópica (na escala em que ela aparece para nós), não ocorrem mudanças no intervalo de poucos minutos. Prossigamos!!... Há uma diferença entre a “coisa em si” e a “coisa para nós”, certo? Para nós, a aparência muda. Porém, nossa mente *íntegra* todas essas aparências, todos os gostos, as sensações tácteis de peso, aspereza, temperatura, etc. E ao fazermos isto, *concebemos* uma pedra que não muda. Esta pedra-que-não-muda existe?

Boa parte dos alunos balançava a cabeça afirmativamente, enquanto ele prosseguia:

– Sim. Foi o nosso ponto de partida, hoje. Apesar de não termos acesso direto à pedra em si, nós a concebemos, a imaginamos,

com este instrumento maravilhoso que é o nosso cérebro, o “supremo integrador”. E assim acreditamos na existência da pedra. Alguém *não* acredita na existência da pedra?

Silêncio. Rompido por Pierre: “Eu não acredito!” Risos!

– Justamente você, que tem “pedra” no nome!

Satyendra era um professor cativante, mas suas piadas eram geralmente idiotas.

#### 4. OBJETO

– Podemos chamar Teofrasto de *objeto*. Ele não se ofenderá! Mas há uma diferença entre “coisa” e “objeto”. Ao falarmos “objeto”, estamos nos referindo à coisa para nós, o sujeito. “Coisa” é algo que existe na realidade lá fora. “Objeto” é a nossa percepção integrada da coisa (podemos também falar em “fenômeno”). “Percepção” é como o objeto se apresenta como aparência, em um momento. Objeto é para um sujeito, coisa é para ninguém.

– Como assim, professor? Coisa é para ninguém? – perguntou Paiva.

– É costume supormos que uma coisa, como uma pedra, existe mesmo que ninguém esteja observando, mesmo que ninguém nunca a observe.

– Mas aí como é que a gente sabe que ela existe?

– Não sabemos. Mas a nossa mente consegue, de certa forma, ir além do que é observado. Há, porém, filósofos e cientistas que pensam como você. Eles afirmam que “não faz sentido falar sobre aquilo que não é observável”. São às vezes chamados de *positivistas*. Quem acredita que faz sentido se referir a coisas não-observáveis são chamados de *realistas*. Mas isso é matéria do fim do curso!

A classe já não agüentava mais, e o prof. Satyendra percebeu. Ainda faltavam 15 minutos para acabar. Então ele finalizou.

– Se eu pedir para cada um de vocês descrever Teofrasto, vocês vão fazer relatos parecidos. Posso então dizer que o “objeto”, para cada um de vocês, é parecido. A descrição que vocês me dariam seria então “objetiva”, ou melhor, “intersubjetiva”.

## 5. OBJETOS QUE NÃO SÃO COISAS

Na aula seguinte estávamos todos animados para aquela aula fácil! A matéria era Física, mas sabíamos que o que estávamos fazendo era Filosofia. Mas a direção da escola não se opunha a que isto fosse feito nas primeiras aulas, desde que depois fosse dada a matéria a cair no vestibular.

O professor Satyendra Vela iniciou nos perguntando se todo objeto é coisa. “Se todo objeto é coisa?”, nos perguntávamos, meio que rindo, meio que impacientes.

– Dêem-me um exemplo de um objeto que não é coisa! – anunciou Satyendra, com seu leve sotaque português.

– Pensamento! – arriscou Martha, após um minuto de silêncio..

– Muito bem!... –, incentivou Satyendra, parando para pensar um pouco. – Pensamento é objeto?... Podemos dizer que sim, não é? O meu pensamento é um objeto para mim. E acho que *não* é uma coisa.

– Qual é a definição de coisa, professor? – desafiou Coelho, com um sorriso.

– Não sei qual é a definição de dicionário de “coisa”, e nem quero saber, por enquanto. Temos uma intuição sobre o que seja uma coisa. Vamos explorar esta intuição, para mais tarde tentarmos defini-la. Para explorar qualquer conceito intuitivo  $X$  que tenhamos, precisamos considerar os objetos que *são*  $X$  e os que *não são*  $X$ . Sabemos que Teofrasto é uma coisa, o quadro-negro é uma coisa. Agora, que objeto não é “coisa”? Vou lhes dar uma sugestão: uma *sombra*.

