

A DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA ATRAVÉS DO TEATRO: UM ESTUDO EM *COPENHAGUE* DE MICHAEL FRAYN.

THE DIFFUSION OF SCIENCE THROUGH THEATER: A STUDY OF *COPENHAGEN* BY MICHAEL FRAYN.

Alessandro Frederico da Silveira¹

Ana Paula Bispo da Silva², Aurino Ribeiro Filho³

¹Universidade Estadual da Paraíba/Departamento de Física/ *Doutorando* DINTER UFBa/UEFS/UEPB, alessandrofred@yahoo.com.br

²Universidade Estadual da Paraíba/Departamento de Física, anabispo@ifi.unicamp.br

³ Universidade Federal da Bahia/Instituto de Física, rbfilho@ufba.br

Resumo

Este trabalho é um estudo teórico da obra *Copenhague*, peça de teatro escrita em 1997 pelo autor inglês Michael Frayn, que procura estabelecer uma ponte entre a ciência e a arte, como forma de divulgação da ciência. A peça explora os aspectos sociais e os dilemas éticos de dois dos principais cientistas envolvidos na teoria quântica, Niels Bohr (1885-1962) e Werner Heisenberg (1901-1976), quanto às questões complexas provocadas pela Física Quântica e pela fissão nuclear. Apresentaremos alguns recortes deste texto, por entendermos que através destes há a possibilidade de levar aos alunos conhecimentos acerca de elementos de História da Mecânica Quântica presentes na peça, em particular as idéias dos princípios da complementaridade e da incerteza, discutidas pelos personagens. Acreditamos que através deste meio de divulgação, em especial através do elo entre a ciência e a arte é possível uma melhoria no ensino de ciências e sobre ciências.

Palavras-chave: ensino de ciências, divulgação científica, História da Mecânica Quântica, arte, teatro

Abstract

This article tries to discuss how a play can be used as a bridge between science and art. It is based on Michael Frayn's play *Copenhague*, which was written in 1997. The play explores the social and ethical dilemmas that are involved in the complex hypotheses of quantum physics and nuclear fission and that have as main scientists Niels Bohr (1885-1962) and Werner Heisenberg (1901-1976). Inside this play we can find some citations where the characters discuss aspects of the History of Quantum Mechanics that are related to uncertainty and complementarity principles. We believe that the play, as a way of diffuse this scientific concepts, becomes the science teaching more interesting and full of meaning.

Keywords: science teaching, scientific literacy, art, theatre, History of Quantum Mechanics

INTRODUÇÃO

Estamos vivendo a primeira década do século XXI sem conseguir socializar amplamente o conhecimento, o que ainda é um grande desafio para a sociedade e a escola. A contradição entre o atual desenvolvimento científico e tecnológico e o grau de desconhecimento da sociedade sobre o funcionamento da ciência tem constituído motivo de preocupação para muitos que consideram este fato um desafio a ser enfrentado.

Desta maneira, defendemos a idéia de que a ciência, por sua própria natureza, tem de ser aberta, comunicada não apenas à comunidade científica, mas também e de forma diferente na sociedade em geral, a começar pela escola (educação formal). Percebemos, ainda, a necessidade urgente de uma verdadeira qualificação no espaço escolar, assim como a importância de não limitar a experiência dos educandos e dos educadores aos meios da escola. Nós, responsáveis pela formação de cidadãos, devemos “ousar para criarmos e recriarmos o conhecimento”(FREIRE e SHOR, 1986, p.48).

Para Abreu (2001), apesar de todo o avanço conquistado, tanto no desenvolvimento da ciência e tecnologia quanto na sua divulgação, existe ainda no Brasil um importante e crescente desequilíbrio entre o desenvolvimento da ciência e tecnologia e a educação científica do cidadão brasileiro.

Considerando este novo contexto, a formação escolar deve ser ampliada, democratizada, e buscar novos padrões de qualidade. A educação escolar deverá desenvolver hábitos mentais e atitudes que atendam ao indivíduo na sua necessidade informativa e formativa, para que se torne efetivamente cidadão (ABREU, 2001).

Alguns estudiosos e pensadores da educação têm debatido muito neste início de século sobre a divulgação da ciência, atividade que tem crescido e se diversificado no Brasil nas últimas décadas, que de certa maneira, busca suprir, o analfabetismo científico. Para alguns pesquisadores da área (ABREU, 2001; CALDAS, 2004; HAMBURGER, 2001; MASSARANI, 2004), as formas de divulgação das ciências evoluíram acompanhando a própria evolução das ciências e da tecnologia, gerando assim uma grande variedade de formas, meios e instrumentos de divulgação, que em suas diversas vertentes, apresenta-se “na mídia, na escola, nos museus, em manifestações lúdicas como teatro, música, charges...” (CALDAS, 2004, p. 67).

