CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MOVIMENTO SURREALISTA E FÍSICA QUÂNTICA: UMA POSSÍVEL APROXIMAÇÃO PARA UM ENSINO DE FÍSICA COMO PROCESSO CULTURAL

Aline dos Santos Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador: Prof. Dr. José Claudio de Oliveira Reis

Rio de Janeiro
Maio/2019

MOVIMENTO SURREALISTA E FÍSICA QUÂNTICA: UMA POSSÍVEL APROXIMAÇÃO PARA UM ENSINO DE FÍSICA COMO PROCESSO CULTURAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Aline dos Santos Silva

Aprovada por:

_____

Professor Dr. José Claudio de Oliveira Reis (UERJ-CEFET/RJ) (orientador)

_____

Professora Dra.Giselle Faur de Castro Catarino (UERJ)

_____

Professora Dra. Abigail Vital de Goes Monteiro (UGB)

Rio de Janeiro
Maio/2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

S586 Silva, Aline dos Santos
Movimento surrealista e física quântica : uma possível aproximação para um ensino de física como processo cultural / Aline dos Santos Silva.—2019.
87f. : il. (algumas color.) ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2019.
Bibliografia : f. 81-87
Orientador : José Claudio de Oliveira Reis

1. Física - Estudo e ensino. 2. Física quântica. 3. Surrealismo. 4. Arte na educação. I. Reis, José Claudio de Oliveira (Orient.). II. Título.

CDD 530.07

Elaborada pela bibliotecária Mariana Oliveira CRB-7/5929

Em memória de José e Mirian, estrelas que iluminam meu caminho.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por sempre querer o melhor para mim e por me mostrar que somos capazes de superar os obstáculos da vida e ir atrás de nossos sonhos. À minha irmã, por sempre me apoiar e me incentivar nos momentos de desabafos. Ao meu namorado, pelas conversas sobre esse trabalho, por seu companheirismo e motivação. Ao meu padrasto por todas as ideias trocadas ao longo dessa jornada. Às minhas companheiras diárias Kika (*in memorian*), Hermione e Luna por toda distração oferecida nas horas mais estressantes.

Aos familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação como pessoa e como profissional.

Ao meu orientador, José Claudio Reis, por me apresentar essa vertente tão fascinante de Ciência e Arte, por todo o apoio e conhecimento trocados e por confiar em mim nesse processo de escrita.

Aos amigos de longa data e àqueles que fiz durante esses dois anos de curso, pelas ajudas oferecidas, pelos bate-papos, pelos relatos de experiências e pelo apoio oferecido.

Aos professores do Programa PPCTE que tive o imenso prazer em conhecer e que contribuíram significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Em especial à professora Andreia Guerra por me mostrar, mesmo sem perceber, um mundo novo de conhecimentos sobre História da Ciência e por toda sua energia contagiante.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite, pela disponibilidade em participar desta etapa tão importante e pelas considerações e contribuições que fizeram ao trabalho.

Aos professores que tive ao longo da minha jornada educacional e que carrego até hoje em meu pensamento como exemplos de profissionais apaixonados pelo trabalho que fazem.

A todos os envolvidos no funcionamento do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço pelo auxílio fornecido para a minha formação.

“Tudo o que vemos esconde outra coisa, sempre queremos ver o que está oculto pelo que vemos. Há um interesse naquilo que está oculto e que o visível não nos mostra. Esse interesse pode assumir a forma de um sentimento bastante intenso, uma espécie de conflito, poderíamos dizer, entre o visível que está oculto e o visível que está presente”. René Magritte

RESUMO

MOVIMENTO SURREALISTA E FÍSICA QUÂNTICA: UMA POSSÍVEL APROXIMAÇÃO PARA UM ENSINO DE FÍSICA COMO PROCESSO CULTURAL

Aline dos Santos Silva

Orientador:

Prof. Dr. José Claudio de Oliveira Reis

Resumo da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Os resultados obtidos em uma pesquisa bibliográfica realizada a fim de compreender como ocorre a aproximação entre Ciência e Artes no ensino de Física Moderna e Contemporânea nos mostraram que as modalidades artísticas, em sua maioria, são usadas apenas como ferramentas facilitadoras. A partir desses resultados e procurando uma relação mais aprofundada entre essas áreas, realizamos um estudo histórico sobre o desenvolvimento do Movimento Surrealista e sobre o desenvolvimento do Princípio da Complementaridade, tendo como elemento de referência o físico Niels Bohr, com o objetivo de apresentar o desenvolvimento do referido princípio e, consequentemente, da Física Quântica como um processo cultural. Para atingi-lo, buscamos explorar essa relação a partir do espírito de crise presente na Europa após a 1ª Guerra Mundial e elaboramos uma proposta educacional apresentando ao professor uma maneira de se trabalhar essa relação em sala de aula. O viés da História da Ciência nos auxiliou na compreensão desse desenvolvimento e nos permitiu explorar as concepções comumente associadas ao fazer científico e ao cientista, como, por exemplo, a neutralidade da Ciência. Acreditamos que a aproximação apresentada fornece uma alternativa para o entendimento da Física como parte constituinte do desenvolvimento de uma sociedade.

Palavras-chave: Física Quântica; Surrealismo; Ensino de Física

ABSTRACT

SURREALIST MOVEMENT AND QUANTUM PHYSICS: A POSSIBLE APPROACH TO PHYSICS EDUCATION AS A CULTURAL PROCESS

Aline dos Santos Silva

Orientador:

Prof. Dr. José Claudio de Oliveira Reis

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação of Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial fulfillment of the requirements for the Science, Tecnology and Education Master Degree.

The results obtained in a bibliographical research carried out in order to understand how the approximation between Science and Arts in the teaching of Modern and Contemporary Physics show us that the artistic modalities, for the most part, are only used as facilitating tools. From these results and seeking a deeper relationship between these areas, we conducted a historical study on the development of the Surrealist Movement and on the development of the Principle of Complementarity, with Niels Bohr as a reference point, with the objective of presenting the development of said principle and, consequently, of Quantum Physics as a cultural process. In order to achieve this goal, we sought to explore this relationship through the spirit of crisis present in Europe after World War I and we elaborated an educational proposal presenting to the teacher a way of working this relationship in the classroom. The bias of the History of Science helped us to understand this development and allowed us to explore the conceptions commonly associated with scientific doing and the scientist, such as the neutrality of Science. We believe that the presented approach provides an alternative for the understanding of Physics as a constituent part of the development of a society.

Keywords: Quantum Physics; Surrealism; Physics Teaching

SUMÁRIO

Introdução **12**

1 Algumas considerações iniciais **14**

1.1 - A História da Ciência no ensino 14

1.2 - A Física como cultura 20

1.3 - A escolha da aproximação com a Arte 23

2 A Arte no ensino de Física Moderna e Contemporânea **27**

2.1 - Ciência, Arte e ensino: uma breve exposição histórica 28

2.2 - Pesquisa bibliográfica 32

2.3 - Análise dos artigos publicados 36

2.3.1 - Proposta didática 36

2.3.2 - Abordagem teórica 37

2.3.3 - Experiência educacional 39

2.4 - Discussão 41

3 Do Impressionismo ao Surrealismo **42**

3.1 - Ciência e Arte no século XIX 42

3.2 - Os movimentos artísticos no século XX 48

4 Niels Bohr e o Princípio da Complementaridade **59**

5 Aplicações no ensino **68**

5.1 - Contexto sociocultural europeu pós 1ª Guerra Mundial 70

5.2 - Proposta Educacional 72

Considerações Finais **78**

Referências **81**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - São Mateus, 800 d.C. (à esquerda); São Mateus, 830 d.C.(à direita) 26
Figura 2 - Desenho da Lua feito por Galileu Galilei em 1609 29
Figura 3 - Desenho da Lua feito por Thomas Harriot em 1609 30
Figura 4 - Les Glaneuses - Jean-François Millet (1857) 46
Figura 5 - Impression, soleil levant - Claude Monet (1872) 47
Figura 6 - Skrik - Edvard Munch (1893) 49
Figura 7 - The Bedroom At Arles - Vincent Van Gogh (1888) 49
Figura 8 - Street, Dresden - Kirchner (1908) 50
Figura 9 - La Danse - Matisse (1910) 51
Figura 10 - Les Demoiselles d´Avignon - Picasso (1907) 52
Figura 11 - Die drei Weisen aus dem Sorgenland – Heartfield (1935) 54
Figura 12 - Desmaterialization Near the Nose of Nero - Dalí (1947) 57
Figura 13 - Ceci n´est pas une pipe – Magritte (1929) 58
Figura 14 - The Empire of Light - Magritte (1949-1954) 59
Figura 15 - La Clairvoyance – Magritte (1936) 77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Listagem das publicações dos periódicos 34
Quadro 2 - Listagem das publicações em eventos 35
Quadro 3 - Artigos por categorias 36

Introdução

A Física que me foi apresentada, desde o ensino regular até a graduação, foi aquela na qual suas teorias, seus conceitos e sua evolução se deram de forma linear e finalizada, sempre priorizando as equações e suas demonstrações, não apresentando o modo como seu conteúdo foi se desenvolvendo ao longo do tempo. E é a partir da busca de uma visão mais contextualizada dessa ciência que surge o meu interesse em estudar e procurar caminhos que apresentem esse desenvolvimento em sua forma mais complexa e interessante.

Esse interesse foi despertado no processo final da minha graduação e intensificado ao ingressar no curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET/RJ, o qual se apresenta como o caminho certo para a evolução profissional que procuro. Fui, então, apresentada à temática Ciência e Arte e de modo instantâneo decidi me aventurar na pesquisa dessa improvável (para minha percepção à época) relação, que não se mostrou como improvável depois de conhecê-la melhor.

A conexão entre duas áreas de conhecimento distintas foi tema de uma palestra ministrada por Charles Percy Snow em Cambridge no ano de 1959. O autor, na verdade, nos mostra a falta de conexão existente entre o que ele nomeia de “cultura científica” e “cultura ´tradicional´”, a partir de sua experiência de convívio com cientistas e literatos, que, em suas palavras, eram dois grupos “comparáveis em inteligência, idênticos em raça, não muito distantes em origem social [...], mas que haviam cessado quase totalmente de se comunicar entre si [...]” (SNOW, 1995, p. 18).

A ausência de comunicação entre a Ciência e a Literatura, de acordo com Snow, é ainda mais presente nos jovens físicos e literatos, o que pode gerar um abismo cada vez maior entre essas duas culturas. Apesar de ainda encontrarmos essa separação nos dias atuais, seja entre os próprios estudantes das áreas de humanas e de exatas, seja nas aulas ministradas no ensino regular e superior, pesquisadores voltados para questões educacionais e historiadores buscam realizar uma ligação entre essas culturas com o intuito de diminuir o abismo exposto por Snow.

Buscando compreender o encontro entre Ciência e Arte, tive contato com textos que auxiliaram no meu entendimento sobre as dificuldades encontradas no ensino de Física e as possíveis mudanças que o uso da História da Ciência pode proporcionar para esse ensino (GIL PÉREZ et al., 2001; GUERRA; REIS; BRAGA, 2010; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Uma dessas mudanças, proporcionada pela História da Ciência, é o entendimento da Física como elemento constituinte da cultura de uma sociedade e de um período. Conseguir enxergar e entender as relações existentes entre o desenvolvimento científico, econômico, social e político de uma época é um grande avanço intelectual. Para este propósito, não poderíamos deixar de considerar a tese defendida por João Zanetic, em 1989, com o título “Física também é cultura”, onde o autor nos fornece um panorama do ensino de Física, passando por suas deficiências, bases filosóficas e epistemológicas até chegar a novas propostas para mudanças nesse ensino, apresentando, ao final, uma aproximação entre a Física e a Literatura.

Entre as dificuldades encontradas no ensino de Física expostas pelo autor, destacamos a ausência da história da Física e da experimentação, a mera apresentação de conceitos, fórmulas, leis e grandezas; sem considerar as mudanças epistemológicas que ocorreram durante o processo de desenvolvimento (ZANETIC, 1989), em especial no ensino de Física Moderna e Contemporânea. Considerando essas barreiras e seguindo a proposta de Zanetic do entendimento da Física como processo cultural, nossa aproximação se dá entre a Física e as Artes Plásticas.

O viés escolhido para este trabalho foi o da História da Ciência, o qual nos fornece subsídios satisfatórios para responder a seguinte pergunta de pesquisa: como o entendimento do desenvolvimento do Movimento Surrealista e do Princípio da Complementaridade pode contribuir para a construção de um ensino da Física como um processo cultural?

Com o intuito de responder a essa pergunta, nos aprofundaremos no estudo do desenvolvimento do Movimento Surrealista e do Princípio da Complementaridade, com o recorte histórico do final do séc. XIX até meados do séc. XX, na Europa, visto que esse período corresponde ao surgimento e desenvolvimento de ambos. Esperamos, assim, atingir nosso objetivo de apresentar o desenvolvimento do Princípio da Complementaridade e, consequentemente, da Física Quântica como um processo cultural.

No primeiro capítulo são apresentadas algumas considerações acerca da escolha e utilização do viés histórico da Ciência, o qual nos permite compreender o processo científico de modo integrado com seu contexto social e cultural. Ainda neste capítulo, justificamos a escolha pela aproximação com a cultura e as Artes tendo em vista seu caráter promissor na apresentação da Física como processo cultural.

No segundo capítulo exploramos o resultado de uma pesquisa bibliográfica realizada com o objetivo de conhecer os trabalhos já publicados sobre a relação entre

Ciência e Artes, com foco no ensino de Física Moderna e Contemporânea, o que nos auxiliou na visualização de um panorama sobre como essas duas áreas são trabalhadas de maneira conjunta.

No terceiro capítulo, primeiramente, realizamos uma breve apresentação do desenvolvimento científico e artístico do séc. XIX e, em seguida, apresentamos os movimentos artísticos do séc. XX até o Surrealismo. Foram considerados aspectos sociais e culturais que permeavam o meio artístico a fim de entendermos como se deu esse desenvolvimento.

No quarto capítulo, apresentamos o caminho percorrido por Niels Bohr até a enunciação de seu Princípio da Complementaridade, destacando os acontecimentos considerados relevantes para o desenvolvimento da Física Quântica e para a construção de sua visão científica.

No quinto capítulo exploramos o contexto sociocultural da Europa pós 1ª Guerra Mundial, buscando uma inter-relação entre o Movimento Surrealista e o Princípio da Complementaridade. Em seguida, apresentamos uma possibilidade de aplicação escolar dos conteúdos presentes neste capítulo e nos capítulos 3 e 4 a fim de obtermos a resposta de nosso questionamento.

Ao final, apresentamos as considerações finais, retomando pontos importantes que foram apresentados durante todo o trabalho.

1- Algumas considerações iniciais

1.1 – A História da Ciência no Ensino

Utilizar-se da história da ciência apenas como introdução a um assunto a ser abordado em sala de aula, como por exemplo, na apresentação histórica do cientista relacionado ao conceito a ser estudado, pode não ser o modo mais efetivo de tornar o conhecimento adquirido pelos alunos mais aprofundado. Apresentar a ciência como imune aos acontecimentos de uma sociedade também não é o melhor caminho caso queiramos que nossos alunos a compreendam como um processo cultural, passível de modificar e ser modificado pelo contexto social ao qual está inserido.