Satyendra retirou uma grossa vela de sua bolsa e a acendeu, perfumando a sala. Apagou as luzes, fechou as cortinas. Mostrou-nos então algumas sombras bastante engenhosas, feitas com suas mãos: uma tartaruga, uma borboleta, etc. Gostávamos das aulas de Satyendra porque sempre tinha uma atividade lúdica ou alguma pausa para descansarmos. Certa vez contou-nos que a cada 15 minutos planejava uma interrupção da aula para que os alunos descarregassem sua energia.

Pedi então a Laura que andasse em círculos em torno de vela

– Observem a sombra de Laura nas paredes. Sua sombra está se movendo muito mais rapidamente do que ela, não é verdade? Quanto maior a sala, mais rapidamente se move a sombra. Se imaginarmos que a sombra é projetada nas estrelas, numa sala do tamanho da distância das estrelas, as sombras se moveriam a uma velocidade maior do que a da luz!

– Mas professor – retrucou Eugênio – nada viaja mais rápido do que a luz!

– Brilhante, Eugênio! Tirou as palavras de minha boca! Em 1905, Einstein mostrou que nenhuma *coisa* viaja mais rápido do que a luz. Nenhuma *coisa*, – salientou Satyendra. – E isto mostra justamente que uma sombra não pode ser uma coisa.

– Se ela não é uma sombra, o que ela é? – desafiou Coelho.

## 6. PADRÃO

Satyendra parou, e convidou a classe a dar uma resposta. Ninguém falou nada. Didaticamente, o hindu recolocou o problema:

– Falei que a sombra é um objeto que não é coisa. Uma coisa tem peso, mas uma sombra não tem. O que seria então uma sombra? Suponha que não existisse ninguém no mundo: existiriam sombras?

– Sim, – concordamos todos.

– Professor, uma sombra é um lugar não iluminado..... cercado



de uma região iluminada.

– Perfeito, Robertão. Então uma sombra é uma *relação* entre regiões de uma parede, de uma superfície. Uma relação!

– Não entendi, professor! – exclamou Burti.

– Que relação isso tem com o que estamos falando? – gracejou Ponte.

Satyendra estava um pouco confuso. Acho que ele não sabia o que era uma sombra! Ficamos alguns minutos conversando com os colegas, falando da festa do pijama, que aconteceria dali a algumas semanas. Satyendra ficou ponderando, e resolveu finalizar a aula.

– Muito bem! Atenção! Uma sombra é um “padrão”. Ela não é uma coisa, mas é um padrão. Uma foto é um padrão. Uma imagem é um padrão. Um padrão é algo que é formado por coisas. Um mosaico bizantino é um conjunto de pedrinhas que formam uma imagem, um padrão. Mas o padrão não é cada pedrinha colorida. O padrão é uma propriedade do todo, do conjunto de pedrinhas. O conjunto de pedrinhas é uma coisa. O padrão é uma “propriedade” desta coisa, é uma propriedade que envolve uma “relação” entre as partes. No caso temos um padrão de luz, um padrão visual. Mas há padrões de sons, de gostos, e assim por diante.

– Professor. Eu tenho um primo que é daltônico. Quando eu olho para uma foto colorida, ele olha mas vê outra coisa, porque ele não separa o vermelho do verde. A gente vê padrões diferentes?

– Muito bem, Laís! Excelente pergunta! Aquilo que falamos antes sobre a diferença entre “coisa” e “fenômeno” também se aplica aqui. Há um padrão que existe na realidade, como coisa, e há um padrão percebido por nós. Este padrão percebido também existe, só que ele existe em nossa mente.

– Nossa mente é uma coisa? – interrompeu Cabeção.

– Eu acho que é um padrão! – se opôs Paulinha.

– O cérebro é uma coisa! – exigiu Amaral.

– O cérebro é uma coisa e a mente é um padrão do cérebro! –

concluiu Martha.

Satyendra se deu por satisfeito: “Aula encerrada! Na próxima aula tragam suas pedras!”.