Entre as formas de divulgação científica que têm surgido, o elo entre ciência e arte parece-nos ser a ponte entre duas culturas que se complementam. Estudos realizados por alguns pesquisadores mostram a utilização de recursos artísticos para o ensino de ciências a fim de uma melhor compreensão dela e sobre ela (DÖRRIES, 2005; MASSARANI e ALMEIDA, 2006; MATOS, 2003; REIS, GUERRA e BRAGA, 2005; ZANETIC, 2006).

A relação entre ciência e arte pode ser feita de diferentes formas. A partir da música, se pode ensinar conceitos (SILVEIRA et al., 2007), promover uma conscientização sobre os problemas que a ciência tem em pauta (SILVEIRA e SANTOS, 2007), ou até mesmo fazer compreender que a ciência não é uma atividade neutra, longe da visão ideal e perfeita que aparece em alguns meios de divulgação, mas que apresentam dilemas éticos e estão inseridos em um contexto social complexo. Esse aspecto da divulgação da ciência pela arte pode ser enfatizado pela História e Filosofia da Ciência.

O teatro encenando episódios históricos vem se destacando com diversos espetáculos criados por algumas universidades¹, fundações², e companhias³, por

¹ O Departamento de Física da UEPB, em algumas atividades, mais especificamente, nas mostras científico-pedagógicas do CCT desta universidade e nas Semanas Nacionais de Ciência e Tecnologia,

entenderem que atividades de divulgação da ciência podem e devem acontecer através da arte. De acordo com alguns pesquisadores e divulgadores como (CANDOTTI, 2003; DÖRRIES, 2005; MATOS, 2003; PALMA, apud MASSARANI E ALMEIDA, 2006), relacionar a ciência e a arte é importante na comunicação da ciência para o público em geral, oferecendo diferentes modos de representação do mundo, enriquecendo assim suas possibilidades de escolha, de significados e valores, no mundo em que vivem.

Alguns autores, bem como as reformas educacionais também defendem que a História e a Filosofia da ciência devem está presentes nesses espaços educacionais (FREIRE, 2002; GIL-PEREZ, 1993; GLAS, 1998; MACHAMER, 1998; MARTINS, 1998; SILVA, 2006), destacando-se como um dos princípios básicos para a humanização das ciências tidas exatas. Uma vez que a História e a Filosofia da Ciência se constituem de instrumentos estratégicos, interessantes e com grandes possibilidades, para permitir que o aluno possa entender o cientista como ser humano e a ciência não como uma obra acabada, mas como um processo de permanências e rupturas.

Nesta perspectiva de comunicação da ciência, associada a elementos históricos e filosóficos, apresentaremos neste trabalho recortes do texto da obra *Copenhague*, peça de teatro escrita em 1997 pelo autor inglês Michael Frayn, que procura estabelecer uma ponte entre a ciência e a arte, como forma de divulgação da ciência. A peça lida com, pelo menos, dois temas de destaque, que são: a questão nuclear e os princípios de incerteza e complementaridade. Estes temas, por envolverem princípios éticos e filosóficos de amplas conseqüências, não permaneceram, durante a primeira metade do século XX, restritos ao ambiente acadêmico/científico. Com a encenação da peça, estes temas voltaram à tona e expuseram para o público em geral, a ciência como construção humana, isenta de imparcialidade. Sendo assim, o papel do teatro, enquanto divulgador dessa ciência complexa, é de grande importância social, pois possibilita estabelecer uma análise crítica da relação ciência e sociedade.

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA

A utilização da História e Filosofia da Ciência como um dos recursos para se entender a construção da ciência é de consenso entre vários pesquisadores, principalmente nos espaços formais de educação (FREIRE, 2002; GIL-PEREZ, 1993; GLAS, 1998; MACHAMER, 1998; MARTINS, 1998; SILVA, 2006).

Porém a possibilidade de utilizar a História e a Filosofia da Ciência para abordar a ciência sob diferentes perspectivas, como as já citadas (por exemplo, princípios éticos dos cientistas), faz com que sua presença também em ambientes não formais de educação contribua para a formação do cidadão.

Questões éticas aparecem em todas as áreas das ciências e não estão limitadas apenas aos espaços formais de ensino. Portanto, nada mais plausível que essas questões sejam discutidas entre o público em geral, através dos espaços não formais, e a História e Filosofia da Ciência sejam utilizadas como recursos para mostrar as diferentes ideologias existentes (MATTHEWS, 1995, p. 193), o que é possível fazendo-se uso da

criada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), vem desenvolvendo algumas atividades, fazendo uso do teatro, para a divulgação da ciência.

² Um exemplo de fundação que também propõe um trabalho para a divulgação da ciência é a Fundação Osvaldo Cruz (Fiocruz), que alia ciência e arte, na busca do diálogo entre a população e o conhecimento científico.

