



.....

**Sarita de Cassia Huguen Brunelli**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil  
E-mail: saritabrunelli@gmail.com

**Felipe Damasio**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil  
E-mail: felipedamasio@ifsc.edu.br

**Anabel Cardoso Raicik**

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: anabelraicik@gmail.com

.....

Normalmente, como aponta a literatura, a ciência é vista como um campo de conhecimento desenvolvido por pessoas de um tipo específico; gênios, brancos, homens. Contudo, diversas iniciativas vêm sendo elaboradas para mudar esse panorama, como um programa da UNESCO, patrocinado por uma multinacional, com o intuito de valorizar as cientistas mulheres. Nesse sentido, este artigo visa contextualizar a vida acadêmica da física Márcia Barbosa, discutindo, brevemente e sem recursos matemáticos, seus estudos acerca das anomalias da água que a levou a ser premiada internacionalmente. Essa discussão se mostra relevante, pois aborda temas de física contemporânea e suas aplicações práticas, como na dessalinização da água, que estão normalmente ausentes dos livros textos. Além disso, propõe e apresenta (em anexo) uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para professores de física, a fim de que possam levar discussões *de e sobre* a ciência para a sala de aula. Para que a UEPS seja implementada no ensino, disponibiliza-se em um sítio Web específico todo o material necessário para o professor interessado.

**Introdução**

O ensino de ciências, correntemente, apresenta concepções sobre o empreendimento científico que, conforme aponta a literatura [1-4], são limitadas e equivocadas à luz da moderna filosofia da ciência. Apesar de diversas pesquisas atestarem isso, ressalta-se que algumas delas, como as de Moura [5] e Martins [6], discordam que haja uma visão de ciência correta a ser discutida e refletida no âmbito da educação científica. O certo é que, implícita ou explicitamente, seja por meio dos professores ou dos materiais didáticos, há no ensino de ciências certa concepção filosófica que orienta, nesse contexto, a maneira de entender a ciência.

A ideia de que a ciência é individualista e elitista é uma das visões mais presentes no ensino. Nessa perspectiva, os estudiosos são vistos como gênios isolados e ignora-se o papel coletivo no desenvolvimento científico. Conseqüentemente, essa concepção restringe o trabalho científico, que acaba se destinando a minorias especialmente dotadas – o que causa impacto negativo na maioria dos alunos que não se enxergam como membros desse grupo privilegiado. Segundo Fernández [2], a ciência é entendida como uma atividade essencialmente masculina.

Com efeito, diversas ações têm sido feitas para destacar o papel das mulheres na ciência. Pode-se ressaltar, entre elas, o programa internacional UNESCO For Women in Science, patrocinado por uma multinacional. A cada ano, cinco cientistas são premiadas (uma para cada região do mundo). Desde o início do programa supracitado, cinco brasileiras foram laureadas com o prêmio: Mayana Zatz (Genética - USP), em 2001;

Lucia Previato (Microbiologia - UFRJ), em 2004; Belita Koiller (Física - UFRJ), em 2005; Beatriz Barbuy (Astrofísica - USP), em 2009; Marcia Barbosa (Física - UFRGS), em 2013 e Thaisa Storchi Bergmann (Astrofísica - UFRGS), em 2015.

Neste trabalho, evidencia-se tanto a trajetória acadêmica quanto os estudos físicos relativos à água da física premiada Márcia Barbosa. Além do já citado prêmio, a cientista também foi agraciada com a Medalha Nicholson (2009), o prêmio Cláudia (2013) e o prêmio Anísio Teixeira (2016), entre outros. Para que se possa compreender o impacto das pesquisas de Márcia, faz-se necessário contextualizar algumas características da água que podem ser consideradas anômalas, relacionando-as com alguns conceitos físicos como o de calor específico, compressibilidade e difusão. Essa abordagem parece relevante, pois normalmente tais temas de física contemporânea não estão presentes em livros-texto e, por consequência, em grande parte das aulas de física. Além disso, o presente artigo disponibiliza ao professor de física uma discussão acerca das aplicações práticas do desenvolvimento da física contemporânea ligada às anomalias da água, como sua dessalinização.

O viés de usar mulheres de sucesso para que meninas se sintam parte do empreendimento científico é sugerido por estudos recentes. Menezes [7], por exemplo, baseia-se no estudo

**Neste trabalho, evidencia-se tanto a trajetória acadêmica quanto os estudos físicos relativos à água da física premiada Márcia Barbosa**

de uma multinacional que apontou que há cinco causas que podem ajudar as meninas a se aproximarem da ciência: exemplos de mulheres cientistas de sucesso, incentivo de professores e pais, experiências práticas, aplicação na vida real e confiança na igualdade intelectual. A proposta didática sugerida no presente

trabalho pode contemplar pelo menos quatro destes itens.

Com o intuito de romper com a visão estereotipada de que a ciência é concebida por homens e visando discutir alguns conceitos físicos que envolvem anomalias da água, este artigo ainda propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que discute a ciência contemporânea produzida por Márcia e seu grupo de pesquisa. Desenvolvida pensando no ensino de ciências, a UEPS traz discussões e reflexões sobre a ciência à luz da moderna filosofia da ciência. Os objetivos da proposta são alcançar as duas condições que Ausubel [8] preconiza em sua Teoria da Aprendizagem Significativa a fim de se superar a aprendizagem mecânica: predisposição em aprender e material potencialmente significativo.