## 7. FORÇA

Lembro-me que era um dia chuvoso. Satyendra entrou com um saco de supermercado cheio de molas e réguas, além de um rolo de barbante e uma tesoura.

– Trouxeram suas pedras? Muito bem! Vejam o que acontece quando seguro uma mola por uma extremidade, e na outra amarro minha pedra de estimação.

– Caramuru! – exclamou Pierre em um tom de gozação.

– A mola se estica. Por quê?

– A força da gravidade, né professor. A força da gravidade puxa a pedra para baixo e estica a mola.

– Óquei. Podemos dizer que esta mola mede uma força. Podemos colocar uma régua atrás da mola, para servir de escala. E agora? Como é que eu sei qual é a força exercida na pedra pela gravidade da Terra?

– Um newton, professor – lembrou-se Burti.

– O que é um newton?

– Kilograma metro por segundo ao quadrado.

– E daí?... Tá. Uma força que acelera um quilo, de forma que sua velocidade aumenta um metro-por-segundo a cada segundo, é chamada de um newton. Mas como sei o que é um quilo?

– É um litro d’água!

– Quanto é um litro?

– Mil centímetros cúbicos.

– Quanto é isso?

– É só usar a escala da régua!

– Muito bem. Vocês estão afiados! – elogiou Satyendra. – Mas façamos o seguinte. Usemos Teofrasto como a unidade básica. O que acontece se colocarmos *dois* Teofrastos na ponta da mola?

– Ela se estica o dobro do comprimento.

– Prove isso!

Desta maneira, o prof. Vela foi induzindo os alunos a procurarem uma pedra que tivesse o mesmo peso que Teofrasto. A pedra de Lóca deslocava a mola para a mesma posição de Teofrasto, então concluímos que a força exercida pelas duas pedras tinha o valor de dois Teofrastos. E, conforme esperado, a mola se deslocou duas vezes mais. Tínhamos construído um rudimentar medidor de forças, um “dinamômetro”. O professor explicou que este regime de “linearidade” não valia para forças muito pequenas ou muito grandes. Deu-nos então três molinhas de espessuras diferentes para medirmos forças. Como lição de casa, deveríamos medir (em unidades de Teofrastos) pelo menos dez forças diferentes.

## 8. VERDADE

No fim deste atividade surgiu uma discussão interessante sobre o que seria a “verdade”:

– É verdade que a pedra de Lóca tem o mesmo peso que Teofrasto?

– É! – respondemos em coro entediados.

– O que significa *verdade*?

Não tínhamos pensado nisso. Contamos com Robertão, mestre de pinball, para salvar nossa honra:

– A gente sabe que as pedras têm o mesmo peso porque medimos.

– Muito bem! “Verificamos” a verdade desta afirmação através de um experimento, de uma observação. Mas o que é “verdade”?

– Verdade é quando a coisa existe, – disse Laura.

– O que é existir? – conturbou Cabeção.

– Pera aí, gente! – ordenou o goense. – O que Laurinha disse é pertinente. Vocês se lembram que falamos que há uma realidade lá fora, e que nós a representamos em nossa mente? Representamos o mundo de duas maneiras, pelo menos: através de imagens e através da linguagem. A verdade é uma relação entre a linguagem e o mundo real. Quando houver uma *correspondência* entre uma sentença e um fato do mundo, dizemos que a sentença é verdadeira.

– Correspondência como? – perguntou Robertão.

– Veja. De certa forma, uma sentença tem a mesma estrutura que um fato real. O que significa isso? Isso significa o seguinte: quando enunciamos uma sentença, fazemos uma representação interna desta sentença. – Satyendra passou a fazer desenhos no quadro-negro. – Esta representação interna da sentença falada é semelhante à representação que temos do fato, à imagem da realidade em questão. A *visão* de que Teofrasto e a pedra de Lóca têm o mesmo peso é semelhante à *idéia* evocada pela sentença correspondente. Passamos então a projetar a imagem na realidade, a igualar nossa representação imagética com uma realidade lá fora, uma coisa-em-si. Concebemos assim uma correspondência entre linguagem e realidade, e isto constitui a “verdade”.

– Não entendi! – confessou Burti. Era bom ter alguém na classe que não tinha vergonha de sua própria ignorância.