³ A companhia, “Arte e ciência no palco”, dirigida por Carlos Palma desde 1998, monta peças cujo foco principal são temas ligados a ciência.

relação ciência e arte. Desta forma, a divulgação científica levaria em consideração também aspectos éticos, morais e de riscos, assim como controvérsias eventualmente existentes na ciência (MASSARANI, 2004, p. 87).

Neste sentido, Zanetic (2006) menciona que o ensino de ciências não pode prescindir da presença da História e da Filosofia da Ciência, e de sua ligação com outras áreas da cultura, entre elas o teatro. A História da Ciência é por vezes tema de peças teatrais, como: *The Physicist*, (1962), *Einstein* (1995), *Copenhague* (1997), *Da Vinci: Pintando o Sete* (2000) etc.

A OBRA *COPENHAGUE* E OS DILEMAS DA FÍSICA NO PERÍODO DE 1925 A 1945

A obra *Copenhague* foi escrita em 1997 pelo escritor Michael Frayn e situa-se em tempo e lugar desconhecidos. Os personagens principais são três: Niels Bohr, Werner Heisenberg e Margrete Norlungue, esposa de Niels Bohr. Os personagens estão mortos e relembram, ora no mesmo ambiente, ora em ambientes diferentes, o que Bohr e Heisenberg conversaram em um encontro real que aconteceu entre os cientistas em 1941, em Copenhague, Dinamarca, na casa de Bohr. A conversa oscila entre dois assuntos principais: os princípios de incerteza e complementaridade e a questão nuclear (FRAYN, 2000; DÖRRIES, 2005; SANTOS, 2002; SHEPHERD-BARR, 2006).

Quando o encontro ocorreu, em outubro de 1941, Heisenberg, professor de física teórica na Universidade de Leipzig, liderava o programa alemão para investigar a possibilidade de fabricação de uma bomba atômica. Nesse período, a Alemanha Nazista já havia ocupado a Polônia, Bélgica, Holanda, Noruega, parte da França e a Dinamarca, onde Bohr encontrava-se isolado em sua casa. Heisenberg estava em Copenhague para participar de um seminário no Instituto Cultural Alemão e foi convidado por Bohr para jantar em sua casa. Como costumeiramente acontecia nos encontros de Bohr, os dois saíram para uma caminhada para conversar, porém, pouco se sabe sobre o que conversaram (ABDALLA, 2006; MARTINS, 2006a; SANTOS, 2002).

Durante os anos de 1925 a 1927, Niels Bohr (1885-1962) e Werner Heisenberg (1901-1976) haviam trabalhado juntos em Copenhague, desenvolvendo os dois princípios fundamentais formadores da chamada “Interpretação de Copenhague”, que negava a possibilidade de descrições causais microscópicas, semelhantes às da física clássica para os fenômenos quânticos (MARTINS, 2006b).

Em 1927, Heisenberg havia chegado às relações de incerteza baseado principalmente no papel do experimento na teoria quântica e o formalismo para descrever os fenômenos (JAMMER, 1974, p. 63) e em setembro do mesmo ano, depois da publicação de Heisenberg sobre as relações de incerteza, em um congresso de Como, Itália, Bohr apresentou as bases do princípio de complementaridade para quase todos os físicos envolvidos na nova teoria quântica, sendo que somente Einstein e Ehrenfest não estavam presentes.

Tanto o princípio da incerteza quanto o de complementaridade apresentavam implicações para a filosofia. As relações de incerteza estabelecidas por Heisenberg tinham um significado maior do que a determinação da posição ou velocidade de uma partícula. Elas eliminavam a *causalidade*, que sempre regeu tanto as leis da física quanto a filosofia.

De forma semelhante, o princípio da complementaridade, que passou a ser aplicado em várias áreas como psicologia, lingüística, ética, teologia, etc., assumia que, se fosse adotada uma relação causal na descrição do movimento, não poderiam ser adotadas as relações de tempo e espaço conhecidas (JAMMER, 1974, p. 88).

Nesse período também houve avanços na física nuclear. A descoberta da fissão nuclear em 1938 e as pesquisas com decaimento proporcionaram novas possibilidades na área nuclear. As pesquisas sobre o poder da energia nuclear coincidiram com a invasão de vários países pela Alemanha nazista e a formação da aliança entre Alemanha, Itália e Japão (países do Eixo).

Com isso, vários cientistas dos países invadidos foram para os Estados Unidos, e o projeto de construção da bomba atômica, que, até então, não tinha um caráter destruidor perante os cientistas, como relata o próprio Bohr (BOHR, 1950), passou a se tornar mais factível. Em 1942, os Estados Unidos, criaram um projeto secreto, o Projeto Manhattan, contando com vários cientistas que ali se encontravam para a criação da bomba atômica (SMITH, 1978). Bohr estava entre os cientistas e permaneceu nos Estados Unidos até 1945, quando voltou à Dinamarca.