### **A física premiada: Márcia Barbosa**

Márcia Cristina Bernardes Barbosa nasceu em 1960, no Rio de Janeiro. Frequentou o Ensino Médio em Canoas/RS, no Colégio Marechal Rondon. Em 1978 iniciou a graduação em física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo concluído em 1981. Nesse mesmo ano, iniciou o mestrado, também na UFRGS, no qual estudou o modelo de Potts, concluído em 1984, ano que iniciou o doutorado na mesma instituição, continuando seu estudo acerca do modelo de Potts, obtendo o grau de doutora em Ciências em 1988. Márcia possui três pós-doutorados; na UFRGS, na Universidade de Maryland e na Universidade de Boston (EUA). É professora na UFRGS desde 1991, passando à categoria de titular em 2012.

Durante sua carreira, Márcia tem se dedicado a estudar as anomalias da água. Sua pesquisa envolve tanto questões teóricas quanto práticas, estas últimas relacionadas às aplicações em áreas como a medicina. Seu trabalho permite entender muitas características da água que a tornam diferente de outros líquidos e explicar, por exemplo, como as biomoléculas (como o DNA) interagem com a água dentro do corpo humano. Além disso, desde 1998 Márcia também se dedica à questão de gênero na física, sendo grande incentivadora de maior participação das mulheres na ciência. Por essa atividade, ela foi reconhecida com a Medalha Nicholson, ofertada pela American Physical Society.

### **A física premiada: a água e suas anomalias**

A purificação da água do mar em larga escala parece ser um sonho atingível.

Conforme destaca Márcia, a pesquisa que ela e o grupo de que faz parte vem desenvolvendo com nanotubos pode, em um futuro não muito distante, tornar isso possível. Eles se destacaram, recentemente, por terem descoberto uma particularidade da molécula da água no que se refere a sua anomalia de difusão. Por meio de um modelo computacional, identificaram que, diferindo do comportamento de diversos outros líquidos quando confinados, as partículas da água movem-se mais rapidamente quando mais de suas moléculas estão presentes [9].

Cabe evidenciar, para se compreender com maior proprie-

dade a relevância das pesquisas de Márcia e seu grupo, características primordiais da água. Por certo, ela é abundante em nosso planeta, cerca de 2/3 da superfície terrestre é coberta por água, além de o corpo humano ser formado por 70% desse líquido. Apesar disso, estimativas da ONU preveem que metade das pessoas irá sofrer com a escassez do líquido em 2025 [10]. Logo, uma questão que parece urgente envolve maneiras viáveis de produzir água potável [9]. Esse quadro se coloca porque, apesar de abundante, 98% da água é salgada. Dos cerca de 2% de água doce, só 0,6% está na fase líquida e, desse percentual, ainda boa parte está submersa [10].

A água é formada por uma molécula com três átomos (Fig. 1): dois hidrogênios (número atômico 1) e um oxigênio (número atômico 8). Como o oxigênio tem seis elétrons na camada de valência são necessários dois para completá-la; o hidrogênio tem somente um elétron, logo é preciso dois hidrogênios para completar a banda de valência. O compartilhamento dos elétrons na molécula de água é por ligação covalente, portanto ela possui duas ligações covalentes.

As ligações covalentes da água têm a particularidade de não se posicionarem

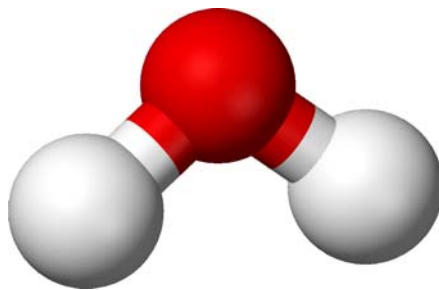


Figura 1: Molécula de água.

**Márcia tem se dedicado a estudar as anomalias da água. Sua pesquisa envolve tanto questões teóricas quanto práticas, estas últimas relacionadas às aplicações em áreas como a medicina**

linearmente como na maioria dos materiais; elas formam um ângulo de 104°. Esse ângulo, junto com a eletronegatividade do oxigênio (atrai mais os elétrons compartilhados por ter mais prótons), faz com que a água seja uma molécula polarizada, tornando-se um dipolo que atrai outras moléculas de água por meio do que é chamado de ligação de hidrogênio. Cada molécula pode fazer quatro ligações de hidrogênio, formando assim uma estrutura tetraédrica [11] como mostra a Fig. 2.

Apesar de ser uma molécula simples, a água pode ser considerada um fluido complexo. A sua obscuridade não envolve, necessariamente, o

sentido de “algo complicado”. Questões complicadas podem ser resolvidas por supercomputadores, por exemplo, por se conhecerem suas variáveis. Complexos são os problemas que apresentam várias escalas, vários grupos, como os que envolvem a água. Dados recentes [12] evidenciam que a água apresenta pelo menos 72 características consideradas anômalas.

As ligações de hidrogênio, a polarização e a formação de agregados transitórios podem ser algumas das razões que fazem da água uma substância complexa. Fenômenos relacionados ao seu calor específico, sua compressibilidade e sua difusão são algumas das anomalias mais proeminentes.