– Professor, quando alguém fuma maconha, a realidade muda, a verdade muda! – exclamou Ponte. Com isto a classe desabou em conversas paralelas, e Satyendra esperou budisticamente nossa euforia se dissipar.

Um comentário da bela Laís centrou a atenção de todos. Chamei-a de bela pois estava fascinado por ela, sem saber a surpresa que Satyendra me reservaria, na festa do pijama.

– Li um livro que explica que o que é verdade para uma socie-

dade pode não ser para outra. É verdade que chupar manga e beber leite dá dor de barriga? Hoje em dia isso não é verdade. Mas para os escravos, há séculos atrás, isto era verdade. Um senhor de engenho inventou esta estória numa época em que havia poucas vacas leiteiras, para evitar que os escravos bebessem leite. Como eles comiam muita manga, deixaram de beber leite. Se um escravo bebesse leite com manga, sabe o que acontecia?

– Não.

– Ele era castigado pelo senhor do engenho. Ou seja, manga com leite fazia mal de verdade! Dizer que dava dor de barriga era uma verdade que funcionava para os escravos. Era então uma verdade, mas hoje não é mais.

– Espera aí, Laís! – retorcou Vela. – O fato de uma afirmação ser aceita por uma sociedade não significa que ela é verdade. Você está defendendo uma concepção “pragmática” da verdade, mas tal concepção não é uma *definição* de verdade, e sim um critério de aceitação de verdades. A verdade da manga e do leite é a mesma hoje como era há dois séculos atrás. A diferença é que antes aceitava-se que tal afirmação era verdadeira, e hoje ela é considerada falsa.

– No fundo a gente nunca tem certeza que uma frase é verdadeira.

– Certo, Paulinha.

– Mas professor, – intrometeu-se Eugênio com um sorriso – o senhor está dizendo que a definição de *verdade* por correspondência é *verdadeira*! Isto não é um círculo vicioso?...

– Uma petição de princípio. Bem observado, Eugênio. Mas esta pergunta é muito difícil para mim! Aula encerrada!

## 9. QUANTUM

Algum aluno reclamou com os pais que a matéria de Física não estava sendo dada na aula. Satyendra foi chamado pela direção, e a

notícia vazou para nós. Debatíamos em frente à lanchonete se as aulas dele eram boas ou não. Alguns se preocupavam com a preparação para o vestibular, outros contra-argumentavam que isso não era importante, pois todos acabariam fazendo o cursinho preparatório para o vestibular. Satyendra nunca falara em provas, e isso nos deixava contentes.

Na próxima aula, o prof. Vela entrou sem seu habitual ar de satisfação. Retirou um livro-texto de sua bolsa e começou a falar de cargas elétricas, rabiscando algumas fórmulas no quadro e fazendo alguns desenhos. Todos anotávamos, atenciosamente, desenhando as típicas bolinhas com sinal negativo que representam os elétrons. Após uns quinze minutos, quando já havíamos nos resignado com aquela aula tradicional, Satyendra virou para nós com um sorriso e comentou:

– Vocês sabiam que um elétron não é uma bolinha?

– É o quê, então, professor?

– Um elétron... um elétron... Sempre que olhamos para o elétron, ele aparece como uma coisa bem pequenininha. Supomos que ele tenha uma simetria esférica, então tudo bem representá-lo como uma bolinha. O problema é que *quando não estamos observando ele*, ele não se comporta como uma bolinha, mas se espalha pelo espaço, como uma espécie de nuvem. Além disso, ele tem uma vibração constante, eterna. Como ele se espalha e vibra, dizemos que ele se comporta como onda. Mas isto apenas quando não o observamos!

– Como é que é? – interessou-se Cabeção. Quando olhamos ele é uma bolinha, mas quando não olhamos ele é uma nuvem, uma onda? Quer dizer que o elétron é uma nuvem, e quando olhamos ele vira uma bolinha?

– Repete mais uma vez, Cabeção! – gozou Ponte.

– É isso mesmo. A nuvem sofre um *colapso*! Como a bolinha é descontínua, chamamos este mundo microscópico de “quântico”. Podemos aplicar as definições que aprendemos nas aulas anteriores. O *objeto* quântico, observado por nós, é sempre uma bolinha, uma partícula. Mas isto não significa que o *ente* quântico, a coisa quântica, seja

sempre uma partícula. Com efeito, o ente quântico é representado por uma “função de onda”, às vezes espalhado, às vezes concentrado num ponto!