O mesmo ocorre com a figura do cientista, representado como o ser isolado,

alheio aos fatos ao seu redor, gênio e, por vezes, louco. Esse estereótipo coloca o cientista em um patamar que, aos olhos de alguns alunos, pode parecer impossível de ser alcançado, pois retira dessa figura o caráter social que, assim como a ciência, modifica e é modificado pela sociedade que o cerca. Um questionamento que nos surge é sobre de onde vem essa imagem da ciência e dos cientistas difundida no ensino de ciências.

Gil Pérez et al. (2001) enumeram em seu artigo algumas visões deformadas de professores acerca do trabalho científico, onde as concepções epistemológicas incorretas e inadequadas são consideradas “como um dos principais obstáculos aos movimentos de renovação da Educação em Ciência/Didática das Ciências” (GIL PÉREZ et al., 2001, p. 126). As visões deformadas identificadas pelos autores, tanto através de revisão bibliográfica como através de atividades com professores em formação inicial e formação continuada, são apresentadas abaixo.

1. **Concepção empírico-indutivista e ateórica.** Essa concepção destaca a neutralidade da experimentação e da observação. De acordo com os autores, a ideia de atribuir a essência da atividade científica à experimentação é coincidente com a ideia de ‘descoberta’ científica presente nos meios de comunicação, em quadrinhos e no cinema.

2. **Visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...).** Presença do ‘método científico’, caracterizado pela sequência de etapas a serem seguidas mecanicamente. Há um controle rígido e um tratamento quantitativo, recusando ou esquecendo o caráter criativo e de tentativas do trabalho científico. Nesse tópico, os autores fazem referência às avaliações que não consideram a essência incerta e intuitiva do trabalho científico.

3. **Visão aproblemática e ahistórica.** Considerada pelos autores como dogmática e fechada, onde ocorre a transmissão de conhecimentos prontos, sem mostrar os problemas de origem, as dificuldades enfrentadas e seu processo de evolução.

4. **Visão exclusivamente analítica.** Essa visão mostra a divisão dos estudos, esquecendo dos esforços de unificação e construção de conhecimentos mais amplos, assim como a conexão entre diferentes áreas de conhecimento, evidenciados pela história da ciência.

5. **Visão acumulativa de crescimento linear dos conhecimentos científicos.** Nessa visão, as crises, as controvérsias científicas, os processos de mudança e as teorias rivais são ignorados, fazendo com que esse desenvolvimento da ciência seja apresentado de maneira cumulativa.

6. **Visão individualista e elitista.** Destaca a presença de gênios isolados, responsáveis pela refutação ou confirmação de hipóteses ou teorias completas. Aqui o trabalho coletivo e cooperativo entre um grupo de pessoas é ignorado. Essa visão também mostra o trabalho científico como voltado apenas para as minorias dotadas de um conhecimento superior, longe da realidade da maioria dos alunos.

7. **Visão socialmente neutra da ciência.** Transmite a ideia de uma ciência descontextualizada, onde os acontecimentos sociais não interferem no desenvolvimento científico, ou seja, os cientistas encontram-se isolados da sociedade.

A identificação das visões deformadas apresentadas acima, retornando ao questionamento anterior, nos instiga a pensar como possível resposta que o próprio processo de formação – tanto a nível básico quanto a nível superior – reforça a imagem da ciência acolhida por muitos de nós. Nos deparamos, então, com uma cultura didática majoritária no ensino de Física, marcada pela transmissão de conteúdos prontos e com o objetivo de transmitir a verdade sobre a natureza, não permitindo um diálogo sobre diferentes visões entre o professor e o aluno (HÖTTECKE & SILVA, 2011).

Apesar de sabermos que, como destacam Höttecke & Silva (2011, p. 307), "*Single efforts for changing a subject culture as a whole will hardly effect any substantial change*"[1],consideramos importante a tentativa e difusão de um ensino de Física que procure fornecer um conhecimento além daquele presente na cultura didática. O professor que não desenvolve a mudança das visões expostas anteriormente, continuará a transmiti-las a seus alunos, reforçando a imagem neutra da ciência

Trabalhar a nossa formação com o objetivo de modificar as visões destacadas por Gil Pérez et al. (2001) torna-se uma alternativa na busca de um ensino mais significativo para nossos alunos, possibilitando a transformação da imagem neutra da ciência para uma imagem contextualizada da mesma. Nesse sentido, a história da ciência se apresenta como uma alternativa que possibilita a transformação das visões expostas acima.

É importante que o aluno tenha a possibilidade de compreender que os cientistas que se destacam ao longo da história, como qualquer outra pessoa, possuem relacionamentos sociais, crenças, objetivos específicos e idiossincrasias que, mesmo implicitamente, fazem parte de suas tomadas de decisão. Esse caráter social auxilia na substituição da visão de que homens e mulheres da ciência são seres isolados, pela visão de seres que praticam um trabalho colaborativo, conectados aos fatores sociais

[1] "Esforços únicos para mudar a cultura de um assunto como um todo dificilmente afetarão qualquer mudança substancial".

do momento histórico em que vivem (PRAIA; GIL PÉREZ; VILCHES, 2007).

Torna-se importante, também, que o aluno entenda o processo de desenvolvimento científico como diretamente relacionado ao contexto em que se encontra, onde fatores sociais, políticos e tecnológicos estão interligados a esse avanço científico. É buscando esse entendimento mais amplo que o ensinar *sobre* ciência tem ganhado força na área de ensino, através da compreensão da Natureza da Ciência, que, de acordo com Moura (2014, p. 32), "[...] é considerada um dos preceitos fundamentais para a formação de alunos e professores mais críticos e integrados com o mundo e a realidade em que vivem".

A Natureza da Ciência permite diferentes abordagens, com enfoques históricos, sociológicos e filosóficos, dependendo das questões que se deseja responder (MARTINS, 1999). Segundo Martins (1999), se nosso interesse é saber sobre o que tem sido a ciência, devemos buscar as respostas nas descrições do que tem sido chamado de ciência ao longo da história. Desse modo, um fato científico passa a ser analisado de acordo com acontecimentos sociais, políticos e culturais de sua época (MARTINS, 2005).

Porém, como mostra Moura (2014), há visões distintas na literatura sobre a Natureza da Ciência. O autor expõe que existem diversas concepções sobre a Natureza da Ciência, porém enfatiza e explicita apenas duas delas. Uma diz respeito à uma lista de princípios – ou conjunto de aspectos consensuais relacionados às características da construção do conhecimento científico – a serem trabalhados nas aulas de ciências, encontrada, por exemplo, no artigo de Gil Pérez et al. (2001).

A outra é chamada de semelhança familiar (*family resemblance*, no original), defendida por Irzik e Nola (2011), onde diferentes áreas de ensino podem possuir semelhanças que as caracterizam como "[...] pertencentes a uma mesma família de bases e fundamentos teóricos, procedimentais e metodológicos" (MOURA, 2014, p. 35).

A primeira visão acabou por ser criticada justamente pelo fato de se constituir como uma lista de princípios, o que se apresentou para os defensores da semelhança familiar como uma descrição limitada da Natureza da Ciência, posto que esta abrange diferentes áreas de ensino, áreas estas que poderiam não ser descritas adequadamente através dessa visão consensual. Nas palavras de Irzk e Nola (2011, p. 591), *"Science is so rich and so dynamic and scientific disciplines are so varied that there seems to be no set of features that is common to all of them and shared only by them"*[2].

[2]"Ciência é tão rica e tão dinâmica e as disciplinas científicas são tão variadas que parece não haver um conjunto de características que seja comum a todas elas e compartilhadas apenas por elas".

Forato, Pietrocola e Martins (2011), ao comentarem sobre a necessidade de se trabalhar a Natureza da Ciência a fim de criticar as ideias de verdade absoluta e método empírico universal, destacam que tanto pesquisadores quanto documentos governamentais defendem que “a crítica ao empirismo ingênuo, a necessidade de apresentar a ciência como uma construção humana, a impossibilidade de observação neutra dos fenômenos naturais [...]” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 33) são ideias adequadas para a educação científica básica.

De acordo com Guerra, Reis e Braga (2010), o ensino dogmático-instrumental da ciência é herança do projeto de educação científica, elaborado na França do século XIX. Essa formação politécnica francesa considerava a ciência como produto acabado, visando apenas a sua aplicação na resolução de problemas concretos (GUERRA; REIS; BRAGA, 2010).

Como consequência desse ensino, os alunos passam a enxergar a ciência como uma verdade inquestionável (GUERRA; REIS; BRAGA, 2010), que não permite erros e não dialoga com a sociedade que a cerca. É buscando se afastar dessa visão da ciência que o viés histórico foi escolhido para compor este trabalho. Nas palavras de Guerra, Reis e Braga (2010, p. 571)

> É preciso construir um ensino em que os alunos percebam que o conhecimento científico não possui verdades inquestionáveis e que a ciência foi e é construída por homens inseridos num contexto sócio-cultural específico que, ao longo de sua trajetória profissional, dialogam com o mundo em que vivem e que muitas vezes os problemas que se defrontam, assim como as soluções desses mesmos problemas, surgem a partir do diálogo com outras áreas do conhecimento.

O diálogo que buscamos aqui é o que ocorre entre Física e Arte, mais especificamente entre a Física Quântica e o Movimento Surrealista. E para que consigamos realizar essa aproximação, apresentar o processo de elaboração de um conceito científico de maneira contextualizada aos processos culturais, sociais e políticos de sua época parece ser o caminho mais adequado para um ensino mais aprofundado.

Martins (2005, p. 314) define que a história da ciência “é feita por seres humanos e se constitui em uma reconstrução de fatos e contribuições científicas que ocorreram, muitas vezes, em épocas distantes da nossa”. A autora enfatiza o cuidado que o historiador da ciência deve ter ao realizar reconstruções históricas, levando em consideração que, para isso, é preciso tempo e treino, envolvendo vários estudos sobre metodologias de pesquisa, em epistemologias, sobre os conceitos que se deseja

abordar e conhecimento histórico do período escolhido (MARTINS , 2005).

Assim, estendendo para o lado educacional, temos que estar cientes de que ensinar um conceito de forma contextualizada não é uma prática fácil. Implica em um estudo aprofundado do conceito em si, das pessoas relacionadas a ele, das suas motivações e dos acontecimentos ocorridos à época em que foi elaborado. Como apontam Quintal e Guerra (2009, p. 25), essa prática "exige do professor conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia".

As narrativas históricas são partes constituintes desse tipo de prática e, sobre isso, Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 35, grifo nosso) destacam que

> Qualquer narrativa da HC traz, implícita ou explicitamente, os valores, as crenças e as orientações metodológicas do seu autor. O relato histórico da criação de um conceito científico, ou de um debate entre teorias rivais, ou da realização de experimentos, por exemplo, carregam concepções sobre a natureza da ciência e sobre os processos da sua construção. **Não é possível separar essas concepções pessoais (em maior ou menor grau) do trabalho de qualquer profissional ligado à ciência, inclusive do historiador da ciência.**

Tendo isso em vista, certo cuidado é requerido ao criar ou utilizar narrativas históricas, para que a ideia de uma ciência como produtora de verdades não seja reforçada na mente dos alunos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011), visto que existem narrativas que enaltecem a visão do cientista que descobre uma verdade a partir de um evento totalmente desconexo, como por exemplo, a história sobre Newton, a maçã e a gravitação universal, consistindo em uma narrativa puramente descritiva, sem considerar seus estudos e os termos científicos existentes na época (MARTINS L., 2005). Cabe ao professor, nesse momento, problematizar essas narrativas, questionando a veracidade dos fatos apresentados.

Em relação aos desafios da inserção de conteúdos historiográficos no ensino de ciências, Forato, Pietrocola e Martins (2011) explicitam em seu artigo sete obstáculos, sendo eles: **a seleção do conteúdo histórico**, onde a escolha do conteúdo deve satisfazer os objetivos epistemológicos e pedagógicos, ser adequado ao ambiente escolar e ser viável para que o professor trate o tema de forma adequada; o **tempo didático** que diz respeito ao tempo disponível em sala de aula para o tratamento adequado do conteúdo histórico; a **simplificação e omissão**, que constitui saber o que pode ser omitido do conteúdo histórico sem que essa omissão afete a qualidade da narrativa; o **relativismo** relacionado ao risco de sugerir uma concepção relativista

durante a construção da narrativa; a **inadequação dos trabalhos históricos especializados**, visto que estes possuem pré-requisitos conceituais e aprofundamento histórico avançados para sua utilização direta no ensino; os **supostos benefícios das reconstruções históricas lineares** presentes nos livros didáticos, que mostram uma reconstrução linearmente ordenada da história da ciência a fim de ensinar conceitos científicos, não ocorrendo a discussão epistemológica; a **falta de formação específica do professor**, considerado pelos autores como um dos maiores desafios, onde todos os outros obstáculos seriam minimizados caso a formação do professor o preparasse para lidar com eles de maneira consciente.

Consideraremos alguns desses obstáculos na formulação do nosso trabalho, como a seleção do conteúdo histórico, a simplificação e omissão e os supostos benefícios das reconstruções históricas lineares. Buscaremos enfrentá-los a fim de obter um material que sirva como base de estudos para professores e interessados na temática.

O que retiramos, resumidamente, do que foi exposto acima é que, ao discutir a Natureza da Ciência em sala de aula, torna-se possível proporcionar ao aluno um ensino mais complexo e real, combatendo a ideia de uma ciência neutra feita por figuras pontuais e incluindo aspectos relevantes para uma aprendizagem mais completa e aprofundada, onde o aluno torna-se participante da construção de seu conhecimento científico (PRAIA; GIL PÉREZ; VILCHES, 2007).

1.2 – A Física como cultura

Ao nos depararmos com questões como “o que é cultura?” ou “o que você entende como cultura?” é bem provável que pensemos como sendo algo que representa uma sociedade, um local ou os costumes de um povo e logo somos levados a pensar em representações artísticas como música, dança, pintura, contos, entre outros. O que é menos comum, mas não impossível, é pensarmos, além do que foi exposto, também na parte científica como constituinte dessa cultura.

O termo cultura pode ser entendido como um “conjunto de conhecimentos, costumes, crenças, padrões de comportamento, adquiridos e transmitidos socialmente, que caracterizam um grupo social” (CULTURA, 2018), o que nos mostra que o pensamento inicial demonstrado acima não difere da definição de cultura.

Sodré (1976, p. 3/4, grifo nosso), conforme citado por Zanetic (1989, p.147), apresenta um conceito de cultura mais completo que o anterior ao dizer que cultura é um:

> [...] conjunto dos valores materiais e espirituais criados pela humanidade, no curso de sua história. A cultura é um fenômeno social que representa o nível alcançado pela sociedade em determinada etapa histórica: progresso, técnica, experiência de produção e de trabalho, instrução, educação, ciência, literatura, arte e instituições que lhes correspondem. Em um sentido mais restrito, compreende-se, sob o termo de cultura, o conjunto de formas da vida espiritual da sociedade, que nascem e se desenvolvem à base do modo de produção dos bens materiais historicamente determinado. **Assim, entende-se por cultura o nível de desenvolvimento alcançado pela sociedade na instrução, na ciência, na literatura, na arte, na filosofia, na moral e etc., e as instituições correspondentes.** Entre os índices mais importantes no nível cultural, em determinada etapa histórica, é preciso notar o grau de utilização dos aperfeiçoamentos técnicos e dos desenvolvimentos científicos na produção social, o nível cultural e técnico dos produtores dos bens materiais, assim como o grau de difusão da instrução, da literatura e das artes entre a população.