### **Calor específico**

O calor específico pode ser definido como “a quantidade de calor requerida para alterar a temperatura de uma unidade de massa da substância em 1 grau” [13, p. 272]. Cada substância possui um valor

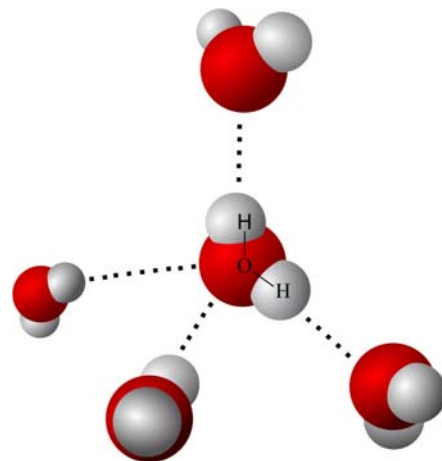


Figura 2: Estrutura tetraédrica da água.

próprio de calor específico, justamente por possuírem diferentes capacidades de armazenamento de energia interna – materiais distintos absorvem energia de maneira dissemelhante. A água, por exemplo, absorve, para uma mesma variação de temperatura, muito mais calor que o ferro, ou seja, o calor específico da água é maior que o do ferro. “Podemos pensar no calor específico como sendo uma espécie de ‘inércia térmica’” [13, p. 272].

A água, no entanto, apresenta uma característica anômala (Fig. 3). Normalmente, o valor do calor específico de um material diminui com a redução da temperatura. O comportamento do calor específico da água é singular. A água é capaz de absorver grandes quantidades de calor, variando pouco sua temperatura. Por certo, ele diminui para algumas faixas de temperatura. Conquanto, para temperaturas abaixo de 4 °C, o calor específico da água apresenta um crescimento elevado [11].

### Compressibilidade e coeficiente de expansão térmica

A compressibilidade pode ser entendida como a medida da variação do volume de uma substância em relação a uma variação na pressão, mantendo-se a temperatura constante. Os sólidos possuem compressibilidade muito pequena [10], enquanto os líquidos apresentam, normalmente, compressibilidade linear com a variação de pressão. Com efeito, quando o volume aumenta a pressão diminui, e vice-versa.

Não obstante, a água comporta-se de modo diferente. Existe uma região onde a compressibilidade diminui com o aumento da temperatura, apresentando um ponto de mínimo, mas depois o valor passa a ser positivo. Além disto, a compressibilidade da água é extremamente pequena, mas não chega a ser como a de um sólido (Fig. 4).

Outro comportamento estranho da água está associado a seu coeficiente de expansão térmica [11], que pode ser entendido como a medida da variação do volume com a temperatura. Na maior parte dos líquidos, esse valor é praticamente constante. Na água, todavia, ele diminui e chega ao ponto de ficar negativo – o que implica uma variação negativa de volume para um aumento de temperatura.

Por consequência, a água também apresenta uma anomalia em sua densidade. Ela apresenta um máximo de densidade em torno de 4 °C. Para temperaturas maiores do que essa, a água tem o valor de sua densidade se comportando como

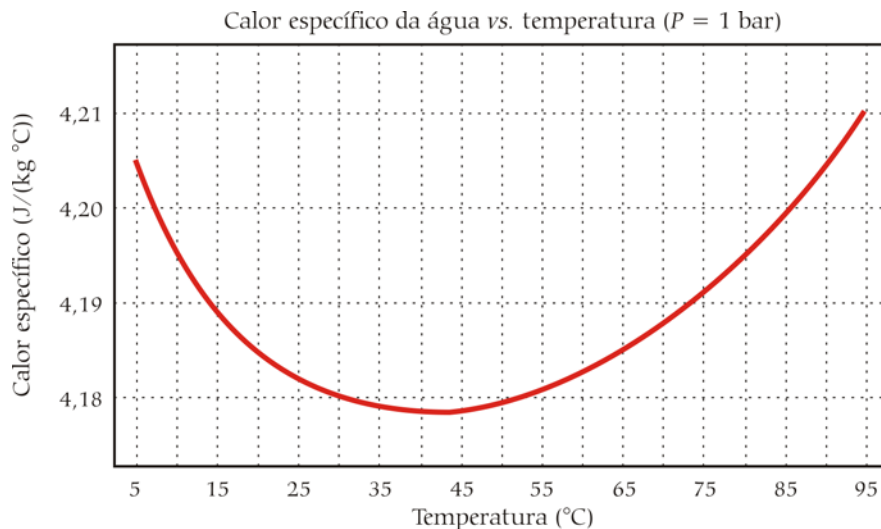


Figura 3: Variação do calor específico da água com a temperatura [11].

um líquido normal, isto é, a densidade aumenta com a diminuição da temperatura. Não obstante, para temperaturas inferiores, o comportamento é diferente e diminui com a temperatura [9] (Fig. 5). Um exemplo das implicações desta variação peculiar da densidade da água é que na fase sólida (gelo) ela tem densidade menor do que na fase líquida – ao contrário de outras substâncias. Isso explica por que o gelo boia na água líquida. Segundo Márcia Barbosa, esse comportamento da água, além de estranho, “é um mistério muito interessante” [11].

### Difusão

Sem grande rigor, pode-se definir a difusão como a capacidade das moléculas de se movimentarem em um determinado espaço – ou, como na analogia de Márcia, a capacidade das pessoas de andar [14].