O modo como a peça apresenta as lembranças dos personagens sobre a construção da bomba atômica e os princípios da física quântica parece, como nos princípios de incerteza e complementaridade, não obedecer uma *causalidade*. Este fato e os dilemas éticos que aparecem na peça permitem estabelecer algumas questões as quais buscaremos respondê-las até o término de uma pesquisa empírica desenvolvida pelo primeiro autor deste trabalho. Dentre as questões destacamos:

- Através da peça seria possível investigar como a ciência funciona e quais os dilemas éticos e morais que os cientistas têm que enfrentar?
- Qual o potencial didático e de divulgação da ciência que a peça possa proporcionar em relação à assimilação da ciência e da história da ciência?
- Qual a importância de relacionar a ciência e a arte para difundirem conhecimentos sobre a ciência?

EXPLORANDO O TEXTO: AS IDÉIAS DOS PERSONAGENS SOBRE OS PRINCÍPIOS DA COMPLEMENTARIDADE E DA INCERTEZA

Os dois princípios fundamentais formadores da chamada “Interpretação de Copenhague”, que negava a possibilidade de descrições causais microscópicas, semelhantes às da Física clássica para os fenômenos quânticos, são discutidos na peça entre outros assuntos como fissão nuclear, a posição de Heisenberg quanto à possibilidade de fabricação da bomba nuclear, problemas familiares de Bohr e Margrethe, etc.

Ao explorarmos o segundo ato da peça, encontramos no diálogo⁴ entre os personagens, Heisenberg e Bohr, uma primeira referência aos princípios de Incerteza e Complementaridade, conforme descrevemos a seguir:

BOHR: De 1924 a 1927.

HEISENBERG: Do momento em que eu cheguei a Copenhague pra ser seu assistente...

BOHR: Até sua partida, para ocupar sua cadeira em Leipzig.

HEISENBERG: Três anos de primaveras tempestuosas e revigorantes .

BOHR : E no final nós tínhamos a mecânica quântica, nós tínhamos a teoria da Incerteza.

HEISENBERG: Nós tínhamos a Complementaridade.

BOHR: Nós tínhamos toda a Interpretação de Copenhague!

(FRAYN, 1997, p.60-61)

⁴ Os trechos foram retirados do texto original da peça, com a nossa tradução.

Mais adiante, encontramos no diálogo, agora com a participação da Margrethe, referências específicas ao Princípio e Incerteza, o qual impõe restrições à precisão com que se podem efetuar medidas simultâneas de uma classe de pares de observáveis.

HEISENBERG: Minha cabeça começou a clarear, e eu tive uma imagem clara de como a física do átomo deveria se parecer. De repente percebi que nós tínhamos que limitá-la às medidas que nós pudéssemos tirar, daquilo que pudéssemos de fato observar. Nós não podemos. Simplesmente não podemos ver os elétrons dentro do átomo...

MARGRETHE: Assim como Niels não pode ver os pensamentos na sua cabeça; ou você, os pensamentos dele.

HEISENBERG: Tudo que nós podemos ver são os efeitos que os elétrons produzem, através da luz que eles refletem...

BOHR: Mas os problemas que você estava tentando resolver eram aqueles mesmos que nós tínhamos explorado juntos, jantando no apartamento ou na praia.

HEISENBERG: Claro, claro. Mas eu me lembro da noite em que a matemática começou a bater com o princípio. (FRAYN, 1997, p. 62)

Tal incerteza diz respeito ao processo intrínseco de medida e expressa o fato de que sempre existe uma interação não determinável entre o observador e o que é observável. (GUIMARÃES, 1996; SANTOS, 2005).

O princípio de Incerteza de Heisenberg estabelece que ao se efetuar uma medida sobre qualquer objeto, y se pode determinar a componente x de seu momentum com uma indeterminação Δp , não se pode ao mesmo tempo, conhecer sua posição x com uma aproximação maior que $\Delta x = h/\Delta p$.(FEYNMAN, 1987)

É impossível medir *ao mesmo tempo* a posição e o momentum conjugado de uma partícula com precisão absoluta.

Em outro recorte do texto da peça, encontramos no diálogo entre Heisenberg e Bohr, o que a nosso ver já fora apresentado anteriormente por Jammer (1974), quando este autor enfatiza as idéias contrárias entre os dois físicos, acerca do Princípio de Incerteza.

BOHR: Eu disse apenas que a fórmula de ondas e a mecânica matricial são ferramentas alternativas.

HEISENBERG: Isso é uma coisa que você está sempre me acusando. "Se funciona, funciona". Não importa o que significa.

BOHR: É claro que eu me importo com o que significa.

HEISENBERG: O que significa em língua de gente.

BOHR: Claro, em língua de gente.

HEISENBERG: O significado de uma coisa é o que ela significa em Matemática.

BOHR: Você acha que contanto que a Matemática funcione, o sentido não tem importância.

HEISENBERG: A matemática é o sentido! Sentido é isso!