Essa definição mostra, de modo bem mais explícito, a presença da Ciência na constituição da cultura da humanidade, juntamente com outros elementos que já consideramos como intrínsecos.

Ainda sobre o conceito de cultura, apresentamos a definição dada por Snow (1995) que, de forma mais específica, aborda a cultura em dois grupos: científico e 'tradicional'. Para ele, a cultura científica se dá em sentido intelectual e antropológico, "isto é, seus membros não precisam sempre compreender-se completamente, e com certeza frequentemente não o fazem [...]; mas existem atitudes comuns, padrões e formas de comportamento comuns, abordagens e postulados comuns" (SNOW, 1995, p. 27), e, mesmo que estes cientistas possuam padrões religiosos, políticos e de classe social diferentes, tanto em seus trabalhos quanto em suas vidas emocionais, suas atitudes e reações ocorrem de maneira similar e é essa característica que Snow considera como uma cultura.

Já a cultura dita 'tradicional' refere-se à cultura das humanidades, onde Snow concentra-se nos literatos, devido a amizade que possui com os mesmos. O autor relata sua experiência como participante tanto do grupo de físicos quanto do grupo dos literatos e a distância percebida por ele entre esses dois grupos. Em sua pesquisa, Snow percebeu que os cientistas entrevistados apresentavam pouco conhecimento em relação à literatura e que, em seu grupo de literatos, aos quais se consideravam mais

cultos comparados aos outros, não conheciam conceitos relacionados à ciência.

O autor apresenta, como exemplo, a sua presença em reuniões no grupo dos literatos, da cultura tradicional, onde questionou sobre o conhecimento da 2ª Lei da Termodinâmica, recebendo uma resposta negativa. Diz que esse questionamento seria o equivalente a perguntar ao grupo de físicos se eles já leram alguma obra de Shakespeare. Essa polarização, de acordo com Snow, é uma perda para o conhecimento das duas áreas, assim como para a sociedade, sendo, ao mesmo tempo "[...] perda prática, perda intelectual e perda criativa" (SNOW, 1995, p. 29).

Concordamos com Snow sobre as perdas que ocorrem com essa dicotomia e que a diminuição da distância entre essas duas áreas traria um crescimento intelectual significativo para todos nós. Olhar para a Ciência como cultura é considerá-la como parte integrante no desenvolvimento da sociedade.

Porém, como expõe Zanetic (1989), o ensino deficiente presente nas escolas fornece uma visão distorcida da Física enquanto Ciência, ocorrendo uma mera apresentação fragmentada e incompleta de seus conteúdos, sendo essa situação estendida a outras disciplinas. O autor salienta que o aspecto técnico de aprendizagem científica das escolas é insuficiente para a obtenção de um entendimento razoável do "[...] complexo sistema representado por qualquer ramo do conhecimento, especialmente a física" (ZANETIC, 1989. p. 20) e acredita que

> [...] devamos oferecer, aos alunos do segundo grau, um conteúdo de física que consiga transmitir um pouco que seja da "cultura científica" viva, que está presente no contínuo aperfeiçoamento deste ramo das ciências exatas. Um ensino de física que dará a base para os que prosseguirão seus estudos nas universidades bem como para aqueles que desejarem fazê-lo autonomamente como uma atividade intelectual enriquecedora, como parte de uma educação permanente. (ZANETIC, 1989, p. 20)

E, para isso, o ensino de física deve atender a algumas condições, que de acordo com o autor são:

1. A oferta de um domínio de conceitos e suas ferramentas matemáticas e experimentais, a fim de serem utilizados na solução de problemas teóricos e de situações do cotidiano;
2. Clareza em relação às metodologias utilizadas pelos físicos, com a intenção de desmistificar a crença em um método científico.
3. Apresentação do desenvolvimento da física como parte integrante da história social, estando condicionada a fatores e interesses relacionados à

época de desenvolvimento de determinadas teorias.

4. Aproximação da física escolar com os recentes avanços construídos pelos físicos contemporâneos, não ficando o conteúdo restrito à física do século XIX.

E para que essas condições sejam realizadas de forma satisfatória, devemos voltar nossas atenções para a formação do professor. Zanetic (1989) sinaliza que os cursos de licenciatura precisariam passar por reestruturações, levando em consideração as mais recentes pesquisas em ensino de física, com a intenção de ir em direção contrária à atualmente dominante nas escolas. Com isso,

> As licenciaturas em física, ao lado das disciplinas formadoras específicas nos vários ramos da física, têm que se preocupar com a formação cultural em física do futuro professor. E isso inclui a abordagem da história da física [...], da discussão em torno das metodologias que passam pela análise filosófica/epistemológica e da possibilidade de oferecer a física como cultura (ZANETIC, 1989, p. 204)

Se os professores universitários de cursos de licenciatura e de formação continuada de professores não modificarem suas práticas de ensino, incluindo a História da Ciência, neste caso, em específico, a História da Física, dificilmente chegaremos ao ensino de Física proposto por Zanetic (1989). Pesquisas em ensino de Física são realizadas constantemente a fim de tornar a prática do ensino mais eficaz e, como destacado pelo autor, não devem ficar apenas nas prateleiras das bibliotecas de instituições. Essas pesquisas devem atingir a formação de professores e os cursos de licenciaturas para, enfim, chegarem na educação básica.

1.3 – A escolha da aproximação com a Arte

A Arte pode ser compreendida de diversas formas por diferentes seres humanos, não sendo possível apresentar uma definição global de seu significado. Partindo do questionamento sobre o que é a Arte e qual a sua essência, Costa (2009) apresenta um panorama sobre as teorias acerca da natureza da Arte. O autor começa, então, relacionando o conceito de Arte com semelhanças de família.

A ideia de semelhanças de família, proposta pelo filósofo Ludwig Wittgenstein (1889-1951) em seu livro intitulado “Investigações Filosóficas”, parte de seu estudo

sobre como a linguagem representa o mundo e como a mesma não possui uma essência. Wittgenstein mostra que as diferentes manifestações de linguagem, apesar de serem nomeadas com a mesma palavra, não possuem algo que é comum a todas, mas apenas parentescos mútuos que possibilitam que todas sejam chamadas de linguagens (WITTGENSTEIN, 1999, p. 52). Assim, alguns membros de uma família podem possuir características semelhantes como cor dos cabelos, cor dos olhos, tons de voz e estrutura corporal, porém não encontraremos uma característica que esteja presente em todos os membros dessa família. Costa (2009) estende essa ideia de semelhanças de família ao estudo da Arte, mostrando que, apesar de não possuírem uma essência ou uma característica em comum, diversos tipos de manifestações artísticas são englobados no conceito de Arte.

Entre as teorias apresentadas por Costa (2009), encontramos o representativismo, considerado pelo autor como a explicação filosófica mais antiga sobre a natureza da Arte, onde a função desta é representar alguma coisa. Nesta teoria, a Arte é considerada como a imitação da realidade, onde "[...] a pintura imita a natureza, o drama imita a ação humana" (COSTA, 2009, p. 195). A representação da realidade de maneira puramente convencional e simbólica constitui uma nova versão do representativismo, onde as obras "[...] se parecem pouco ou nada com o que pretendem retratar" (COSTA, 2009, p. 195). Essa teoria possui ainda uma terceira versão, nomeada de neo-representativismo, onde a obra de arte deve significar alguma coisa, deve possuir um conteúdo semântico. Porém, de acordo com o autor, essa última versão, apesar de ser aplicável a qualquer tipo de arte, apresenta como limitação exatamente a sua amplitude, pois, "mesmo que toda obra de arte possua conteúdo semântico, há muita coisa que possui conteúdo semântico, mas que nada tem a ver com arte" (COSTA, 2009, p. 195).

O expressivismo, mais uma teoria da natureza da Arte apresentada pelo autor, tem como característica a expressão das emoções. Assim, do mesmo modo que a Ciência é um meio de representação do mundo exterior, a Arte é um meio de expressão do mundo das emoções que "[...] amplia o horizonte humano, pois faz-nos ver o que não havíamos visto antes" (COSTA, 2009, p. 197). Essa teoria é mais explorada pelo autor através dos subconceitos de Arte definidos pelo filósofo e historiador Robin George Collingwood (1889 – 1943). O primeiro deles é a *arte assim chamada*, que se subdivide em *mágica*, com função utilitarista e, *entretenimento*, com função hedonista. O segundo deles é a *arte própria*, que tem como função a regeneração e ampliação da consciência e do autoconhecimento. Segundo o autor,

> Nossas emoções, segundo ele [Collingwood], muito facilmente deixam de ser associadas a certas idéias, posto que tais associações nos desagradam e nos assustam. O resultado disso é uma forma de alienação, a corrupção da consciência, que pode se estender a toda a sociedade e precipitar a sua decadência. A arte verdadeira produz emoções que nos levam a recuperar as associações naturais entre as emoções e as idéias, servindo de remédio contra a corrupção da consciência. (COSTA, 2009, p. 197)

O panorama apresentado por Costa (2009) nos esclarece essa falta de conceito único da Arte, causada pela ausência de uma essência comum a todas as suas modalidades. Como a definição de Arte varia entre pessoas, nossa interpretação da mesma é que ela se apresenta como uma representação realizada pelo homem com a intenção de expressar, na forma de imagem, texto ou música, o mundo que o cerca. Cada artista tem sua visão particular (individual) do mundo e de seus elementos constituintes, e expressam essa visão em suas obras, utilizando-se de seus sentimentos, suas intuições e sensações. Isso faz com que cada obra tenha um valor único, muitas vezes representando o estado de espírito do artista no momento de sua realização.

A Arte, então, é constituída considerando essa personalidade do artista. Este não deixa de lado suas particularidades, seu entendimento próprio do mundo e os fatos que ocorrem ao seu redor na confecção de suas obras, pelo contrário, seus sentimentos estão presentes nesse momento. Isso faz com que diferentes artistas expressem a mesma história de modos completamente distintos. Um exemplo disso é exposto por Gombrich (2013), ao mostrar duas obras representando São Mateus escrevendo o evangelho, uma produzida na corte de Carlos Magno em 800 d.C. e a outra pertencente a um manuscrito de 830 d.C, apresentadas na Figura 1 abaixo. O autor sinaliza que as duas obras provavelmente foram produzidas a partir do mesmo modelo presente em livros gregos e romanos sobre o evangelista, mas cada uma possui sua particularidade. Nas palavras do autor,

> [...] assim como dois músicos igualmente virtuosos podem interpretar de forma muito diversa a mesma peça, dois grandes mestres medievais podiam produzir obras de arte inteiramente distintas não só sobre o mesmo tema, mas a partir do mesmo modelo tradicional. (GOMBRICH, 2013, p. 123)

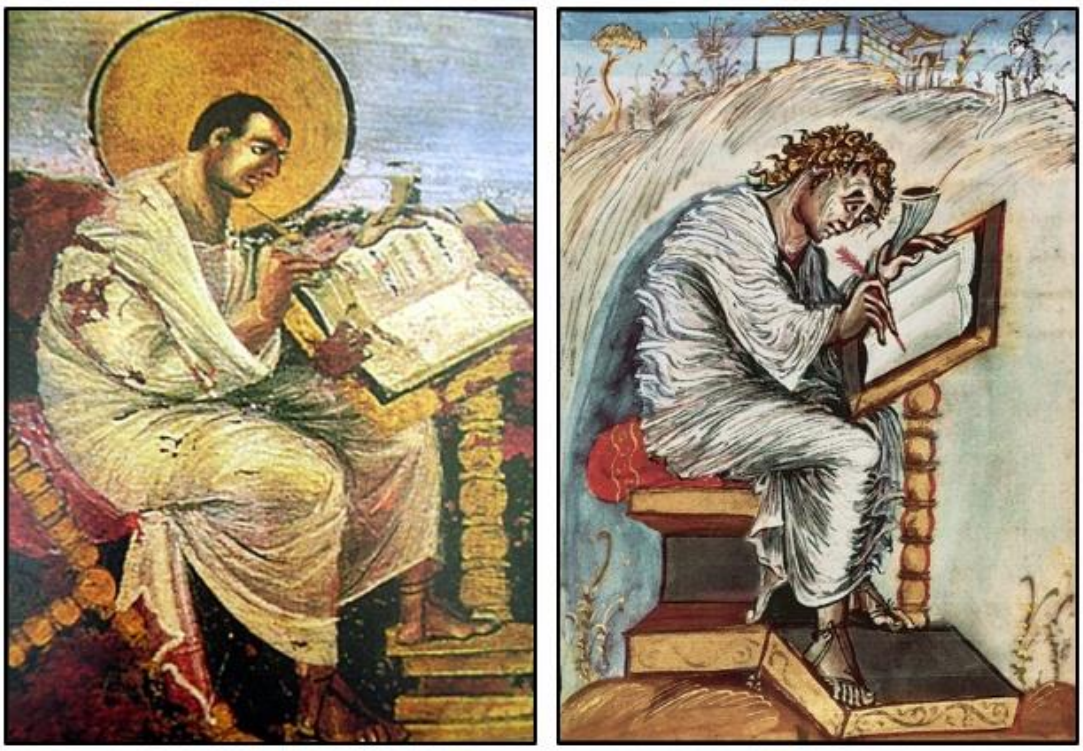


Figura 1 - São Mateus, 800 d.C. (à esquerda); São Mateus, 830 d.C.(à direita)
FONTE: GOMBRICH, E. H., 2013.

Do mesmo modo que a personalidade do artista apresenta-se em suas produções, as técnicas artísticas aprendidas por ele se tornam parte constituinte de seus produtos finais. De acordo com Ostrower (1998), não basta explicar uma obra artística somente em termos pessoais de sentimentos e temperamentos, visto que uma obra é uma representação de um estilo, e nesse estilo:

> [...] todas as feições da personalidade estão presentes e se fundem, mas elas são transformadas em termos de linguagem [...]. É preciso entender que a arte não é uma mera técnica de reprodução das aparências de figuras humanas, paisagens ou objetos [...]. A arte é uma linguagem própria, cujos termos específicos – cores, linhas, formas – são expressivos em si, e cujos contrastes e ênfases formais também se tornam expressivos. (OSTROWER, 1998, p. 3)

Cada época da história possui características artísticas que foram reproduzidas por diversos anos e levadas a diversos lugares, sofrendo modificações ao longo de suas trajetórias. Essas modificações acabam por dar origem a novos estilos artísticos que, assim como os anteriores, modificam e são modificados pela sociedade em que estão inseridos.

Por estar imersa no contexto de cada época, encontramos, ao longo da história,

diversos pontos de encontro entre a Arte e outras áreas de conhecimento, como a Ciência (ALCANTARA; BRAGA; COSTA, 2017; BARBOSA-LIMA; QUEIROZ; SANTIAGO, 2007; REIS; GUERRA; BRAGA, 2006; ROSSI, 2001). A Arte pode, assim, ser inserida no ensino de ciências.