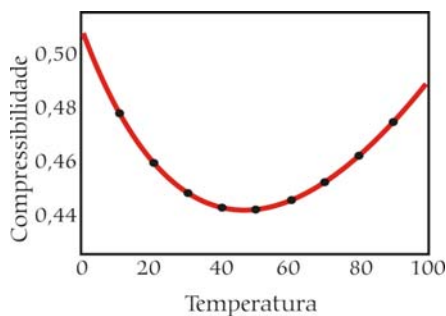


Figura 4: A variação da compressibilidade da água com a temperatura [9].

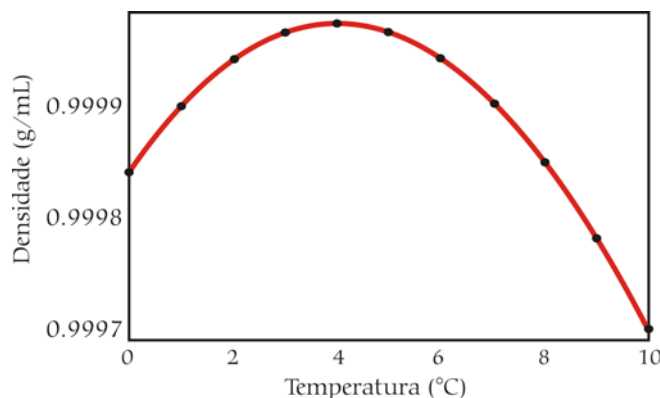


Figura 5: Variação da densidade da água com a temperatura [11].

De modo geral, espera-se que ao diminuir a densidade de um material, diminuindo a sua pressão, a difusão ocorra mais facilmente. A mobilidade é, normalmente, proporcional ao espaço disponível.

A água, contudo, apresenta novamente um comportamento atípico. Em baixas temperaturas seu coeficiente de difusão aumenta com a densidade (Fig. 6). Outro dado interessante que se pode perceber ao comparar as Figs. 5 e 6 é que a anomalia da difusão da água ocorre praticamente na mesma região que a de densidade.

A explicação para a difusão anômala da água baseia-se no movimento das moléculas, que procuram preservar as quatro ligações de hidrogênio. Essas ligações só se formam se as moléculas estiverem próximas; as partículas movem-se rompendo e formando ligações; logo, isso ocorre com mais facilidade em aglomerados mais densos [9]. Cabe ressaltar que todas as considerações acima supracitadas já eram bem conhecidas por meio da física experimental antes do trabalho

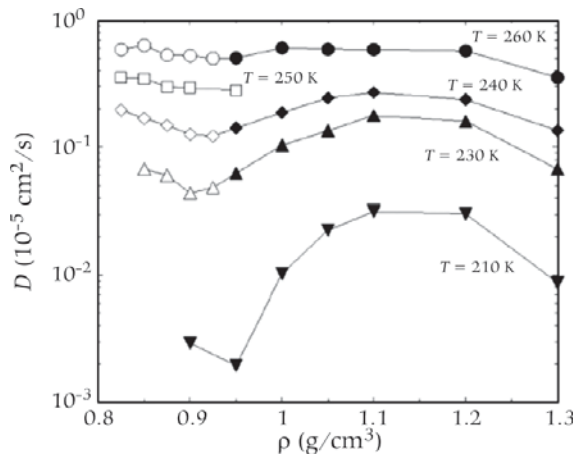


Figura 6: Coeficiente de difusão da água em função da densidade para diferentes temperaturas [15].

de Márcia e seu grupo na UFRGS.

O que levou Márcia Barbosa a ser agraciada com um prêmio do programa internacional UNESCO For Women in Science foi a pesquisa com simulações computacionais envolvendo a difusão da água. Por meio de modelos, ela e seu grupo conseguiram identificar e explicar fenômenos que por meio da física experimental não eram identificados nem explicados. As simulações evidenciaram que durante a difusão as moléculas de água ‘dançavam’ ao se transladar para manter as ligações de hidrogênio enquanto se mexiam. A título de curiosidade, esse movimento foi chamado jocosamente, por alguns acadêmicos da UFRGS, de “dancinha da Márcia” [10].

Identificou-se que o valor mínimo da difusão coincide com o máximo tempo de rotação das moléculas de água. Além disso, foi possível perceber que na região em que as moléculas de água se difundiam ao máximo, elas tinham cinco ou seis vizinhos, em vez de quatro como representado na Fig. 2. Essas moléculas ‘extras’ tornam mais fácil a água se mover, pois, como se constatou, a molécula extra facilita que uma molécula de água se desloque de uma ligação de hidrogênio para outra. Márcia denominou espirituosamente essa capacidade de “efeito Ricardão” [10]. Efetivamente, é pela percepção desse efeito que Márcia foi laureada com o prêmio oferecido pela UNESCO.

### Desdobramentos dos atuais estudos sobre a água: a superdifusão e a dessalinização

Atualmente, a dessalinização da água do mar parece ser um campo bastante promissor no que diz respeito à aplicação das pesquisas teóricas acerca da água. Os processos existentes têm custo energético

alto ou são, ainda, pouco eficientes. Como a tecnologia empregada neles está muito próxima do limite, dificilmente ficarão mais baratos que do que estão no presente.