BOHR: Mas no final, no final, lembre-se bem, a gente sempre tem que ser capaz de explicar tudo para Margrethe! (FRAYN, 1997, p.64-65)

Percebemos que o personagem Bohr, também preocupa-se com a maneira como tal princípio seja comunicado às “pessoas comuns”, aquelas que não se encontram na academia e não discutem ciência, ao referir-se à Margrethe. A explicação para Margrethe tem implícita a questão do papel do formalismo matemático na descrição de fenômenos observáveis. Ainda que a expressão matemática forneça possíveis respostas, para que haja a compreensão do fenômeno, deve-se sempre ter em mente a questão dos observáveis. Assim, um fenômeno microscópico deveria ser possível de descrever da mesma forma que a mecânica clássica descreve os fenômenos macroscópicos, compreensíveis por Margrethe.

Ainda sobre o Princípio de Incerteza, abaixo apresentamos duas falas de Heisenberg, em que o mesmo estabelece uma relação do princípio com uma situação imaginária.

HEISENBERG: E foi aí que eu cheguei na Teoria da Incerteza. Andando pelo Parque, sozinho, numa noite de inverno horrível. É muito tarde, e assim que eu entro no parque, eu fico completamente sozinho no escuro. Eu começo a pensar no que você veria, se pudesse focar um telescópio em mim, lá das montanhas da Noruega. Você só me veria quando eu passasse embaixo das lâmpadas de rua, e não veria nada quando eu sumisse dentro da escuridão. De repente, outra pequena aparição minha, quando eu passasse debaixo da lâmpada no coreto. E é isso que a gente vê na câmara de nuvens. Não um rastro contínuo, mas uma série de aparições momentâneas produzidas por uma série de colisões entre um elétron passando e várias moléculas de vapor de água...Eu não sei como a gente não tinha pensado nisso antes! A não ser que a gente estivesse tão ocupado discutindo, que não havia tempo pra pensar... (FRAYN, 1997, p. 66-67)

HEISENBERG: ... Você nunca pode saber tudo sobre a trajetória de uma partícula, ou sobre qualquer outra coisa, nem mesmo sobre Bohr agora, zanzando pra cima e pra baixo pela sala, deste jeito enlouquecido dele, porque nós não podemos observar se não introduzir um novo elemento na situação, uma molécula de vapor de água pra partícula bater nela, um pedaço de luz, enfim, coisas que tenham energia própria, e que, justamente por isso, produzem um efeito naquilo em que batem. Um pequeno efeito, no caso de Bohr...

(FRAYN, 1997, p.67-68)

Em particular as idéias de limitações de medidas do Princípio de Incerteza de Heisenberg foi resultado das discussões de Pascual Jordan (BELLER, 1985). Nesse sentido a peça apresenta uma visão distorcida, pois dá a entender que o princípio de incerteza teria surgido de um “insight” de Heisenberg.

O trecho da peça fornece subsídios para entender alguns aspectos do princípio de incerteza, tais como:

- O comportamento das partículas é totalmente imprevisível:
- É impossível se determinar efetivamente, órbitas ou trajetórias para os elementos de um sistema microscópico, pois a simultaneidade das medidas de posição e momento apresentam uma incerteza intrínseca às medidas.

- O conhecimento mais preciso possível sobre um sistema físico não permite prever sua evolução no tempo, por causa das incertezas existentes.

Mais adiante neste segundo ato da peça, passam a surgir as primeiras idéias dos personagens sobre a complementaridade. Abaixo apresentamos, algumas falas que darão indícios sobre tal princípio.

HEISENBERG: Escuta. Copenhague é um átomo. Margrethe é seu núcleo.

BOHR: Sim, sim...

HEISENBERG: Agora, Bohr é um elétron. Ele está passeando pela cidade em algum lugar da escuridão, ninguém sabe aonde. Ele está aqui, ele está lá, ele está em todo lugar e em lugar algum. Lá em cima, no Parque, lá embaixo, no centro da cidade. Passando em frente à Prefeitura, pelo porto. Eu sou um fóton. Um quantum de luz. Eu sou mandado para a escuridão para achar Bohr. Eu o encontro, eu dou um jeito de colidir com ele... Mas o que foi que aconteceu? Olha, ele deu uma ralentada, ele se desviou. Ele não está mais andando enlouquecidamente como estava antes de eu ir até ele.

BOHR: Mas, Heisenberg, Heisenberg! Você também foi desviado! Se as pessoas podem ver por onde você caminhou até me encontrar, então elas podem descobrir por onde eu devo ter caminhado! O problema é saber o que aconteceu com você! Porque para entender como as pessoas te vêem, a gente tem que te tratar não como uma partícula, mas como uma onda. Eu tenho que usar não só a sua mecânica de partículas, eu tenho que usar a função de onda de Schrödinger.

HEISENBERG: Eu sei - eu coloquei isso num post-scriptum no meu artigo.