Ninguém sabia o que dizer. Estávamos ao mesmo tempo fascinados e incrédulos. Após um longo instante, Eugênio ponderou:

– Como é que sabemos o que é o elétron quando ninguém está olhando?

– É, professor – completou Coelho, – se ninguém tá vendo, não dá pra dizer nada!

– Tudo bem! O que vocês estão falando faz sentido. Vocês estão adotando uma interpretação “positivista”. Lembra que eu expliquei isso na aula sobre o “objeto”? Para vocês, só faz sentido dizer que algo existe se ele for observado.

Eles pareceram concordar, mas o resto da classe ficou perplexa. Enquanto desenhava no quadro uma série de pontos separados e grosseiramente alinhados, Satyendra continuava.

– Inclusive, se você só atribui realidade para aquilo que vê, então você pode dizer que um elétron *salta* de um ponto para outro, sem descrever uma trajetória contínua.

– É como uma luz estroboscópica em uma festa! – adicionou a festeira Paulinha.

– Isto!... É uma realidade estroboscópica!

Explodimos em conversas paralelas. Começamos a falar da festa do pijama, onde seria, quem cuidaria do som, da comida, se dormiríamos na festa, etc. Lurdinha tinha oferecido sua ampla casa, que tinha até piscina, e estávamos todos ansiosos! Após mais alguns minutos de balbúrdia, Satyendra retomou o fio da meada.

– Moçada!... No ano passado vocês viram movimento uniformemente acelerado, velocidade média, não foi? Vocês aprenderam que um móvel possui uma *velocidade instantânea* a cada instante do tempo. Vocês não demoraram para entender isso? Pois se vocês tivessem aprendido primeiro esta visão estroboscópica da Física Quântica, vocês não

precisariam aprender velocidade instantânea. Pois aqui só temos velocidades médias (pois os pontos não são contínuos). E sabem que mais? Se a posição da partícula tiver um valor exato, ela não tem uma velocidade exata! É o princípio de incerteza!

– O senhor tem certeza? – gracejou Amaral.

– Tenho certeza que a aula acabou!

## 10. MEDIÇÕES DIRETAS

Na aula seguinte Satyendra apareceu com um vidro de geléia, dentro do qual havia duas folhas compridas de papel alumínio, encostadas uma na outra.

– Isto é um eletroscópio...

Passou a nos explicar seu funcionamento, e fez um experimento com eletricidade estática, esfregando um pedaço de acetato com uma toalhinha. Encostando o acetato no eletroscópio, vimos as duas folhas de alumínio se separarem.

– O que vocês estão medindo?

– Eletricidade!

– Mas o que da eletricidade?

– A carga. A carga elétrica no acetato.

– Não! Estou medindo seu potencial elétrico (sua tensão)!

Explicou-nos então a diferença, contou histórias sobre Alessandro Volta, e então fez a seguinte pergunta:

– O eletroscópio mede a tensão de maneira direta ou indireta?

– Não entendi! Seja mais direto, professor!

– O que vocês estão medindo diretamente é a *posição* das folhas.

Colocando um transferidor aqui atrás para medir o ângulo das folhas, estamos vendo a posição das folhas. Se a posição muda, sabemos que a tensão muda. É uma medição *indireta* de voltagem.

Seu olhar brilhou ainda mais ao encontrar mais uma oportuni-



dade para filosofar.

– Pensem bem. Toda medição que vocês conhecem é uma medição direta de posição! No dinamômetro que construímos, o peso é dado pela elongação da mola. A temperatura é dada pela posição da coluna de mercúrio em um termômetro. As horas de um relógio são medidas indiretamente pela posição do ponteiro. Um velocímetro de um carro...

– Professor, e quando medimos o tempo com uma ampulheta?

Satyendra esbugalhou os olhos em direção de Martha. Aproximou-se da alta e grande garota, segurou seu rosto e sapecou-lhe um beijo na bochecha!