Um mecanismo natural que é capaz de separar o sal da água é o corpo humano. Como coloca Márcia Barbosa [10], o rim é uma supermáquina que faz essa separação. Para esse processo, o órgão utiliza uma proteína conhecida como Aquaporina. Esse sistema, pelo qual a água passa por canais de cerca de 1 nm, é trinta vezes mais eficiente do que os melhores processos de dessalinização por filtros artificiais.

Nesse sentido, outro campo de pesquisa que parece promissor visa entender e reproduzir o sistema utilizado pelo rim por meio da Aquaporina. Recentemente, percebeu-se que quando a água está confinada em tubos de carbono muito pequenos, com diâmetros menores que 2 nm, ela flui com velocidade até mil vezes maior que o previsto pela termodinâmica [9]. A Fig. 7 reproduz um gráfico publicado pelo grupo de Márcia Barbosa que mostra o aumento do fluxo da água se comparado com um sistema não nanométrico.

Apesar de esse fenômeno ainda não estar completamente explicado, pode-se vislumbrar aplicações práticas de seu estudo. O sal não entra com facilidade em superfícies confinantes, pois precisa enfrentar uma descontinuidade dielétrica ao tentar entrar nos tubos. Logo, propôs-se recentemente que o alto fluxo da água e a repulsão do sal nos nanotubos podem se

configurar como uma estratégia interessante para dessalinizar a água do mar. Ressalta-se que, embora seja ainda uma proposta, já existem protótipos desse tipo de filtro [9].

### A física premiada em sala de aula: UEPS para um ensino de e sobre física/ciência

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) foram propostas por Moreira [17] como seqüências didáticas fundamentadas, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Uma motivação para a sugestão das UEPS foi que, segundo seu proponente, nem as teorias de aprendizagem nem tampouco os resultados da pesquisa básica em educação chegam à sala de aula.

Conforme Moreira, as UEPS podem ser construídas a partir de alguns aspectos sequenciais, como os apresentados abaixo. À luz desses aspectos é que se desenvolveu a UEPS “Para ensinar física moderna construída com a ajuda da física brasileira premiada internacionalmente Márcia Barbosa”, anexa a este artigo. Essa UEPS é constituída de slides, atividades experimentais, vídeos e textos que subsidiam as discussões. Cada uma de suas etapas foi desenvolvida levando-se em consideração aspectos relevantes para que a aprendizagem aconteça de maneira significativa; o aluno deve externalizar, inicialmente,

**Propôs-se recentemente que o alto fluxo da água e a repulsão do sal nos nanotubos podem se configurar como uma estratégia interessante para dessalinizar a água do mar**

seu conhecimento prévio; as primeiras situações-problema a serem discutidas e refletidas devem ser mais introdutórias, e a diferenciação progressiva precisa ser levada em consideração.

Nesse sentido, discutem-se a seguir algumas perspectivas teóricas abordadas por Moreira, trazendo à tona os aspectos

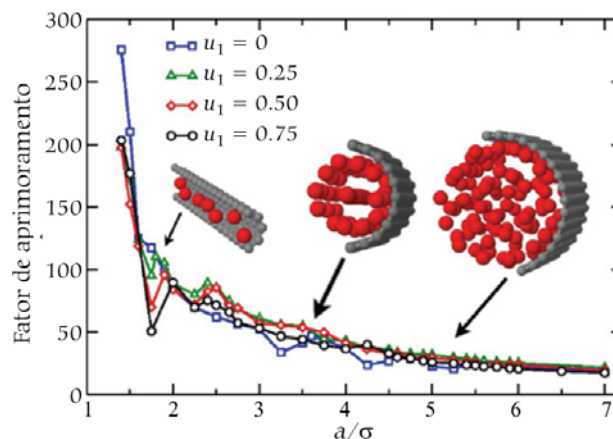


Figura 7: Superfluxo da água em função do raio do nanotubo [16].

sequenciais por ele sugeridos e pontos gerais da UEPS supracitada anteriormente. Ressalta-se que todos os materiais necessários para os professores colocarem a proposta em prática, o que inclui desde a UEPS até as apresentações de slides, estão disponíveis no sítio Física Premiada.

### **Definição do tópico específico a ser abordado**

De acordo com a concepção de desenvolvimento de UEPS, inicialmente pode-se definir o tópico específico que se pretende trabalhar em sala de aula. Isto posto, a proposta didática que perpassa a abordagem aqui descrita é fundamentada em dois pilares: uma educação *sobre e de* ciência. Para se alcançar isso, pretende-se desconstruir visões de ciência desalinhas com a moderna filosofia da ciência, procurando trazer reflexões sobre ciência que explicitam, em certa medida, convergências filosóficas como as que reconhecem que não há um método científico único, universal e infalível; que a ciência não é linear e acumulativa; que possui uma pluralidade metodológica, e que é praticada por indivíduos das origens mais diversas [1, 2, 17]. Para além disso, busca-se desenvolver uma abordagem concomitante de conceitos de física contemporânea, no que se refere às anomalias da água e aos processos de dessalinização da água do mar, quase sempre ausentes da educação científica.