BOHR: Todos lembram do artigo - ninguém se lembra do post-scriptum. Mas a questão é fundamental. Partículas são coisas, completas em si mesmas. Ondas são perturbações em outra coisa. (FRAYN, 1997, p.68-69)

Bohr apresenta as bases de seu princípio para quase todos os físicos envolvidos na nova teoria quântica no mês de setembro do ano que Heisenberg publica sobre as relações de incerteza. Para Bohr, as “entidades quânticas”, não são nem ondas nem partículas, nem uma combinação das duas coisas. No entanto, elas podem se comportar como ondas ou partículas, dependendo da situação.

Em outros recortes de falas dos três personagens, o princípio de complementaridade também é encontrado dentro de um contexto, em que os personagens utilizam de situações diárias imaginárias, a fim de melhor exemplificar tal princípio.

HEISENBERG: Eu sei. Complementaridade. Está lá no post-scriptum.

BOHR: Elas são uma coisa ou a outra. Ou são partículas ou são ondas. Não podem ser as duas coisas ao mesmo tempo. Nós temos que escolher uma forma ou outra de olharmos para elas. Mas na medida em que escolhemos, já não podemos saber tudo sobre elas.

HEISENBERG: Sei, sei, Complementaridade... É claro que o lugar pra onde você vai quando passeia é determinado pelos seus genes e pelas várias forças físicas agindo em você. Mas também é determinado pelo impenetrável capricho de um momento para o outro. Assim, nós não podemos compreender completamente seu comportamento, sem olhar pra você das duas maneiras ao mesmo tempo. E lá vai ele entrando em órbita outra vez.

BOHR: Você nunca aceitou total e absolutamente a Complementaridade, aceitou?
(FRAYN, 1997, p. 69-70)

HEISENBERG: Em absoluto - funciona. É o que importa. Funciona, funciona, funciona!

MARGRETHE: Se Heisenberg estiver no centro do Universo, então a única parte do Universo que ele não pode ver é ele mesmo, Heisenberg.

HEISENBERG: E daí...

MARGRETHE: E daí que não adianta perguntar pra ele porque é que ele veio a Copenhague em 1941. Ele não sabe!

HEISENBERG: Eu achei, naquele preciso momento, que tinha conseguido ter uma rápida visão disso.

MARGRETHE: E aí você se virou pra ver.

HEISENBERG: E ele sumiu.

MARGRETHE: Complementaridade outra vez, certo?

BOHR: Certo, certo...

MARGRETHE: Eu datilografei isso talvez vezes... Se você está fazendo uma coisa você tem que se concentrar. Não pode ao mesmo tempo ficar pensando sobre o que faz. E se você estiver pensando sobre aquilo que está fazendo, então você não pode estar de fato fazendo aquilo. Certo? (FRAYN, 1997, p. 72)

BOHR: Meu caro Heisenberg, a sugestão é, obviamente...

HEISENBERG: Muito interessante. Tão interessante que ela nunca lhe ocorreu. Complementaridade, mais uma vez. Eu sou seu inimigo; mas eu sou também seu amigo. Eu sou um perigo para a humanidade; mas também sou seu convidado. Eu sou uma partícula; mas também uma onda. Nós temos uma série de obrigações para com o mundo em geral; e nós temos outras obrigações, que nunca podem ser conciliadas com as outras, com nossos conterrâneos, nossos vizinhos, nossos amigos, nossa família, nossos filhos. Tudo que podemos fazer é olhar depois e ver o que aconteceu. (FRAYN, 1997, p. 77-78)

As discussões acerca da complementaridade permitem fazer algumas conjecturas sobre o papel de Heisenberg e Bohr no contexto da guerra em 1941. Usualmente, devido à associação de Heisenberg com o nazismo, sua posição política na guerra foi por muito tempo encarada como “negativa”. (HEISENBERG, 1995). Porém, a peça mostra uma outra versão de Heisenberg, tentando inocentá-lo. Apesar de não haver consenso entre historiadores, ou mesmo um conhecimento mais detalhado do que foi realmente conversado sobre a bomba no encontro, a peça serve para discutir que a versão comum sobre os fatos⁵, pode apresentar uma “complementaridade”, ou seja, só é possível entender realmente como os fatos aconteceram se forem analisadas as duas posições. Apenas uma versão não fornece respostas finais, assim como apenas um comportamento da radiação (ou da matéria) não permite determinar plenamente sua natureza.

Um aspecto presente no texto de Copenhague do Michael Frayn é sua ausência de *causalidade*: a peça não se desenvolve seguindo uma seqüência linear de fatos, lugares, tempo. Do mesmo modo se apresentam as características principais dos princípios de incerteza e complementaridade quanto ao comportamento e descrição de movimento.

⁵ Logo após a apresentação da peça a família de Bohr publicou documentos em que Heisenberg não aparecia tão inocente.