Em nosso trabalho, essa relação é abordada de modo mais específico, considerando a Arte no ensino de Física Moderna e Contemporânea. Partindo dos desafios sinalizados anteriormente, delimitaremos nossa pesquisa ao período que engloba o final do século XIX e meados do século XX, na Europa, considerando-o como um período de mudanças tanto na Arte como na Física. Tomaremos o cuidado de não simplificar a contextualização para que ela não se torne mais uma narrativa linear da Física Moderna. Como conceitos principais, temos o Princípio da Complementaridade de Bohr e o Movimento Surrealista.

Acreditamos que trabalhar a relação da Física Moderna com a Arte através de um viés histórico nos proporciona uma oportunidade de mostrar os conceitos científicos presentes nessa disciplina de modo contextualizado, longe de representá-los como conhecimentos neutros e isolados, criados por gênios solitários. É uma oportunidade, também, de trabalharmos a Física de modo multidisciplinar com outras áreas de conhecimento.

2- A Arte no ensino de Física Moderna e Contemporânea

A disciplina de Física ser considerada como uma das mais difíceis em relação à compreensão por parte dos alunos não é novidade em pesquisas educacionais (RICARDO; FREIRE, 2007; MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009). Essa dificuldade já se mostra presente em assuntos relacionados à Física Clássica e é ampliada quando a Física Moderna e Contemporânea entra em cena, visto que esta última exige um grau de abstração mais elevado, principalmente por possuir certos objetos de estudo que não são visíveis. O problema da abstração e, consequentemente, do entendimento dos conceitos presentes na Física Moderna não se restringe apenas aos alunos, se estendendo aos próprios professores (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009).

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de entender os obstáculos

encontrados na inserção da Física Moderna no ensino médio (MACHADO; NARDI, 2003; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009). Em geral, além do grau de abstração exigido, podemos destacar como principais obstáculos o formalismo matemático, a programação escolar voltada para o vestibular e a deficiência na formação do próprio professor.

Ao mesmo tempo em que devemos nos voltar para estudos sobre as barreiras que impedem que esse conteúdo chegue de maneira satisfatória aos alunos, devemos olhar para as possíveis soluções que novas práticas de ensino proporcionam. Práticas que apresentem conhecimentos de diversas áreas de forma contextualizada, relacionando elementos particulares dessas áreas com conceitos estudados na Física Moderna.

A relação entre Ciência e Arte, duas áreas de ensino consideradas opostas e sem ligação, tem sido explorada e também aplicada dentro da área de ensino (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006; ZANETIC, 2006; CACHAPUZ, 2014). Para Zanetic (2006), o ensino de Física não pode dispensar a história da Física e sua ligação com outras áreas culturais, como, por exemplo, o cinema, o teatro e a literatura. A Arte então pode ser inserida de modo mais aprofundado, garantindo uma conexão histórica e social entre os conceitos e técnicas estudados.

Essa conexão histórica e social é realizada por Reis, Guerra e Braga em seu artigo de 2006, ao mostrarem a relação entre Ciência e Arte com o objetivo de apresentar a Ciência através de uma abordagem cultural, tornando a compreensão de seus conteúdos mais completa e aprofundada. Os autores acreditam que esse tipo de abordagem, além de auxiliar na compreensão, “[...] poderá ajudar a entender que a ciência é um produto sociocultural e, como tal, deve ser apreendida” (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006, p. 84).

Para compreendermos mais sobre a conexão entre Física e Arte, realizamos uma pesquisa bibliográfica em periódicos da área de ensino e em anais de eventos sobre ensino de Física a fim de conhecer o material já produzido sobre o tema em questão, realizando, posteriormente, uma análise por categorias que nos auxiliou a compreender a relação existente entre essas duas áreas no ensino.

2.1– Ciência, Arte e ensino: uma breve exposição histórica

Ciência e Arte são áreas vistas como opostas e sem conexão: a Ciência sendo relacionada à razão e a Arte à emoção; porém, são áreas de conhecimento que, de certa forma, se complementam desde a antiguidade. Na cosmologia da Idade Média havia a divisão do universo em dois mundos incomunicáveis: o sublunar e o supralunar. Na pintura da época, essa divisão também se fazia presente, sendo o céu e a terra representados de forma descontínua (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006).

No Renascimento, novas técnicas artísticas foram criadas, como a perspectiva e os efeitos de luz e sombra. O conhecimento dessas técnicas adquiridas por Galileu Galilei (1564-1642) em Florença auxiliou em seus desenhos de observações da Lua (Figura 2), mostrando que a mesma possuía imperfeições antes consideradas impossíveis, diferenciando seu trabalho dos desenhos feitos pelo astrônomo Thomas Harriot (1560-1621), na mesma época (Figura 3), realizados sem o conhecimento de tais técnicas (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006).

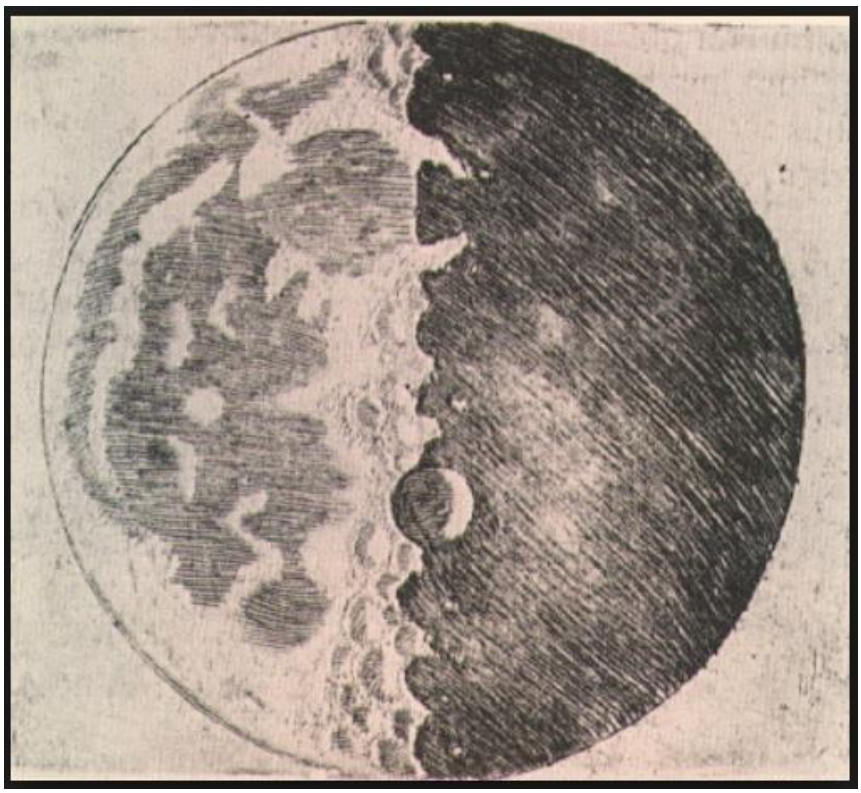


Figura 2 - Desenho da Lua feito por Galileu Galilei em 1609
FONTE: http://dererummundi.blogspot.com/2007/04/galileu-e-lua.html. Acesso em 10/09/2018

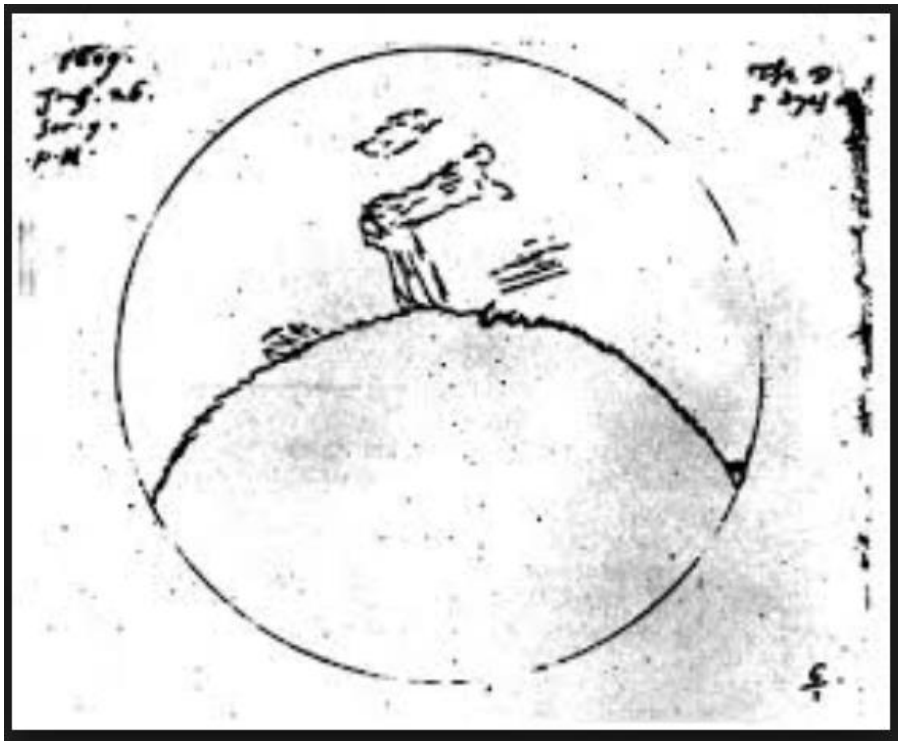


Figura 3 - Desenho da Lua feito por Thomas Harriot em 1609
FONTE: https://www.researchgate.net/figure/Figura-01-Primeiro-desenho-da-Lua-feito-por-Thomas-Harriot-Fonte-Edgerton-2006-pag_fig1_272237878. Acesso em 10/09/2018.

Artistas e cientistas trabalhavam em conjunto, sendo os primeiros responsáveis pelas ilustrações das observações realizadas pelos segundos, a fim de complementar os textos científicos, principalmente nas áreas de Biologia e Medicina (ROSSI, 2001). Como Reis, Guerra e Braga (2006, p. 72) escrevem: “Artistas e cientistas (ou filósofos naturais) percebem o mundo da mesma forma, apenas representam-no com linguagens diferentes”.

Técnicas do campo da óptica começaram a ser usadas nas pinturas, que pareciam mais reais e naturais. Artistas utilizavam câmeras lúcidas e câmeras escuras para a projeção das imagens a serem pintadas, deixando como característica a projeção invertida da imagem, como, por exemplo, pessoas segurando objetos com a mão esquerda, o que não era comum na época. Os espelhos convexos aparecem em algumas pinturas dos séculos XV e XVII, dando indícios de que os artistas tinham conhecimento desses objetos e os utilizavam como auxiliares no processo de composição de suas obras (ALCANTARA; BRAGA; COSTA, 2017; BARBOSA-LIMA; QUEIROZ; SANTIAGO, 2007).

Na mudança do século XIX para o século XX, a Física e a Arte entram em um novo e complexo modo de ver o mundo. O surgimento da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade mostrou que o conhecimento do mundo físico não estava finalizado,

como acreditavam alguns cientistas do século XIX, e abriram caminhos para novas interpretações sobre o espaço, o tempo, a simultaneidade, a localidade e a causalidade.

No século XX surge o Surrealismo, movimento artístico iniciado na França em 1924 por André Breton. Nesse estilo artístico a característica predominante é a ausência de lógica. Os artistas fogem do senso comum até então presente nas obras de outros estilos e passam a exprimir o irreal, o sonho, o impossível. Objetos conhecidos pelos observadores são postos em situações não convencionais, causando grande impacto e certo desconforto ao fugir da nossa compreensão de realidade. Como mostram Reis, Guerra e Braga (2006, p. 78),

> Em certa medida, o aparecimento de uma arte impenetrável tem uma ligação com o surgimento de uma ciência que também desnorteou o público das suas noções básicas da realidade. [...] O Surrealismo, por exemplo, surgiu procurando sonhar e agir, superando a dicotomia que essas ações representam. Há uma negação da consciência, um abandono do controle da razão sobre o ato criativo.

O contexto histórico no qual essas duas áreas estão inseridas nos permite fazer uma ligação entre elas, ligação essa já defendida por C. P. Snow há quase 60 anos em seu debate sobre as duas culturas, a científica e a humanística. Em suas palavras sobre a polarização dessas culturas “[...] é pura perda para todos nós. Para nós como pessoas, e para a nossa sociedade. É ao mesmo tempo perda prática, perda intelectual e perda criativa, e repito que é errôneo imaginar que esses três aspectos são claramente separáveis” (SNOW, 1995, p. 29).

A fuga dessa polarização abre portas para trabalharmos essa relação de modo a aprimorar o conhecimento, proporcionando ao aluno uma forma mais complexa de ver a realidade.

No ensino, essa relação vem sendo explorada com o intuito de tornar o aprendizado mais contextualizado, proporcionando aulas diferenciadas das tradicionais, comuns no ensino de Física. Galili (2013) destaca que, com o avanço do curso de Física, ocorre a abstração de imagens utilizadas no material didático; assim, quanto mais avançados os cursos, menos imagens pictóricas se fazem presentes, sendo estas substituídas por esquemas de experimentos, gráficos e fórmulas. A partir desse ponto, o autor mostra a importância de imagens pictóricas para a construção mental do assunto que o aluno está aprendendo, partindo do princípio de que com a visualização de uma imagem que represente o que está sendo apresentado, o aluno absorve melhor o conteúdo.

Cachapuz (2014) considera a interdisciplinaridade entre Arte e Ciência como

parte do problema na sua transposição para a prática, assim como as políticas enviesadas que confundem educação com instrução, a falta de materiais didáticos e a formação inadequada de professores. Assim, o autor apresenta em seu artigo exemplos de transposições realizadas por ele e por outros autores com uso de artes pictóricas e poemas no ensino de ciências.

A literatura e a música são modalidades utilizadas por Zanetic (2006) para ilustrar a ponte entre a Física e a Arte, tendo como objetivo central atingir os alunos que não se sentem motivados a estudar Física. A leitura e a interpretação das letras das músicas abrem caminhos para o estudo de conceitos científicos presentes em sua composição. O autor ressalta que para trabalhar com obras literárias de ficção científica o professor deve ter o devido cuidado com os obstáculos epistemológicos que elas possuem, problematizando-os com os alunos e tornando a experiência educacional mais enriquecida.

2.2 – Pesquisa bibliográfica

Conhecer os trabalhos já realizados sobre a temática explorada nesta dissertação torna-se fundamental para um bom desenvolvimento da mesma. Para tal feito, o procedimento escolhido foi a pesquisa bibliográfica, visto que essa metodologia permite que o pesquisador possua uma cobertura mais ampla sobre o assunto do que aquela que ele poderia obter ao pesquisar de forma direta (GIL, 2002).

Para compor a pesquisa, foi realizada a busca por publicações que abordam a temática das Artes no Ensino de Física Moderna e Contemporânea em 12 periódicos brasileiros da área de ensino de Física e ensino de Ciências, selecionados a partir do Qualis da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), disponível na Plataforma da Capes, sendo considerados os periódicos de Qualis A1 até o Qualis B2[3]. Para este trabalho não foi estipulado um período de busca nos periódicos, sendo pesquisados todos os volumes disponíveis para download.

Também foi realizada a consulta aos anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) – no período de 2011 a 2017 – e do Simpósio

[3]Pesquisa realizada em março de 2018 através do endereço eletrônico: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf

Nacional de Ensino de Física (SNEF) – no período de 2005 a 2015.