### **Criação de situações iniciais para os alunos externarem seus conhecimentos prévios**

Para iniciar as atividades, mostra-se muito útil desenvolver estratégias que permitam aos alunos externalizar, sem receio, seus conhecimentos prévios *de e sobre* a ciência que se irá discutir. Para isso, a UEPS (anexo) propõe, por meio de roteiros de experiências, o levantamento de questões *de e sobre* a ciência que permeiam o desenvolvimento dos estudos físicos que levou Márcia Barbosa a ser premiada. Após isto, sugere-se a construção de um quadro com os estudantes que resuma o que foi destacado por eles ao responderem os questionamentos feitos após a realização dos experimentos e, dessa forma, socializar os conhecimentos prévios dos alunos. Ressalta-se que não se almejam respostas ‘certas’ e únicas, mas o diálogo e a socialização de reflexões em sala de aula.

### **Proposição de situações-problema**

Esse aspecto sequencial de uma UEPS procura, em um nível introdutório,

levantar questões que preparam o ambiente para a introdução do conhecimento que será discutido. Tais perguntas devem levar em conta o conhecimento prévio dos alunos. Logo, cada professor pode fazer adaptações em sua prática. No entanto, algumas características devem ser levadas em consideração na hora de elaborar as questões: devem envolver o tópico em pauta e os alunos devem entendê-los como problemas possíveis de modelar mentalmente com os conhecimentos prévios manifestados anteriormente. Para as situações-problema pode-se utilizar também simulações, vídeos e demonstrações experimentais, entre outros. Na UEPS desta proposta são descritas algumas situações-problema que se baseiam nas concepções alternativas apontadas pela literatura sobre o tema. No entanto, cabe a ressalva de que cada professor que irá utilizá-las pode, e deve, fazer adaptações, dependendo das características específicas de sua turma.

### **Apresentação do conhecimento a ser abordado**

Uma vez discutidas as situações-problema, o próximo aspecto sequencial é apresentar o conteúdo a ser abordado. Tal apresentação deve levar em consideração os princípios da teoria de Ausubel, a saber: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, consolidação e organização sequencial. Para a proposta aqui desenvolvida, produziram-se slides (disponibilizados no sítio supracitado). Nele, frisa-se, também está disponível todo o material de apoio necessário para o professor e aluno terem elementos para interagir com o material instrucional de maneira mais profícua.

### **Abordagem do conhecimento em um nível mais alto de complexidade**

Uma vez tendo discutido de maneira introdutória o conteúdo foco da unidade, esse momento propicia o levantamento de algum aspecto específico do conteúdo que está sendo apresentado. Nesta proposta de UEPS parece bastante natural que o aprofundamento esteja relacionado à física contemporânea estudada por Márcia Barbosa e seu grupo, isto é, o superfluxo da água, e a como tal estudo pode contribuir para permitir um processo de dessalinização da água mais viável. Além disso, essa abordagem pode colaborar para uma conscientização de que os recursos natu-

rais de nosso planeta são limitados e seu uso com parcimônia deve ser uma responsabilidade de todos.

### **Retomada das características mais relevantes**

Em continuidade à discussão em um nível de complexidade maior, o próximo aspecto sequencial sugere (por meio de textos de apoio e apresentação de slides) que se retomem os aspectos mais gerais das questões abordadas até então, permitindo enxergar o conteúdo todo como uma unidade de ensino. Nesse sentido, na UEPS foco deste artigo, optou-se por discutir o congelamento dos rios e lagos e ainda contextualizar como a densidade anômala da água permite a vida marinha.

### **Avaliação da aprendizagem na UEPS**

As avaliações devem evitar serem apenas verificadoras e ao final da instrução. Uma sugestão é realizá-las ao longo da UEPS por meio de diversas atividades. As avaliações podem ser somativas e, como exemplo, o professor pode construir tabelas para acompanhar cada evidência de aprendizagem significativa durante a realização das atividades. Moreira sinaliza, no entanto, a importância de uma avaliação somativa individual. Nesse caso, ela pode trazer “questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência” [18, p. 46]. A avaliação sugerida envolve aspectos de e sobre a ciência, procurando identificar evolução conceitual nessas áreas.

**As avaliações devem evitar serem apenas verificadoras e ao final da instrução. Uma sugestão é realizá-las ao longo da UEPS por meio de diversas atividades**

### **Avaliação da UEPS**

Uma UEPS somente será exitosa se ao final de sua aplicação houver indícios de aprendizagem significativa. Lembrando que, segundo Moreira: “aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso a ênfase em evidências, não em comportamentos finais” [18, p. 46]. Caso não haja tais indícios de aprendizagem significativa, cabe ao professor reavaliar a atividade e modificá-la para atividades futuras. Nessa UEPS sugeriu-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas e seu próprio aprendizado.

### **Considerações finais**

A importância do reconhecimento de mulheres cientistas tem impacto, ainda

## Anexo

UEPS: Para Ensinar Física Moderna Construída com a Ajuda da Física Brasileira Premiada Internacionalmente Márcia Barbosa

**Objetivo:** apresentar a carreira de Márcia Barbosa e os estudos físicos que a levaram a ser premiada internacionalmente, além de vislumbrar possíveis desdobramentos do trabalho dela e de seu grupo de pesquisa.