Não é possível estabelecer, na peça, uma posição definitiva para Bohr, Heisenberg e mesmo Margrethe quanto aos fundamentos e conseqüências de seus pensamentos. O próprio fato da peça trabalhar com os personagens após sua morte permite associar efeitos a diferentes causas, sem possibilitar uma certeza quanto à sua ocorrência.

Essa afirmação pode ser exemplificada pela fala de Heisenberg que aparece no final do primeiro ato, e se repete no final do segundo ato.

HEISENBERG: Por que é que eu vim a Copenhague? Sim, por que foi que eu vim?

BOHR: Mais um esboço, sim? Um esboço final.

HEISENBERG: E mais uma vez eu atravesso o gramado até a porta da frente da casa dos Bohr. E toco a familiar campainha. Por que é que eu vim? Eu sei perfeitamente bem. Sei tão bem que nem preciso me perguntar. Até que mais uma vez a pesada porta da frente se abre.

BOHR: Ele fica ali, na soleira da porta, piscando por causa da repentina onda de luz que vem da casa. Até esse instante seus pensamentos estiveram em todo lugar e em lugar nenhum, como partículas não observadas. Agora os pensamentos podem ser observados e analisados. (FRAYN, 1997, p.86)

O autor não indica sequer eventuais mudanças de cena e de situação, elas acontecem no desenvolvimento da ação e cabe a nós escolher a sua melhor tradução cênica. Ainda é válido mencionar que os próprios personagens se movem livres, no tempo e no espaço, num exercício radical de imaginação e raciocínio.

CONCLUSÃO

Ao estudarmos o texto da peça Copenhague, percebemos que este é um material muito rico em termos de exploração de aspectos sociais e os dilemas éticos na ciência, em especial sobre os dois dos principais cientistas envolvidos na teoria quântica, Niels Bohr (1885-1962) e Werner Heisenberg (1901-1976), quanto às questões complexas provocadas pela Física Quântica e pela fissão nuclear.

A presença de aspectos fundamentais dos princípios de complementaridade e incerteza nas falas dos personagens de forma apropriada para uma exibição teatral auxilia na utilização do teatro como instrumento de divulgação científica. Ao mesmo tempo, como instrumento educacional não-formal, a peça auxilia na compreensão de conceitos físicos⁶.

Quanto aos aspectos sociais, a peça mostra que a Mecânica Quântica (particularmente a Interpretação de Copenhague) foi desenvolvida dentro de um contexto amplo, que envolvia questões éticas entre cientistas. Apesar de se restringir a apenas três personagens dentro de uma teoria que apresentou inúmeras contribuições até seu estabelecimento, a peça pode servir como instrumento para uma discussão mais ampla do papel da ciência e da sua utilização na sociedade.

Esperamos que após um estudo empírico com este material e conseqüentemente com a montagem e apresentação da peça com e para um grupo de estudantes do curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, tenhamos subsídios para responder as questões anteriormente apresentadas neste artigo.

⁶ Um trabalho com esse objetivo foi realizado por (BERGSTRÖM, JOHANSSON & NILSSON, 2001), porém valendo-se dos problemas experimentais envolvidos na peça.

Acreditamos que o elo entre a ciência e arte se faz necessário para uma melhoria no ensino de ciências e sobre ciências, como já mencionado anteriormente, e por concordarmos com alguns pesquisadores como (DÖRRIES, 2005; MASSARANI e ALMEIDA, 2006; MATOS, 2003; REIS, GUERRA e BRAGA, 2005; ZANETIC, 2006), ao testemunharem e experienciarem nos últimos anos um crescimento de iniciativas que procuram estabelecer uma ponte entre essas duas culturas.

Apesar de distintas, tanto a arte como a ciência são formas de levar o homem a pensar, a discutir sobre o seu espaço num todo, tendo em comum o objetivo de desenvolver a criatividade, o que não impede a união de ambas no intuito de aprimorar mais o conhecimento.