Os periódicos consultados foram: Revista Brasileira de Ensino de Física; Ciência & Educação; Caderno Brasileiro de Ensino de Física (incluindo as publicações em nome do Caderno Catarinense de Ensino de Física, nome inicial do periódico até 2002); Investigações em Ensino de Ciências; Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Educação, Ciências e Matemática; Ciência em Tela; Ensino & Pesquisa; Ciência e Ensino; Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia; Experiências em Ensino de Ciências.

A pesquisa das publicações foi realizada através da ferramenta de busca presente na plataforma de cada periódico, com a utilização das palavras-chave “Física”; “Física Moderna”; “Física e Arte”; “Ciência e Arte”; “Arte”; “Física Quântica”; “Teoria Quântica”; “Relatividade”; “Quântica”; “Radioatividade” e “Raios X” como filtros de pesquisa. Apenas dois periódicos não possuíam a ferramenta de busca, sendo necessário pesquisar manualmente os volumes disponibilizados.

Já a pesquisa nos anais dos eventos selecionados foi feita a partir dos eixos temáticos. No ENPEC foram pesquisadas as áreas “Processos e materiais educativos na educação em Ciências”; “Questões teóricas e metodológicas da pesquisa em educação em Ciências”; Linguagens, discurso e educação em Ciências”; “História, Filosofia e Sociologia da Ciência na educação em Ciências” e “Ensino e aprendizagem de conceitos científicos”. No SNEF foi pesquisada a área de “Ciência, cultura e Arte”, que até o ano de 2009 recebia o nome de “Arte, cultura e Educação Científica”.

Em ambos os casos, a triagem dos artigos que comporiam a amostra final foi feita a partir da leitura dos títulos, sendo selecionados aqueles que contemplavam a temática de interesse. Após essa triagem inicial, foram lidos os resumos para uma segunda seleção a fim de eliminar aqueles que não abordavam a temática diretamente. Ao finalizar as pesquisas descritas acima, foi obtida uma amostra com 9 artigos de periódicos e 11 trabalhos de eventos, totalizando 20 publicações, listadas e numeradas nos quadros a seguir.

Quadro 1 - Listagem das publicações dos periódicos

Artigo	Título (Autores)	Periódico	Ano
1	É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? (PINTO, A. C.; ZANETIC, J.)	Caderno Catarinense de Ensino de Física	1999
2	Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí (ANDRADE, R. R. D. de; NASCIMENTO, R. de S.; GERMANO, M. G.)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2007
3	Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem (GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C.)	Revista Brasileira de Ensino de Física	2007
4	Física Moderna no Ensino Médio: o Espaço-Tempo de Einstein em tirinhas (CARUSO, F.; FREITAS, N. de)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2009
5	Física e pintura: dimensões de uma relação e suas potencialidades no ensino de Física (GOMES, T. C.; DI GIORGI, C. A. G.; RABONI, P. C. de A.)	Revista Brasileira de Ensino de Física	2011
6	Einstein e a Relatividade entram em cena: diálogos sobre o teatro na escola e um ensino de Física criativo (OLIVEIRA, L.M.; GOMES, M. L. A.)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2016
7	O livro paradidático no ensino de Física – uma análise fabular, científica e metafórica da obra *Alice no País do Quantum: a Física Quântica ao alcance de todos* (SOUZA, A. R. de; NEVES, L. A. dos S.)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2016
8	O insólito e a física moderna: interfaces didáticas do conto fantástico (RAMOS, J. E. F.; PIASSI, L. P.)	Ciência e Educação	2017
9	Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio (FERNANDES, R. de F. A. M.; PIRES, F. F.; FORATO, T. C. de M.; SILVA, J. A. da)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2017

Fonte: Própria (2018)

Quadro 2 - Listagem das publicações em eventos

Artigo	Título (Autores)	Evento	Ano
10	Ciência e Arte, Razão e Imaginação: um projeto de ensino de Física Moderna para alunos do ensino médio (CARVALHO, S. H. M. de; ZANETIC, J.)	XVI SNEF	2005
11	Influência da Teoria da Relatividade na obra de Salvador Dalí (ANDRADE, R. R. D. de; NASCIMENTO, R. de S.; GERMANO, M. G.)	XVI SNEF	2005
12	O Teatro e a Física: a cena que não entra em sala (NORY, R. M.; ZANETIC, J.)	XVI SNEF	2005
13	Ciência e Arte: Razão e Sensibilidade (NUNES, A. L.; TEIXEIRA, G. A.)	XVII SNEF	2007
14	Física e Literatura: intersecções possíveis em sala de aula (MENEZES, A. M. S.; MORAES, A. G. de)	XVIII SNEF	2009
15	Ciência, cinema e macacos (SANTOS, G. L. dos; TEIXEIRA, R. R. P.)	XX SNEF	2013
16	Poesia e Física: multiplicando a beleza das coisas (BARJA, P. R.)	XX SNEF	2013
17	Perspectivas socioculturais no uso da canção no ensino de Física: utilizando o rock para debater questões inerentes às missões espaciais e aos paradoxos temporais (GOMES, E. F.; PIASSI, L. P.; FERNANDES, J.)	XX SNEF	2013
18	Ciência, mídia e educação: possíveis confluências no ensino de Física (GOMES, E. F.; PIASSI, L. P. de C.)	XXI SNEF	2015
19	Estabelecendo o diálogo entre as duas culturas: imaginação e criatividade aliadas ao ensino de Física (OLIVEIRA, L. M. de)	XXI SNEF	2015
20	A rede social Pinterest e a curadoria na educação científica: o exemplo do surrealismo de Dalí (EICHLER, T. Z. N.; EICHLER, M. L.)	XI ENPEC	2017

Fonte: Própria (2018)

2.3 – Análise dos artigos publicados

Para facilitar a análise dos artigos, foram criadas três categorias em relação ao tipo de abordagem realizada. A primeira categoria, Proposta Didática, engloba os trabalhos que apresentam sugestões de possíveis aplicações em sala de aula. A segunda categoria, Abordagem Teórica, destina-se aos trabalhos que exploram historicamente e teoricamente a temática. A terceira categoria, Experiência Educacional, atende aos trabalhos de caráter expositivo de aplicações realizadas em sala de aula.

A partir da leitura integral dos artigos da amostra, os mesmos foram separados entre as três categorias de abordagem, como mostra o quadro 3 a seguir.

Quadro 3- Artigos por categorias

Categoria	Artigos
Proposta Didática	4 – 7 – 9
Abordagem Teórica	2 – 5 – 8 – 11 – 12 – 13 – 16 – 18 – 20
Experiência Educacional	1 – 3 – 6 – 10 – 14 – 15 – 17 – 19

Fonte: Própria (2018)

A análise de cada uma das três categorias criadas nos permite compreender como essa temática Arte e Física Moderna está sendo explorada e/ou aplicada pelos profissionais de ensino. Os subtópicos a seguir exploram essas categorias a partir da leitura de cada artigo que as compõem apresentando, em seguida as ideias principais dos artigos em questão.

2.3.1 – Proposta Didática

A leitura dos artigos pertencentes a esta categoria nos permitiu verificar certas possibilidades de utilização das Artes no ensino de conteúdos de Física Moderna. Em relação aos tipos de Artes utilizados, encontramos apenas três, a saber: quadrinhos, obras literárias e pinturas. Já os conceitos de Física Moderna abordados apresentaram uma diversidade maior, como a Teoria da Relatividade, modelos atômicos, quanta, radiação do corpo negro, dualidade onda-partícula, Princípio da Indeterminação de

Heisenberg, probabilidade, fótons, elétrons, matéria, anti-matéria e spin.

Sobre como a abordagem dessa relação é realizada nessa categoria, percebemos que, nos três artigos, o uso das Artes apresenta-se apenas como ferramenta auxiliar no ensino, servindo como ponto de partida para o assunto a ser explorado. A seguir, apresentamos as ideias centrais de cada artigo dessa categoria a partir das modalidades de Artes utilizadas.

Os quadrinhos são o foco do artigo 4, onde os mesmos são confeccionados por alunos após o estudo aprofundado de um tema específico, que neste caso foi a teoria da relatividade. Os autores sugerem que o professor projete as tirinhas e deixe os alunos tirarem suas conclusões antes de começar a mediar as discussões em sala. Sugerem, também, que o professor estimule os alunos a confeccionarem suas próprias tirinhas após a apresentação do conteúdo.

A literatura aparece no artigo 7, onde os autores utilizam um livro literário como material de suporte ao livro didático no ensino de Física Quântica no ensino médio. A justificativa é que o conteúdo é apresentado de forma lúdica, trazendo uma aceitação mais fácil por parte do aluno-leitor.

O uso das artes pictóricas é encontrado no artigo 9. Nele, 4 obras de Salvador Dalí são analisadas, apresentando suas potencialidades para a abordagem de conceitos de Física Moderna. Estudos de referenciais teóricos e metodológicos e discussões posteriores foram realizados para fundamentar a proposta. Os autores apresentam sugestões de metodologia, questões de Natureza da Ciência e propostas de avaliação para cada um dos quatro quadros de Dalí selecionados para o trabalho. Indicam, ainda, uma lista de referências e sugestões de leituras para os professores interessados na proposta.

2.3.2 – Abordagem Teórica

Após explorar os artigos selecionados para esta categoria, percebemos a importância defendida pelos autores sobre as possibilidades de uso das prováveis relações entre as Artes e a Ciência no ensino de Física Moderna. Apesar de não apresentarem propostas didáticas, esses artigos se constituem como leituras para professores interessados em aprofundar e aplicar essa relação em sua prática profissional, até mesmo em seu aprendizado pessoal, visto que dão um panorama interessante sobre a junção dessas duas áreas de conhecimento.

Nesta categoria, encontramos o uso de obras de arte pictóricas, teatro, obras

literárias, poesia e mídias televisivas. Essas modalidades artísticas são usadas para abordar temas como atomismo, incertezas da mecânica quântica, estados quânticos, multiversos, velocidade da luz, partículas elementares entre outros presentes na Física Moderna. Abaixo procuramos explicitar as potencialidades que esses artigos trazem para essa relação.

As obras de arte pictóricas são bastante exploradas nessa categoria. Os artigos 2, 5, 11, 13 e 20 fazem uso desse tipo de arte, analisando certas obras do Surrealismo, principalmente do artista Salvador Dalí – os artigos 2, 11 e 20 estudam esse artista em particular – a fim de expor elementos presentes nos quadros que possibilitam a interpretação de objetos de estudo, como os átomos, e de conceitos, como a indeterminação, estudados na Física Moderna. A preferência por Dalí pode ser entendida por sua proximidade e interesse com a área científica, assim como pela presença de termos científicos nos nomes de algumas de suas obras. Obras de outros artistas surrealistas também são comentadas, como por exemplo, a de René Magritte, A traição das imagens, que mostra o poder das representações, assunto relevante para a Física Quântica que trabalha com elementos invisíveis aos nossos olhos. Além de temas referentes à Física Moderna, os artigos 5 e 13 exploram mais profundamente a relação entre essas áreas a partir da pré-história, explicitando características relevantes para a evolução tanto científica quanto artística.

O teatro também se apresenta como tipo de arte possível para aproximar essas duas áreas. Nesta categoria, apenas o artigo 12 explora essa modalidade, analisando os roteiros de peças teatrais escritas após a Segunda Guerra Mundial, com foco nas consequências da era atômica na sociedade.

Outras modalidades encontradas foram a literatura e a poesia, presentes nos artigos 8, 13 e 16. O artigo 8 mostra a potencialidade de utilizar contos fantásticos para suscitar a abordagem de temas de Física, visto que são curtos e caracterizados pela hesitação entre o estranho e o maravilhoso. Os contos analisados neste artigo abrem portas para discussões sobre velocidade da luz, multiversos, estados quânticos e suas superposições. O artigo 13 realiza apenas um comentário sobre essa aproximação e considera a primeira como uma ferramenta auxiliar para os que buscam sabedoria. Já o artigo 16 utiliza poemas como forma de apresentação de conteúdos de Física como mecânica, termodinâmica, ondas, eletromagnetismo e quântica, sendo os poemas desse último sobre indeterminação, causalidade, spins e o experimento mental de Schrödinger.

A mídia televisiva é a modalidade central do artigo 18. Neste artigo é analisado

como a Ciência é representada pela mídia, englobando desenho, séries, filme e videoclipe. Aspectos como o estereótipo dos cientistas, abordagens dos conceitos científicos e de seus objetos de estudo são identificados pelos autores. Assuntos como o acelerador de partículas LHC, as partículas elementares e viagens espaciais presentes no filme e no videoclipe analisados se mostram como possíveis pontes para abordagem da Física.

2.3.3 – Experiência Educacional

Esta categoria nos fornece um panorama das propostas pedagógicas referentes a temáticas já realizadas em sala de aula, encontrando tanto atividades concluídas como aplicações em andamento até a submissão dos artigos em questão. A leitura dessas publicações nos mostrou que essas aplicações ocorreram, em sua maioria, em turmas do ensino médio, sendo apenas dois deles aplicados em cursos de graduação. Todos os trabalhos analisados apresentam resultados satisfatórios em relação ao uso das Artes na compreensão de conceitos da Física Moderna. Sobre os tipos de Artes utilizadas encontramos teatro, cinema, música, pinturas, textos e obras literárias. Entre os conceitos de Física abordados podemos citar a natureza dual da luz, as teorias da relatividade geral e restrita, viagens no tempo, as indeterminações da Física Quântica e o comportamento dos átomos.

Essa análise permite visualizar as Artes como uma ferramenta didática, servindo, em sua maioria, como material introdutório e facilitador na compreensão de um assunto, sem ocorrer uma contextualização mais aprofundada da relação histórico-cultural entre essas duas áreas, sendo poucos os artigos que trabalham mais profundamente essa relação. As Artes também são utilizadas como atividades avaliativas, com o objetivo de que o aluno expresse seu entendimento sobre o conteúdo de maneira mais informal. As atividades, no geral, se mostram bem aproveitadas pelos professores, que exploram os materiais de forma criativa e instigam os alunos a construírem seus conhecimentos sobre os temas abordados.

O uso do teatro está presente nos artigos 1, 6 e 3. No artigo 1 essa modalidade aparece como parte integrante de uma das aulas expositivas realizadas durante um minicurso sobre a natureza dual da luz. O artigo 3 a cita apenas como uma das atividades realizadas pelos alunos, tendo como tema principal a relatividade. A modalidade é mais explorada no artigo 6, que apresenta um diálogo entre dois personagens sobre um ensino de Física diferenciado. Durante esse diálogo o teatro é

apresentado como uma maneira de se inovar o ensino de Física, sendo exposto o processo de criação e apresentação de uma peça sobre a teoria da relatividade.

Os artigos 3, 10 e 15 utilizam a arte cinematográfica em suas aplicações, seja de forma completa ou apenas trechos. O artigo 3, apesar de abordar o assunto de relatividade, utiliza o filme para trabalhar o nascimento da ciência moderna, como atividade inicial do curso em questão. No artigo 10 o filme exibido aparece apenas como ferramenta de exposição para mostrar em imagens conceitos de Física Moderna. Essa modalidade é central no artigo 15, onde trechos de filmes são escolhidos a fim de suscitar discussões sobre assuntos como espaço-tempo, buracos de minhoca, velocidade da luz e viagem no tempo.