**1. Situação inicial:** sugere-se aos alunos que desenvolvam dois experimentos propostos no Roteiro de experiências, entregue a cada um deles: “Termômetro de água” e “Flutua ou afunda”. Ressalta-se, nesse momento, que o objetivo dessa atividade experimental é a de levantar concepções a respeito dos temas, não estando os alunos sendo avaliados pelas respostas, e sim pela participação nas atividades. Após eles realizarem os experimentos, levantam-se questionamentos referentes ao primeiro experimento: (i) O que acontece com o volume de uma substância quando a temperatura dela aumenta? (ii) O que acontece com o volume de uma substância quando a temperatura dela diminui? (iii) Todas as substâncias se comportam da maneira como foi descrito nas duas primeiras perguntas ou existem exceções? Se sim, quais são elas? Para o segundo experimento: (i) Se a massa é a mesma, por que o comportamento é diferente? (ii) Se sólidos são mais densos (normalmente) que os líquidos, porque o gelo flutua? Essas questões podem ser respondidas em grupo e, depois de um tempo destinado às discussões sobre elas, o professor pode construir um quadro com o resumo das respostas dadas, procurando com isso fomentar a reflexão: além das respostas sintetizadas, existe algo mais a ser acrescentado?

**2. Situações-problema:** visando levantar as concepções prévias dos alunos, realizam-se duas atividades. A primeira delas consiste em apresentar aos estudantes o vídeo “STAR STUFF – poeira das estrelas”, disponível em <https://youtu.be/VwxxtgSn3l10>. Em seguida, explicita-se que o vídeo é uma pequena biografia de um dos mais famosos cientistas da segunda metade do século XX, Carl Sagan. Após isso, sugere-se que os alunos respondam, individualmente, às seguintes questões: (i) Por quem a ciência é produzida? (ii) O que é necessário para ser um bom cientista? (iii) Brasileiros são bons cientistas? (iv) Você saberia citar algum cientista homem famoso? E uma mulher cientista? E um(a) cientista brasileiro(a)? (v) Alguém nesta sala poderia ser um(a) bom(boa) cientista? Por quê? Posteriormente, o professor mediará uma discussão em grande grupo procurando escrever no quadro as possíveis conclusões da turma. A segunda atividade desse segmento da unidade consiste em apresentar e disponibilizar a letra da música “Planeta Água” de Guilherme Arantes aos alunos e propor que, individualmente, eles respondam às seguintes questões: (i) A água é muito abundante no nosso planeta, compondo  $\frac{3}{4}$  da Terra. Nesse sentido, será mesmo que corremos o risco de passar por um racionamento nos próximos anos? (ii) Grande parte das pessoas sabem que a molécula de água é  $H_2O$ ; será que a física/química da água é complicada ou relativamente simples? (iii) Você já ouviu falar de algum cientista brasileiro famoso por estudar e explicar muitas coisas sobre a água? Novamente, após os alunos responderem e refletirem sobre as perguntas levantadas, o professor deverá mediar uma discussão, procurando escrever no quadro as possíveis conclusões da turma.

**3. Revisão:** iniciar uma aula de revisão utilizando a Apresentação de slides 1. As questões ali colocadas são: (i) Tudo que ouvimos falar sobre a “ciência” é feito com a mesma metodologia? (Existe um jeito certo de fazer ciência? Existe uma forma única de fazer ciência? Existe apenas um perfil de cientista?) (ii) Brasileiros são bons de ciência? Existem brasileiros famosos no mundo da ciência? E as mulheres brasileiras? Após apresentar como um exemplo de cientista mulher brasileira a física Márcia Barbosa, levantar a seguinte questão: (ii) o que levou Márcia Barbosa a ser premiada e reconhecida internacionalmente?

**4. Nova situação-problema, em um nível alto de complexidade:** por meio da Apresentação de slides 2, busca-se problematizar a escassez de água potável que atingirá metade dos habitantes do planeta em poucos anos. Nesse sentido, suscitam-se as seguintes questões: (i) Por que a escassez de água preocupa a humanidade, ou parte dela ao menos, sendo que ela é tão abundante? (ii) É possível produzir água potável a partir da água do mar atualmente? Caso afirmativo, de que modo isso é feito? (iii) Como o grupo liderado por Márcia está contribuindo para ajudar a resolver a questão da dessalinização da água?

**5. Avaliação somativa individual:** as avaliações deverão acontecer por meio de questões abertas que exijam o máximo de transformação no conteúdo abordado. Não deverão ser utilizadas questões que tenham respostas que possam ser encontradas no material instrucional sem uma reflexão prévia. Exemplo desse tipo de avaliação pode ser encontrado no arquivo AvaliaçãoS1.

**6. Aula expositiva dialogada integradora final:** usando a Apresentação de slides 3, retoma-se todo o conteúdo da UEPS de forma integradora, revendo as questões colocadas na Apresentações de slides 1 e 2. Para além disso, procura-se fazer uma integração geral das discussões geradas ao longo da unidade de e sobre ciência com o intuito de desconstruir a ideia limitada e ingênua de que a ciência é produzida, avaliada e acessível somente a privilegiados. Por fim, traz-se a reflexão: quem pode fazer e gostar de ciência?

**7. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** deverá estar baseada na participação nas atividades dos alunos, nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

**8. Avaliação da própria UEPS:** sugere-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas na UEPS e seu próprio aprendizado. Além disso, o docente deverá avaliar a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos e, se necessário, reformular algumas atividades.

**Total de aulas:** 9 a 12.

que não diretamente, no ensino de ciências. A contextualização do prêmio, assim como de Márcia, neste artigo, evidencia que a ciência é desenvolvida por mulheres, inclusive. Nesse sentido, propostas como a UEPS aqui apresentada permite, além da discussão de conteúdos físicos e a valorização de mulheres no desenvolvimento do conhecimento, o rompimento de uma imagem estereotipada de ciência como exclusiva para homens dotados de genialidade.