Referências

- ABDALLA, M.C.B. Niels Bohr: o arquiteto da mecânica quântica. *Gênios da Ciência Quânticos*, **Scientific American Brasil**, São Paulo, Ed. 13, p. 32-43, 2006.
- ABREU, A. R. P., Estratégias de desenvolvimento científico e tecnológico e a difusão da ciência no Brasil (In) CRESTANA, S.(Org.) **Educação para a ciência: curso para treinamento em centros e museus de ciência**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001, p. 23-28.
- BELLER, M. Pascual Jordan's Influence on the Discovery of Heisenberg's Indeterminacy Principle, **Journal Archive for History of Exact Sciences**, v. 33, n. 4. p. 337-349,dez.1985.
- BERGSTRÖM, L.; JOHANSSON, K. E.; NILSON, Ch. The physics of Copenhagen for students and the general public. **Physics Education**, Madri, v. 36, n. 5, p. 388-393, 2001.
- BOHR, Niels. Open letter to the United Nations. **Science**, v.112, n. 2897, p. 1-6, 1950.
- CALDAS, G., O poder da divulgação científica na formação da opinião pública. In: SOUZA, C. M. de (Org.) **Comunicação ciência e sociedade: diálogos de fronteira**.Taubaté: Cabral Editora e Livraria Universitária, 2004, p. 65-79.
- CANDOTTI, E. Temperar Ciência e arte. **Folha de São Paulo**, Caderno Sinapse..São Paulo, 29 ago. 2003.
- DÖRRIES, M (Ed.). **Michael Frayn's Copenhagen in Debate: Historical Essays and Documents on the 1941 Meeting between Niels Bohr and Werner Heisenberg**. Berkeley Papers in History of Science Vol. 20. Berkeley, CA: Office for History of Science and Technology, 2005.
- FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.B. & SANDS, M. T. **Lectures on Physics, Quantum Mechanics**, Volume III. Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana, 1987.
- FRAYN, M., **Copenhagen**, New York: Anchor Books Original, 2000.
- FREIRE, O. A relevância da Filosofia e da História das Ciências para a formação dos professores de ciências. In: SILVA FILHO, W. J. (Ed.) **Epistemologia e Ensino de Ciências**, Salvador: Arcadia, 2002. p. 13-30.
- FREIRE, P e SHOR, I. **Medo e Ousadia: o cotidiano do professor**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.
- GIL PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de la Ciencias**, Barcelona, v.11, n. 2, p. 197-212, 1993.
- GLAS, E. Fallibilism and Use of History in Mathematics Education. **Science Education**, Dordrecht, v. 7, p. 361-379, 1998.
- GUIMARÃES, F. E.G. Ótica de Campo Próximo e Super-Resolução à Luz do Critério

de Rayleigh e do Princípio da Incerteza de Heisenberg. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 65-76, 1996.

HAMBURGER, E. W. A popularização da ciência no Brasil. In: CRESTANA, S.(Org.) **Educação para a ciência**: curso para treinamento em centros e museus de ciência. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001. p. 31-40.

HEISENBERG, E. **A vida política de um apolítico**: minhas lembranças de Werner Heisenberg. Tradução de Ingeborg Fleckenstein. São Paulo: Ars Poética, 1995. 158p.

JAMMER, M. **The philosophy of quantum mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1974.

MACHAMER, P. Philosophy of Science: na Overview for Educators. **Science Education**, Dordrecht, v. 7, p. 1-11, 1998.

MARTINS, A.F.P. **O Ensino do Conceito de Tempo**: Contribuições Históricas e Epistemológicas. 1998. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)-IFUSP/FEUS), São Paulo, 1998.

MARTINS, R. A. O nascimento de uma nova Física. Gênios da Ciência Quânticos. **Scientific American Brasil**, São Paulo: Ed. 13, p. 6-13, 2006a.

MARTINS, R. A. Werner Heisenberg: o semeador da mecânica matricial. Gênios da Ciência Quânticos, **Scientific American Brasil**, São Paulo, Ed.13, p. 64-73, 2006b.

MASSARANI, L. A divulgação científica, o marketing científico e o papel do divulgador. In: SOUZA, C.M. de (Org.), **Comunicação ciência e sociedade**: diálogos de fronteira. Taubaté: Cabral Editora e Livraria Universitária, 2004. p. 81-94.

MASSARANI, L. e ALMEIDA, C. Arte e Ciência no palco. **Historia, Ciência e Saúde- Manguinhos**, v.13(suplemento), p. 233-246, out. 2006.

MATOS, C. (Org.) **Ciência e Arte**: imaginário e descoberta. São Paulo: Terceira Margem, 2003.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*: UFSC, Florianópolis, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

REIS, J.C., GUERRA, A., BRAGA M., Física e arte: a construção do mundo com tintas, palavras e equações, **Ciência e Cultura**, vol. 57, n. 3, São Paulo, 2005.

SANTOS, A. Princípios Orientadores para Reencantar a Educação. In: I EBEC, 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2005

SHEPHERD- BARR, K. **Science on Stage**: From Doctor Faustus to Copenhagen. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2006.

SILVA, C. C.(Org), **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora livraria da Física, 2006.

SILVEIRA, A. F. da e SANTOS, K. dos. Abordagens lúdicas no ensino de física enfocando a educação ambiental: relato de uma experiência no ensino fundamental. **Física na escola**, v. 8, n. 2, p. 36-39, 2007.

SILVEIRA, A. F. da et al. A Inserção da Música no Processo de Ensino-Aprendizagem de Física: Mais um Recurso Pedagógico.In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís. *Anais eletrônicos...* São Luis: Convento das Mercês, 2007. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0097-1.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2009.

SMITH, A. K. Scientists and the public interest 1945-1946. *Newsletter on Science, Technology, & Human Values*, v.24, p. 24-32, 1978.

ZANETIC, J. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*: Unicamp, Campinas, v. 17, n. 1, p. 39-58, 2006.