Em relação à utilização da música como modalidade de aproximação, o artigo 17 apresenta a sua potencialidade ao expor uma situação ocorrida em um curso de graduação em que uma canção, escolhida previamente, foi estudada a fim de levar os estudantes à identificação do tema de paradoxos temporais, viagens espaciais e suas características. A música também aparece no artigo 1, apenas como avaliação final do curso descrito no artigo.

Obras de arte pictóricas são objetos encontrados nos artigos 3 e 19. Obras da Idade Média até o século XX são analisadas em estudos sobre as concepções de tempo e espaço ao longo da história no artigo 3, que retorna às pinturas renascentistas para o estudo do Princípio da Equivalência e o novo conceito de espaço-tempo. No artigo 19, o uso de obras do artista surrealista Salvador Dalí serviu para o estudo do caráter imagético dos átomos.

Encontramos, também, textos e obras literárias presentes nos artigos 1, 10, 14 e 19. O artigo 1, como mencionado anteriormente, utilizou-se das artes como meio avaliativo, assim, foram apresentados pelos alunos história em quadrinhos e poesias sobre a natureza dual da luz. Textos originais de cientistas e obras literárias infanto-juvenis são usados para explorar os conteúdos de Física Moderna no artigo 10. Essa modalidade aparece no artigo 14 como base para os estudos sobre relatividade, onde textos literários foram produzidos a partir de obras literárias conhecidas a fim de abordarem conceitos de referencial, a Teoria da Gravitação Universal de Newton e o conceito de espaço, a ideia do éter e as teorias da relatividade. No artigo 19, poemas inteiros ou trechos de poemas foram usados para abordar assuntos como a evolução da física do movimento, o comportamento dos átomos, a dilatação do tempo e as indeterminações da Física Quântica e livros da literatura também foram explorados, mostrando seu caráter disciplinar aos futuros professores de Ciências. Este artigo ainda

apresenta como atividade final a confecção de um texto literário, por parte dos alunos, sobre fissão e fusão nuclear.

2.4 – Discussão

Após a análise das três categorias apresentadas acima, foi verificado que, no geral, as modalidades de Arte encontradas são bem diversificadas, sendo a Literatura e as Artes Plásticas as mais utilizadas dentro da amostra. Entendemos esse destaque pelo poder de interpretação que essas duas modalidades oferecem, visto que cada leitor ou observador tem a liberdade de entendê-las de acordo com sua bagagem cultural. Quando usadas no ensino, o professor tem a possibilidade de incentivar a interpretação dessas obras por parte do aluno, mostrando as potencialidades de aproximação com outras áreas de ensino, auxiliando na contextualização da aprendizagem do aluno.

Sobre os conceitos de Física Moderna abordados, destacamos o atomismo e o Princípio da Indeterminação como os mais presentes na amostra, seguidos da Teoria da Relatividade e a dualidade onda-partícula. De um ponto de vista ampliado, verificamos que diversos assuntos, teorias e conceitos presentes no estudo da Física Moderna e Contemporânea podem ser encontrados e explorados nas várias modalidades artísticas existentes. Essa relação pode se mostrar de maneira direta, onde as obras apresentam um viés científico explícito, como as poesias presentes no artigo de Barja (2013), ou de maneira indireta, onde essa relação depende apenas da interpretação do leitor, sem ter uma relação com a ciência de forma explícita, como, por exemplo, um leitor leigo que observa o quadro “A desmaterialização do nariz de Nero” de Salvador Dalí.

Destacamos que o problema desta relação indireta se dá por ela restringir a Arte apenas como ferramenta de ensino, sendo utilizada como representação de algum elemento, fenômeno ou conceito científico, mesmo sem saber se os mesmos foram considerados no momento de sua confecção. Desse modo, não se torna possível realizar uma abordagem mais completa e contextualizada do assunto, não oferecendo ao aluno um ensino mais aprofundado das ligações existentes entre diferentes áreas de ensino e sobre a complexidade de nossa realidade.

Podemos dizer que, em sua maioria, os artigos apresentam as modalidades artísticas apenas como ferramenta de ensino, utilizando-as como introdutórias a

assuntos, como facilitadoras de ensino ou como representação de objetos de estudos da Física Moderna. Poucos são os artigos que utilizam de modo mais contextualizado a ligação entre essas duas áreas, apresentando as características da sociedade à época dos conceitos estudados, quando fazem uso das artes pictóricas, das poesias, das músicas e dos filmes.

Consideramos que as propostas didáticas e as experiências educacionais expostas aqui são boas maneiras de tornar o ensino de Física diferenciado, saindo da rotina de gráficos e equações. As experiências educacionais também mostram, através de seus resultados, um aceitamento positivo da maioria dos alunos, que se apresentam mais dispostos e abertos a novas formas de aprendizagem. Os artigos com abordagem teórica constituem, para nós, materiais relevantes para aqueles que têm interesse em aprender mais sobre essa relação e servem como base para a criação de novas propostas didáticas.

Por fim, entendemos que já temos um bom caminho percorrido na inserção da Arte na Física, mas que essa caminhada está longe de terminar, considerando que a Arte não deve ser apenas uma ferramenta facilitadora, mas que seja utilizada de modo contextualizado historicamente e socialmente, permitindo que o conhecimento adquirido pelo aluno o ajude a enxergar a realidade de maneira mais complexa.

3- Do Impressionismo ao Surrealismo

3.1 – Ciência e Arte no século XIX

O século XIX representa um período de grandes mudanças no mundo, seja na política, nas ciências, nas artes, entre outras áreas. Nele, ocorreu o colapso de impérios como o da Espanha, França, China, Mongol e o Sacro Império Romano-Germânico. Em contrapartida, observou-se o aumento da influência dos impérios britânico, alemão, russo, japonês e dos EUA, o que provocou um incentivo aos conflitos militares e garantiu avanços na área científica e de exploração (VICENTINI; PEREIRA, 2012)

A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, representou um avanço significativo nos meios de produção, auxiliando na difusão do capitalismo. A propagação da industrialização gerou conflitos entre potências industrializadas e deu início à corrida

armamentista (VICENTINI; PEREIRA, 2012).

Com o rápido crescimento industrial, a necessidade de diminuir o tempo de viagens e transportes, tanto de materiais quanto de passageiros, levou a uma otimização do sistema ferroviário, que antes possuía máquinas movidas a vapor, reduzindo esse tempo de meses para semanas ou dias (HOBSBAWN, 2017). Essa otimização se deu graças aos desenvolvimentos na área de metalurgia, assim como na substituição das máquinas a vapor pelas máquinas a diesel e elétricas. O aumento das ferrovias favoreceu, também, a movimentação urbana entre os países do mundo.

Assim como os meios de transporte, a área da comunicação também apresentou grandes transformações. O telefone apareceu como uma versão evoluída do telégrafo, sendo capaz de transmitir mensagens de voz instantaneamente, enquanto seu antecessor transmitia mensagens de texto e desenhos. A partir da teoria de James Maxwell (1831-1879) na qual a onda eletromagnética pode se propagar no vácuo e da comprovação experimental dessa teoria feita por Heinrich Hertz (1857-1894), o rádio começou a ser usado para transmissão de notícias e permitiu a criação de radionovelas e músicas para o entretenimento da população.

Tanto o desenvolvimento dos meios de transporte quanto o dos meios de comunicação abriram portas para a difusão do conhecimento científico. As trocas de informação entre intelectuais de diversas partes do globo tornaram-se mais frequentes. Novos jornais e periódicos começaram a ser escritos, facilitando ainda mais essa difusão.

Era de grandes transformações nas mais diversas áreas, este século também registrou avanços na Medicina e na Biologia. Esses dois campos de estudo passaram por um processo de instrumentalização, o que abriu novos caminhos nos estudos da anatomia humana, assepsia, anestesia, cirurgia e na prevenção de doenças como a sífilis e a tuberculose, tendo como resultado um rápido aumento populacional no ocidente.

Ainda no campo da Biologia, o lançamento do livro *Sobre a origem das espécies por meio de seleção natural* de Charles Darwin (1809-1882), em 1859, trouxe consigo uma ruptura com a religião ao mostrar ao público a teoria da evolução e seleção natural. Sua teoria, formulada a partir de anotações realizadas durante suas viagens a bordo do barco inglês HMS Beagle, mostra que as espécies apresentam pequenas variações biológicas que as tornam mais aptas a sobreviver no meio em que vivem. São essas variações, que foram responsáveis pela sua sobrevivência, que são passadas para seus descendentes, ou seja, ocorre a seleção de espécies mais aptas ao longo do tempo.

Seu livro foi, assim, alvo de diversas críticas por contrariar a presença de um ser divino no controle da evolução, sendo a sua teoria considerada oposta ao Criacionismo.

A ideia proposta pelo Evolucionismo de Darwin foi utilizada nos estudos do campo da Sociologia. Conhecidas como Darwinismo Social, essas teorias sociológicas procuravam descrever a sobrevivência dos mais aptos na sociedade. Assim, as características tanto biológicas quanto sociais são determinantes na seleção dos seres considerados superiores a outros. Interpretações como o Darwinismo Social acabam por abrir caminhos para o racismo, o fascismo e o nazismo.

Neste século e parte do século XX, a Europa é vista como o centro cultural mundial, detentora do conhecimento que é fornecido ao restante do mundo. Do ponto de vista do Darwinismo Social, os europeus são vistos como superiores aos outros povos, o que justificaria a centralização do conhecimento neste continente, principalmente o conhecimento desenvolvido pelo homem branco.

Devido à industrialização, a Matemática passou a ser utilizada na resolução de problemas práticos relacionados aos processos industriais assim como na formação de mão-de-obra especializada. Os conhecimentos matemáticos dos gregos, romanos e árabes, antes tidos como verdades inquestionáveis, começaram a ser postos à prova. Novos estudos sobre um desses conhecimentos, a geometria de Euclides, deram origem a uma nova geometria chamada de não-euclidiana. Com esses processos de questionamento, a matemática passou a ser vista não só com um caráter numérico, mas também voltada para a abstração e o raciocínio lógico, sendo subdividida em diversas áreas mais específicas (SOUSA, 2009).

A necessidade de otimizar o tempo de produção a fim de atender às demandas da sociedade burguesa levou à busca de melhorias das máquinas utilizadas nas indústrias, tornando-se interessante analisar a eficiência tanto dessas máquinas quanto do trabalhador. Na Física, essa relação começou a dar forma ao que conhecemos como trabalho mecânico, assim como a novos estudos sobre o calor, que levaria ao desenvolvimento da termodinâmica e ao conceito de conservação de energia.

A irreversibilidade de processos termodinâmicos abriu espaço para uma nova interpretação do conceito de tempo, antes considerado reversível. Em sua obra intitulada *Reflexões sobre a potência motriz do fogo* (1824), Sadi Carnot (1796-1832) explica o funcionamento das máquinas térmicas e apresenta a determinação do rendimento máximo atingido por uma máquina térmica que opera entre duas fontes de temperatura diferentes. Carnot mostra a impossibilidade de construção de uma máquina térmica que transforme todo calor recebido em trabalho mecânico, apresentando

teoricamente uma sequência reversível de ciclos de uma máquina considerada ideal. Reflexões como a exposta por Carnot auxiliaram na interpretação do tempo como irreversível.

Na óptica, a teoria corpuscular da luz proposta por Isaac Newton (1643-1727), perde espaço para teorias ondulatórias da luz. Essas teorias explicavam, de forma mais satisfatória, certos fenômenos luminosos como a difração e as interferências. Nesse ínterim, a velocidade da luz, que pela teoria corpuscular de Newton apresentaria valores variáveis dependentes das dimensões e distância entre os corpos, apresenta um valor constante, sendo esse mais um fator que pôs em prova a teoria newtoniana.

O entendimento sobre a natureza da luz permitiu que novas técnicas artísticas fossem aprimoradas, como o conceito de câmara escura, usada para esboçar pinturas, até a fotografia, com o intuito de obter uma imagem permanente. A primeira fotografia data de 1826, retirada pelo inventor francês Joseph Niépce (1765-1833), através do uso de uma câmara escura, luz do sol e uma placa de estanho coberta com betume da Judeia (derivado do petróleo), dando impulso ao desenvolvimento dessa técnica chamada por Niépce de heliografia.

A mudança trazida pela Revolução Industrial pôde ser sentida, também, na Arte. A expansão das cidades industriais trouxe consigo grandes construções como, por exemplo, edifícios, escolas e estações ferroviárias desprovidos de um estilo único, como era comum nas épocas anteriores, marcadas pela predominância de um estilo que lhes caracterizava. O mesmo se aplicou na pintura. Enquanto no passado as obras possuíam um padrão, sendo semelhantes entre si apesar de nem sempre serem usadas as mesmas técnicas, como por exemplo, as obras egípcias, no século XIX os artistas depararam-se com uma ampliada gama de possibilidades sobre o que ser pintado, tornando a tarefa de satisfazer o gosto do público mais árdua.

A carreira artística foi, assim, perdendo seu prestígio frente aos produtos industrializados e os artistas depararam-se com a escolha de produzir artes que fugiam de sua tradição em troca de dinheiro ou seguir sua voz interior, correndo o risco de não conseguir sustento, visto que sua arte nem sempre corresponderia aos novos padrões da sociedade industrializada (GOMBRICH, 2013).

Ao mesmo tempo que essa ampliação de escolhas era vista de modo negativo por alguns, para outros ela representava uma oportunidade de expressão da individualidade. O artista não estava mais fadado a seguir um padrão de sua época, como na antiguidade. Ele poderia construir uma obra que tivesse o intuito de satisfazer suas convicções artísticas e que agradasse aqueles que possuíssem visão diferente

das massas.

A fuga dos padrões impostos pelas academias de artes foi, aos poucos, ganhando adeptos. Artistas passaram a representar trabalhadores, costumes e situações vividas pela classe média e baixa em seus quadros, não de forma graciosa ou fantasiada, mas de forma natural, como mostra o quadro de Jean-François Millet (1814-1875) na Figura 4. Essa representação do mundo da forma como o vemos recebeu o nome de Realismo. Para os artistas realistas, a luz natural concedia aos objetos contornos e cores diferentes daquelas concebidas dentro de ateliers. Com isso, a representação das cores na pintura ganhou um novo olhar: a natureza ao ar livre mostra, não cores próprias de cada objeto, mas uma mistura de tons, captados por nossos olhos e mesclados pelo nosso cérebro (GOMBRICH, 2013).



Figura 4 - Les Glaneuses - Jean-François Millet (1857). FONTE: https://fr.wikipedia.org/wiki/Des_glaneuses#/media/File:Jean-Fran%C3%A7ois_Millet_-_Gleaners_-_Google_Art_Project_2.jpg

Esse novo estilo não foi bem aceito pelos acadêmicos, sendo as obras expostas no chamado “Salão dos recusados”, onde os artistas não recebiam reconhecimento por parte do público e dos críticos. Enquanto os realistas buscavam representar o cotidiano através de uma temática e uma técnica, um novo grupo, intitulado de impressionistas, passaram a focar não em uma temática social ou política, mas na forma como a luz e a

natureza se relacionam.