Watanabe e cols. [19] ressaltam que visões desse tipo envolvem o pressuposto de que pessoas “especiais” seriam dotadas de atributos que a maioria não possui e, não bastasse isso, seria missão delas a busca pelo conhecimento científico. Logo, não parece difícil entender por que vários estudantes não se sentem motivados para aprender e participar do empreendimento científico – eles não se enxergam como parte da minoria especial que pode produzir e entender a ciência.

Nesse caso, o abismo entre a ciência

idealizada e a ciência real desmotiva os alunos e ocasiona um grave problema pedagógico que impossibilita a construção de uma aprendizagem significativa: não há predisposição em aprender. Essa é uma das condições necessárias que Ausubel preconiza para que haja aprendizagem significativa [20]; sem ela, nenhum material potencialmente significativo poderá evitar, na melhor das hipóteses, uma aprendizagem mecânica.

O estudo das diversas anomalias da água, contextualizado junto a Márcia e o reconhecimento que ela recebeu internacionalmente, é uma possibilidade, como se argumenta neste artigo, de motivar estudantes – e estudantes mulheres – a olharem para a ciência como ela realmente acontece. Além disso, analisá-la por meio de seus protagonistas, neste caso uma física brasileira. A importância dada ao grupo a que ela pertence ainda contribui para que os estudantes percebam que a ciência é, acima de tudo, coletiva; seja porque os estudiosos interagem diretamente entre si,

seja porque o conhecimento tem que ser divulgado, avaliado e reconhecido por seus pares. Ademais, os desdobramentos desses estudos com a água para a dessalinização do mar, por exemplo, é tema atual e instigante. Além de tudo, essas questões de física contemporânea e suas possíveis aplicações tecnológicas estão quase sempre ausentes em materiais instrucionais disponíveis aos professores da educação básica. Logo, o presente artigo procurou fazer essa abordagem juntamente com uma proposta de como levá-la até a sala de aula, fazendo uma aproximação entre a pesquisa em física contemporânea com o ensino de física.

Por certo, buscou-se mostrar que no Brasil se produz ciência de qualidade reconhecida internacionalmente e, ainda, que grandes físicos brasileiros são mulheres. A ciência, de fato, pode ser entendida e produzida por quem tiver interesse. Parafraseando uma frase famosa da causa feminista: *lugar de ciência é onde alguém a quiser.*

## Referências

- [1] D. Gil Pérez, I.F. Montoro, J.C. Alís, A. Cachapuz e J. Praia, *Ciência & Educação* **7**, 125 (2001).
- [2] I. Fernández, D. Gil, J. Carrascosa, A. Cachapuz, J. Praia. *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 477 (2002).
- [3] J.F.K. Köhnlein e L.O.Q. Peduzzi, in: *Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências*. Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, 2002 (CD-ROM).
- [4] M.A. Moreira e F. Ostermann, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **10**, 108 (1993).
- [5] B.A. Moura, *Revista Brasileira de História da Ciência* **7**, 32 (2014).
- [6] A.F.P. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 703 (2015).
- [7] D.P. Menezes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 341 (2017).
- [8] D.P. Ausubel, J.D. Novak e H. Hanesian, *Psicologia Educacional* (Interamericana, Rio de Janeiro, 1980).
- [9] M.C. Barbosa, *eBFIS* **4**, 5101 (2015).
- [10] M.C. Barbosa, *Simplifísica - Superfluxo de Água e Suas Aplicações na Dessalinização de Água do Mar*, disponível em <https://youtu.be/bb5Qt8nroKs>, acesso em junho de 2017.
- [11] M.C. Barbosa, *Simplifísica: Água e Outros Líquidos Complexos*, disponível em <https://youtu.be/4z01XXa4Nlw>, acesso em junho de 2017.
- [12] M. Chaplin, *Seventh-two Anomalies of Water*, disponível em <http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html>, acesso em junho de 2017.
- [13] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- [14] G.S. Kell, *J. Chem. Eng. Data* **20**, 97 (1975).
- [15] P.A. Netz, F.W. Starr, H.E. Stanley, H.E. and M.C. Barbosa, *J. Chem. Phys.* **115**, 344 (2001).
- [16] J.R. Bordin, A. Diehl and M. C. Barbosa, *J. Phys. Chem. B* **117**, 7047 (2013).
- [17] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa em Revista* **1**, 43 (2011).
- [18] L.O.Q. Peduzzi e A.C. Raicik, *Sobre a Natureza da Ciência: Aserções Comentadas para uma Articulação com a História da Ciência*, disponível em [http://docs.wixstatic.com/ugd/7d71af\\_02eff5d587b493691e16fa564cbc469.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/7d71af_02eff5d587b493691e16fa564cbc469.pdf), acesso em junho de 2017.
- [19] G. Watanabe, G.W. Caramello, R. Ribeiro, I. Gurgel. *Lat. Am. J. Phys. Educ* **6**, Suppl. I (2012).
- [20] E.A.S. Masini e M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa: Condições Para Ocorrência e Lacunas que Levam a Comprometimentos* (Vetor Editora, São Paulo, 2008).

Visite o site Física Premiada:  
Física Premiada, <https://ge2dic.wixsite.com/fisicapremiada>.