– Genial, Martha, genial! É isso mesmo! Nem todas as medições reduzem-se a medições diretas de posição! Digamos que vocês queiram marcar os 45 minutos de um jogo de futebol com uma ampulheta que dura um minuto. O que vocês fariam?

– Viraria a ampulheta 45 vezes – apressou-se Lóca, enciumada com a atenção dada à colega.

– Isso mesmo! Vocês teriam que *contar* 45 vezes. Em circuitos eletrônicos, o tempo pode ser medido pelo número de oscilações da corrente elétrica. O quartzo do relógio é um oscilador. A conclusão então é esta: qualquer medição física envolve determinação de posição e/ou contagem de número de eventos.

## 11. TEMPO

Após um pequeno intervalo, o prof. Vela contou-nos que a diretoria estava insatisfeita com suas aulas, e que ele poderia perder o emprego a qualquer momento. Desculpou-se de ficar saindo da matéria, e quando parecia que voltaria a falar de correntes, voltagem e capacitores, começou a contar a história de James Maxwell, de como ele havia previsto as ondas de rádio, e assim por diante, até chegar na

Teoria da Relatividade.

Ficávamos meio perplexos quando filosofava, mas quando contava histórias adorávamos! Tentou voltar à aula, mas nós não queríamos matéria! Robertão perguntou sobre a Teoria da Relatividade, e Satyendra não resistiu. Contou-nos o paradoxo dos gêmeos, um dos quais fica na Terra e o outro que embarca para a estrela de Alfa Centauro. Quando este volta de viagem, ele está 6 anos mais velho, mas seu irmão que permaneceu na Terra ficou 8 anos mais velho! O tempo é relativo!

## 12. MENTIRA

Esta foi a última aula de Satyendra. Ele foi despedido pela direção da escola, por ser incapaz de seguir a ementa. Outro professor, de História, também seria despedido, sob a acusação de ensinar marxismo. Nos jornais ficamos sabendo que Satyendra também era “comunista”, e que ele teria sido despedido por esta causa. Foi substituído por um professor negro, que escrevia todas as fórmulas bonitinhas, fazia desenhos coloridos, e nos preparou bem para o vestibular. Mas não filosofava!

Vi o prof. Vela apenas mais uma vez, justamente na festa do pijama. Martha convidara-o, e ele apareceu, meio envergonhado, com uma bata indiana. Todos ficamos felizes em vê-lo, mas ele acabou sentado sozinho, num canto do jardim.

Eu estava numa roda com amigos, falando da surpresa dos transeuntes ao ver eu e meus amigos pegando ônibus de pijama. Olhei para Satyendra, e este me chamou com a mão. Converamos um pouco, e aí ele me disse que tinha saído com Martha, e que esta lhe fizera uma confidência. Dissera que sua amiga Laís estava gostando de mim! Achei que era gozação, mas ele insistiu, me incentivou a procurá-la. Eu a achava muita areia para meu caminhãozinho, mas depois de criar

coragem tomando uma batida de vinho, convidei a bela rapatiga para ver estrelas e comecei a beijá-la. Ela ficou tão surpresa com meu ímpeto, que cedeu em meus braços e teríamos um longo namoro.

Depois ficaria sabendo que fora tudo mentira do prof. Vela. Algumas mentiras são mais valiosas do que verdades! Acho que acabei escolhendo a carreira de filósofo da ciência para descobrir se as coisas que ele falava em classe eram mentira ou não. Apesar de sua experiência didática ter fracassado, Satyendra povoou minha imaginação com mundos fantásticos e com perguntas sem resposta certa.

# **ÉPISTEMOLOGIA E ENSINO DE CIÊNCIAS**

**Naomar de ALMEIDA FILHO**

---

**Charbel Niño EL-HANI**

---

**José Miguel ESTEBAN**

---

**Olival FREIRE JR.**

---

**Soraia Freaza LOBO**

---

**Michael R. MATTHEWS**

---

**Mauro C. B. de MOURA**

---

**Michel PATY**

---

**Oswaldo PESSOA JR.**

---

**João Carlos SALLES**

---

**Paulo ABRANTES**

---

**Robinson TENÓRIO**

---

**Waldomiro José da SILVA FILHO (editor)**

---