Os impressionistas passaram de seus ateliers fechados ao exterior, usando-o como oficina de trabalho A representação de cenas ao ar livre pedia rapidez nas pinceladas do artista, visto que as mudanças do clima interferiam no resultado final. Assim, o artista não possuía mais tempo para a mistura e combinação de cores, não eram usadas linhas de perspectivas, sendo o quadro delineado pela tonalidade das cores, usadas de acordo com a distância e iluminação do objeto representado, deixando o quadro sem o acabamento com o qual os críticos estavam acostumados, como, por exemplo, o quadro da Figura 5 de Claude Monet (1840-1926) (SANDANELLO, 2014; GOMBRICH, 2013).

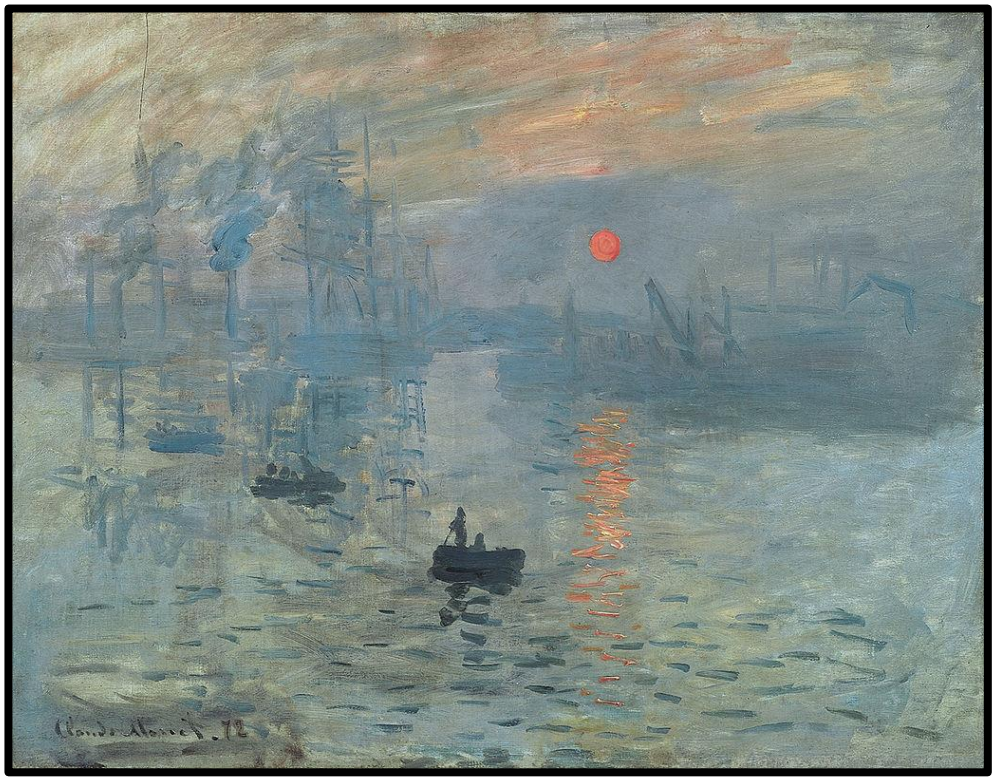


Figura 5 - Impression, soleil levant - Claude Monet (1872)
FONTE:https://pt.wikipedia.org/wiki/Impress%C3%A3o,_nascer_do_sol#/media/File:Claude_Monet,_Impression,_soleil_levant.jpg

As obras impressionistas pediam dos observadores um olhar mais aguçado, onde os quadros deveriam ser vistos a uma certa distância para que toda a sua composição se completasse e mostrasse na totalidade a beleza representada. Essa nova forma de ver o mundo também foi contemplada pela fotografia que foi, aos poucos, substituindo o papel da pintura, sendo os serviços sociais passados do pintor ao fotógrafo. O desenvolvimento das técnicas fotográficas e sua rapidez em eternizar um momento

fizeram com que artistas plásticos procurassem novos campos onde a fotografia não pudesse substituí-los. A pintura, então, perde sua função social, deixando de ser um bem de consumo normal e passando a ser um instrumento de pesquisa e experimentação da mente humana, deslocando a sua atenção para um público restrito e possuindo um alcance social limitado (ARGAN, 2002; GOMBRICH, 2013).

3.2 – Os movimentos artísticos no século XX

Desde as primeiras representações artísticas, a arte é marcada por diversas técnicas e métodos. Ao adotar um estilo referente a uma época e lugar, os artistas reproduziam seus padrões de forma fiel, respeitando suas características principais. Porém, na busca de um resultado final satisfatório, alguns artistas encontravam obstáculos os quais as técnicas comumente utilizadas não eram capazes de ultrapassar. A procura por novos métodos que permitiam que os artistas chegassem ao resultado pretendido acabava por originar um novo estilo artístico e, novamente, nesse novo estilo, surgiria um novo problema a ser resolvido (GOMBRICH, 2013).

No século XX, essa característica continuou presente. As transformações políticas, econômicas e sociais levavam a uma mudança na visão do homem em relação ao mundo ao seu redor. Tais mudanças também se fizeram presentes nas Artes. A ruptura com as técnicas até então aceitas pela Academia, pelos críticos e pela sociedade iniciou-se com os impressionistas, no século XIX, e esse espírito antitradicionalista se fazia tão presente no meio artístico que o próprio Impressionismo passou para a posição de retaguarda (STANGOS, 2000).

Pequenos grupos de artistas que se opunham ao Impressionismo passaram a ser chamados de expressionistas. O Expressionismo teve seu início na Alemanha e, nesse movimento artístico, o artista passou a representar a realidade de dentro para fora, a partir do seu sentimento sobre um fato. As cores, formas, texturas e pinceladas eram o suficiente para a composição do fato, não precisando, necessariamente de um tema a ser representado (ARGAN, 2002; LYNTON, 2000). Obras como *Skrik* (Figura 6), de Edvard Munch, e *The Bedroom At Arles* (Figura 7), de Vincent Van Gogh, são exemplos da arte expressionista.

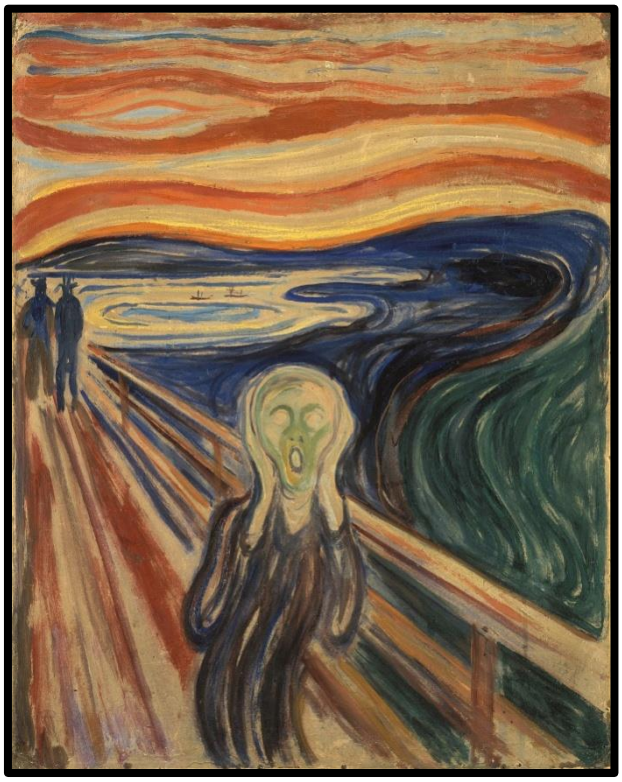


Figura 6 - Skrik - Edvard Munch (1893)
FONTE: https://pt.wikipedia.org/wiki/O_Grito#/media/File:Edvard_Munch_-_The_Scream_-_Google_Art_Project.jpg



Figura 7 - The Bedroom At Arles - Vincent Van Gogh (1888)
FONTE: https://www.vincentvangogh.org/the-bedroom-at-arles.jsp

Um grupo alemão intitulado *Die Brücke* (A Ponte) também se opunha à arte impressionista acadêmica, sendo assim considerado como uma vertente do Expressionismo. Seus membros buscavam se afastar da arte tradicional das Academias e ir em direção ao novo, a uma arte mais avançada. Suas pinturas representavam mais o estado de espírito do pintor do que o objeto em si e o grupo utilizava cores puras na composição de seus quadros, sendo seus conceitos baseados nas obras de Vincent Van Gogh (1853-1890) e Paul Gauguin (1848-1903). Os temas usualmente abordados eram referentes à vida cotidiana, como, por exemplo, o quadro *Street, Dresden* (Figura 8) de Ernst Ludwig Kirchner (1880-1938). O grupo foi dissolvido em 1913, após uma breve estadia em Berlim (ARGAN, 2002; LYNTON, 2000).



Figura 8 - Street, Dresden - Kirchner (1908)
FONTE: https://www.moma.org/learn/moma_learning/ernst-ludwig-kirchner-street-dresden-1908-reworked-1919-dated-on-painting-1907/

Em Paris, um grupo de pintores, conhecido como *Les Fauves* (As Feras), também realizava experimentações utilizando cores puras que delimitavam as formas e davam volume e profundidade à imagem. O Fauvismo, como ficou conhecida essa corrente artística, teve como referência as cores vibrantes de Van Gogh e o primitivismo de Gauguin. Nessa corrente, as formas eram simplificadas, assumindo uma função mais decorativa e menos descritiva e as cores eram usadas de maneira mais subjetiva, ligadas à sensação do momento e sem ter a intenção de representar a cor real da cena.

Seus temas fugiam daqueles considerados deprimentes, buscando aqueles que representavam momentos alegres, como o quadro *La Danse* (Figura 9), de Henri Matisse (1869-1954). O Fauvismo foi, assim, um momento de transição entre o Impressionismo e os futuros movimentos artísticos como, por exemplo, o Cubismo. Por possuir características em comum, o Fauvismo pode ser considerado como uma vertente francesa do Expressionismo (WHITFIELD, 2000; ARGAN, 2002).

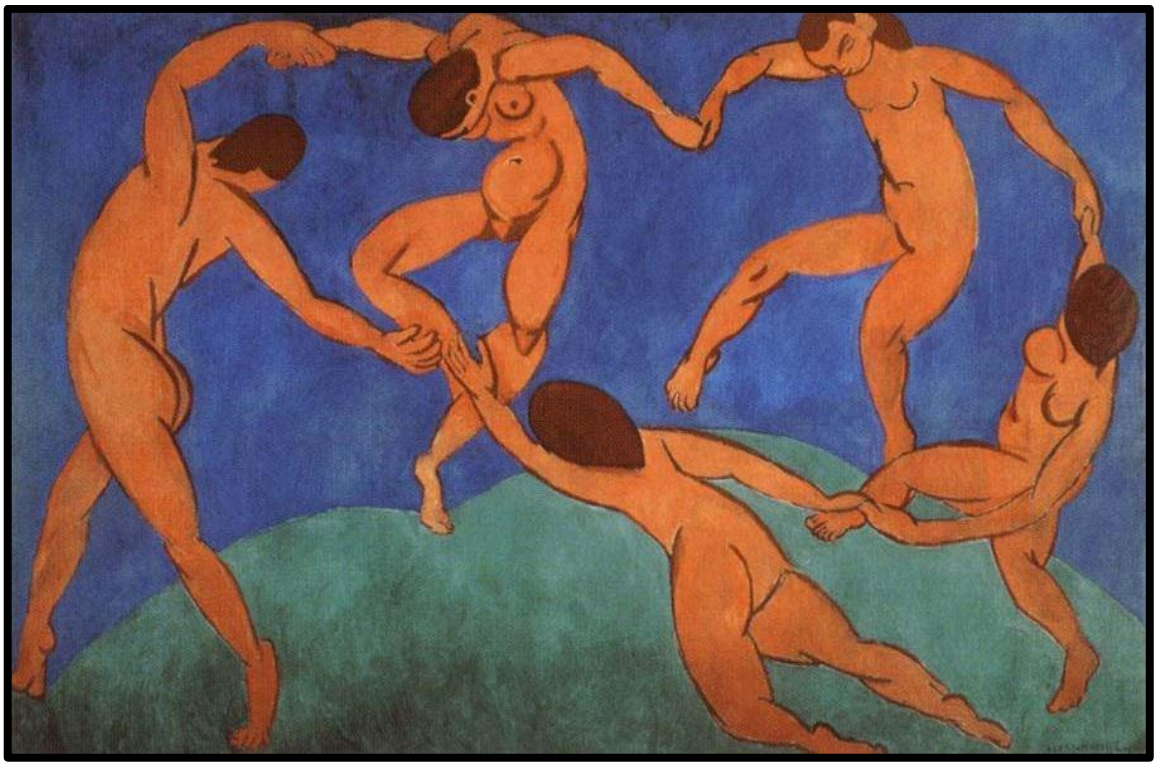


Figura 9 - La Danse - Matisse (1910)
FONTE: https://www.henrimatisse.org/the-dance.jsp

Seguindo o caminho de ruptura com a representação real do mundo exterior iniciada pelos fauvistas, Pablo Picasso (1881-1973) e Georges Braque (1882-1963) formaram o Cubismo. Em seu início, em 1907, o Cubismo teve como base as esculturas africanas, devido à sua representação simples das formas das coisas e as obras de Paul Cézanne (1839-1906), que dizia que a pintura deveria considerar as formas da natureza como cones, cilindros e esferas (GOLDING, 2000). O tempo e o espaço passaram a ser representados de forma unificada, onde diferentes faces de um objeto podiam ser vistas ao mesmo tempo. Essa nova visão do espaço-tempo e da simultaneidade já permeava o campo das ciências, visto que Albert Einstein (1879-1955) havia publicado sua Teoria da Relatividade dois anos antes do surgimento do Cubismo.

O Cubismo e a Teoria da Relatividade apresentam pontos de convergência,

apesar de sua relação não ser anunciada de forma explícita. Esses pontos mostram que, tanto Einstein quanto Picasso estavam ligados à *avant garde*, cujo tema principal era a natureza do espaço e do tempo. Ambos possuíam grupos de discussão, Einstein com a *Academia Olimpia* e Picasso com *la bande à Picasso*, onde trocavam ideias sobre assuntos diversos como literatura e ciência. Em seu grupo, Picasso teve contato, através do matemático amador Maurice Princet (1875-1973), com estudos de geometria não euclidiana e com os escritos de Henri Poincaré (1854-1912) sobre tempo, espaço e a quarta dimensão. (MILLER, 2006).

Einstein também teve acesso aos escritos de Poincaré, que foram de grande relevância na formulação de sua Teoria da Relatividade. Interessava-se pelos tópicos que tratavam sobre a sincronização de relógios e a importância da relatividade, enquanto que Picasso se interessava pelo trabalho sobre a visualização da quarta dimensão pelos geômetras (MILLER, 2006).

Os cubistas não tinham a intenção de representar os objetos em sua aparência real e utilizavam-se de figuras geométricas na constituição de seus quadros. Assim, diversas partes de um objeto são representadas no mesmo plano ao mesmo tempo, abrindo mão da perspectiva. O quadro *Les Demoiselles d´Avignon* (Figura 10), de Picasso, é considerado o marco inicial das experimentações cubistas e apresenta, pela primeira vez, a desconstrução da noção de espaço e tempo.

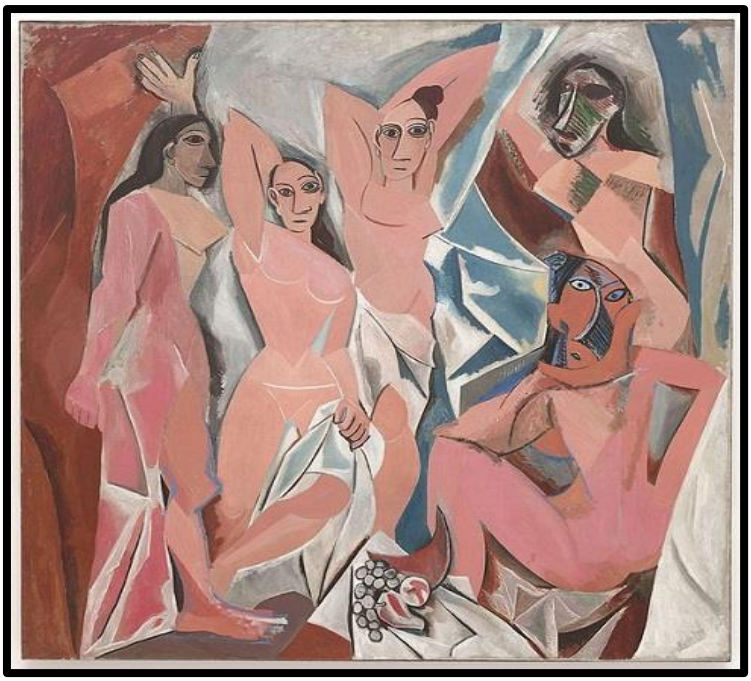


Figura 10 - Les Demoiselles d´Avignon - Picasso (1907)
FONTE:https://pt.wikipedia.org/wiki/Les_demoiselles_d%27Avignon#/media/File:579px-Les_Demoiselles_d%27Avignon.jpg

Essa desconstrução pode ser notada na figura no canto inferior direito. A mulher agachada de costas encontra-se com a cabeça virada para o observador e com os elementos do rosto vistos de diferentes ângulos, como se o pintor tivesse dado a volta em torno da figura e mostrado todas as visões que tivera de uma só vez. Com isso, Picasso quebra a ligação com a perspectiva matemática seguida pelos artistas desde a Renascença (GOLDING, 2000).

Devido às diferentes técnicas utilizadas, o movimento passou a ser dividido em duas fases: a analítica e a sintética.

Em sua fase analítica, a obra era decomposta em partes, onde o objeto era apresentado de forma fragmentada e suas partes vistas em todos os ângulos ao mesmo tempo. Nessa fase, as cores vibrantes presentes no Fauvismo perderam espaço para os tons mais simples, como o cinza, o castanho e o bege. Já na fase sintética, percebe-se a representação do objeto de forma mais completa, sem toda a fragmentação presente na fase anterior, tornando as figuras mais reconhecíveis. Nessa fase, os pintores passaram a usar as técnicas de colagem, causando não só uma sensação visual, mas também sensorial.

A ruptura com as técnicas antes aceitas pela Academia, ou seja, a onda expressionista, apesar de estar presente em outros pontos da Europa, teve um crescimento significativo na Alemanha, que sofria as consequências da rápida industrialização e urbanização. As obras expressionistas representam o drama da sociedade alemã durante esse período conturbado. Berlim se mantinha como centro artístico principal devido ao interesse do próprio *Kaiser*, Guilherme II, considerado um patrocinador da arte e das ciências. Era a cidade das exposições, reuniões e reações artísticas. Após a abdicação do Kaiser, em 1918, a arte considerada oficial sofreu um colapso e novos grupos e movimentos artísticos surgiram, como o Dadaísmo e a Nova Objetividade (LYNTON, 2000).

O Expressionismo recebeu o título de movimento de protesto político, apesar de possuir poucas obras que refletem um caráter de natureza política. As artes expressionistas eram consideradas como subversivas pelo atual governo alemão e, devido a essa perseguição aos artistas expressionistas, governos progressistas facilitavam suas inserções em coleções públicas, galerias e revistas davam apoio a esses grupos e os próprios artistas expunham suas obras ao público através de publicações e organizações. A Primeira Guerra Mundial representou o fim de certos artistas expressionistas, como August Macke (1887-1914) e Franz Marc (1880-1916), que morreram em batalha. Também afetou outros artistas do movimento como Paul

Klee (1879-1940) que, após a morte dos amigos Macke e Marc, se alistou ao exército alemão e trabalhou com pintura de camuflagem em aviões. Wassily Kandinsky (1866-1944), de origem Russa, foi forçado a sair da Alemanha, regressando a Moscou e passando a se envolver em revoluções políticas. A guerra, então, abriu caminho para o uso da arte como forma de protesto às atrocidades causadas na e pela humanidade (LYNTON, 2000).

O Dadaísmo representa esse caminho, tomado por artistas que tinham a intenção de protestar contra as consequências causadas pelas guerras. Teve início em Zurique no ano de 1916 em um clube noturno chamado *Cabaret Voltaire* e tinha a intenção de desconstruir o conceito de arte, provocar o público e se libertar da racionalidade e do materialismo. Teve sua forma mais política em Berlim, onde a população, sofrendo os horrores da guerra, buscava na arte certo conforto. Os dadaístas, na época do Nazismo, expressavam-se politicamente através de fotomontagens, com denúncias à Hitler e ao militarismo capitalista como, por exemplo, o artista John Heartfield (1891-1968) (ADES, 2000).



Figura 11 - Die drei Weisen aus dem Sorgenland – Heartfield (1935)
FONTE: http://artemodernaartistas.blogspot.com/2016/03/john-heartfield-1891-1968.html

Suas obras expressavam sua oposição ao nazismo e ao fascismo e eram

utilizadas como capas de uma revista ilustrada pró-comunista intitulada *Arbeiter-Illustrierte-Zeitung* (Revista Ilustrada dos Trabalhadores). Uma de suas fotomontagens (Figura 11, acima) mostra o ministro da propaganda nazista Joseph Goebbels, o militar alemão Hermann Göring e Adolf Hitler andando em uma corda bamba política com uma ratazana roendo a corda, representando a oposição tentando derrubar o regime nazista. Os escritos da obra dizem, em tradução livre, “Os três homens sábios da Sorgenland. E eles imaginam: isso continua por vinte e cinco mil anos” (Metropolitan Museum of Art).

Antes do Dadaísmo, os movimentos de vanguarda apresentavam a passagem das representações do repouso para as representações do movimento e que apenas essa mudança na representação do objeto em si não era o suficiente para uma mudança no sentido da arte, que permanecia o mesmo, ou seja, a arte continuava sendo tratada como mercadoria e o artista como responsável pela produção de objetos para consumo. A negação de todos os princípios da arte faz com que o Dadaísmo seja considerado como um movimento antiarte, visto que, ao negar esses princípios ele nega a si mesmo. Com isso, ele passa a ser apenas uma ação, não produzindo obras de arte, mas realizando intervenções imprevisíveis e absurdas (ARGAN, 2002).

Enquanto o Dadaísmo simbolizava a ruína da arte, o Surrealismo aparece como sua salvação, nascendo da vontade de reconstruir o que foi desconstruído pelo movimento dadá. É considerado como um substituto deste, tendo como diferença a reformulação das teorias e princípios da arte no lugar da simples aniquilação dadaísta. Em termos políticos, a burguesia é vista como sua inimiga e as formas tradicionais de arte ainda são alvo de oposição (ADES, 2000; ARGAN, 2002).

André Breton (1896-1966), o precursor do movimento, o define em seu manifesto como “Puro automatismo psíquico” (BRETON, 1924). Breton foi estudante de medicina e estudou as teorias de Freud, tendo a oportunidade de aplicar os métodos freudianos em pacientes durante a Primeira Guerra Mundial. Levou essa aplicação a outro nível, decidindo utilizar esses métodos em si mesmo com o intuito de obter um monólogo automático e ininterrupto, onde o seu espírito crítico não emite julgamentos. Juntamente com Philippe Soupault (1897-1990), publicou esses escritos na forma de um livro intitulado *Les Champs Magnétiques*, em 1919, sendo considerada a primeira obra surrealista (ADES, 2000).

Apesar de citar Freud em seu manifesto e apresentar interesse em seus estudos sobre o sonho, Breton caminhou em direção oposta aos objetivos deste. Enquanto Freud tinha a intenção de tratar os distúrbios emocionais e mentais do homem, para inseri-lo novamente na sociedade, Breton encorajava os desejos do inconsciente.

Valorizar o sonho, no Surrealismo, não significava a mera transcrição do mesmo ou uma explicação pautada no psicológico. Para os surrealistas, o sonho representava a fase primitiva da imaginação, o maravilhoso em sua forma mais pura (ADES, 2000).

Na pintura, os surrealistas possuíam duas realidades distintas, a do consciente e a do inconsciente, as quais eram sobrepostas, dando origem a imagens impossíveis, irreais e abstratas, que fugiam da razão e do senso comum presente no cotidiano do ser humano. Paisagens e objetos reais são postos em situações incomuns formando imagens oníricas relacionadas a sonhos ou fantasias, os opostos como o real e o imaginado, deixam de ser contrários e se fundem em um ente unitário.

O Surrealismo teve sua origem na literatura, porém foi na pintura que o movimento se tornou mais conhecido. Obras como as de Salvador Dalí (1904-1989) são frequentemente citadas como exemplos surrealistas. Nelas, o artista expressa suas visões oníricas de forma consciente, pensada, fugindo do objetivo de Breton, de que o inconsciente deve ser desconectado da intenção de produzir algo (ADES, 2000). Dalí, assim como Breton, realizou estudos na área da psicanálise, lendo as teorias de Freud e chegando a conhecê-lo em 1938. Também estudou sobre ciência como, por exemplo, a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica, sendo seu interesse pela área demonstrado em alguns de seus quadros, através de elementos constituintes ou nos nomes das obras (LOPEZ FERRADO, 2006; SANTOS, 2010).

A nova visão de mundo proposta pela teoria quântica, com conceitos e elementos de difícil entendimento, abria portas para a imaginação dos surrealistas (LOPEZ FERRADO, 2006). A Figura 12 é uma das obras de Dalí que faz parte de seu período chamado *misticismo nuclear*, no qual a teoria atômica era o assunto de destaque. É intitulada de *Desmaterialization Near the Nose of Nero* e data de 1947. A romã dividida com suas sementes movimentando-se próximas a ela representam o átomo e os elétrons. Ao seu redor, uma estrutura de concreto que mostra o controle da humanidade sobre o átomo, visto que poucos anos antes, as bombas atômicas já haviam sido utilizadas. Outras obras do artista, neste período, são ligadas ao tema científico, em especial os de Física Moderna, e à religião.



Figura 12 - Desmaterialization Near the Nose of Nero - Dalí (1947)
FONTE: www.dali-gallery.com

Devido a acusações de filiação ao governo de Francisco Franco (1892-1975), militar e ditador espanhol cujo governo era conservador e anticomunista, Dalí foi expulso do movimento Surrealista por Breton, porém, até os dias atuais suas obras ainda são consideradas como as mais relevantes do mesmo (ADES, 2000).

Outro artista surrealista cujas obras oferecem certa aproximação com a Física Quântica é René Magritte (1898-1967). Seus trabalhos permitem momentos de reflexão sobre a realidade e sobre a representação dessa realidade. Em um de seus quadros, *La trahison des images*, de 1929 (Figura 13), Magritte explora esse momento de reflexão ao dizer que o charuto observado não é o objeto em si, mas apenas a representação do mesmo. Com isso, o artista mostra a diferença existente entre o que é real e o que é representado (REIS, 2002).



Figura 13 - Ceci n´est pas une pipe – Magritte (1929)
FONTE: https://www.historiadasartes.com/wp-content/uploads/2016/09/m_MagritteCachimbo-560x450.jpg

Magritte também instiga o observador com uma série de imagens intituladas *The Empire of Light*, feitas entre os anos de 1949 e 1954. Nelas, o pintor apresenta uma imagem aparentemente comum, com uma casa, um poste, uma árvore e nuvens no céu (Figura 14). Um olhar mais minucioso revela uma contradição: ao olhar para o poste aceso, a noite se vê representada; ao olhar para as nuvens no céu azul, o dia é representado. Dia e noite fazem, assim, parte do mesmo instante. Esse fato põe em evidência o conceito de complementaridade, visto que os opostos, dia e noite, não coexistem e a noite não seria entendida como é sem a existência do dia (REIS, 2002).



Figura 14 - The Empire of Light - Magritte (1949-1954)
FONTE: http://www.rene-magritte.com/empire-of-light/

Com a Segunda Guerra Mundial e a ascensão do Stalinismo e do Nazismo, os movimentos de vanguarda foram perdendo a força, por meio de restrições e perseguições políticas. Os surrealistas se dispersaram de Paris, alguns deles, como Magritte, se mudaram para Nova York, prosseguindo com seus trabalhos e divulgando o movimento em outras regiões (ADES, 2000).

4- Niels Bohr e o Princípio da Complementaridade

Niels Bohr (1885-1962) nasceu em um contexto científico onde a teoria ondulatória da luz vigorava em detrimento da corpuscular. Dois anos após seu nascimento, em 1887, Heinrich Hertz (1857-1894), físico alemão, ao realizar estudos sobre a radiação eletromagnética com a intenção de comprovar experimentalmente a teoria de James Clerk Maxwell (1831-1879) sobre o eletromagnetismo e obter uma descrição da onda eletromagnética, observou a emissão de elétrons de um material metálico a partir da exposição desse material a uma radiação de frequência elevada.

Hertz pretendia estudar sobre a polarização do meio através do seu experimento,

conseguindo provar a relação entre a propagação da força elétrica com a propagação da luz, mas seu experimento mostrou um fenômeno secundário sobre o efeito causado pela incidência de luz ultravioleta em descargas elétricas. Como não era o foco de seu trabalho analisar esse efeito e sem uma base teórica que conseguisse explicá-lo satisfatoriamente, Hertz limitou-se a publicar suas observações sobre o tema, deixando questões em aberto (MANGILI, 2012; SEARES, ZEMANSKY E YOUNG, 1985). Esse fenômeno observado por Hertz é o que conhecemos atualmente como Efeito Fotoelétrico, o qual ganhou uma explicação apenas em 1905, assunto que será abordado posteriormente.

Em 1899, quando Bohr era um estudante de 14 anos de idade, Max Planck (1858-1947), físico alemão, determinava uma constante fundamental para o cálculo da energia de um fóton, batizada, posteriormente, de Constante de Planck em sua homenagem. No ano seguinte, 1900, Planck apresentava à Sociedade Alemã de Física seus estudos sobre a radiação do corpo negro, que até então procurava ser explicada através do seu caráter ondulatório, visto que a luz já era entendida como uma onda eletromagnética. O diferencial de seus estudos, que culminou na Lei da Radiação de Planck publicada nesse mesmo ano, foi deixar de considerar a energia da radiação como contínua e apresentá-la de maneira discreta, como pequenos ‘pacotes de energia’, os quais viriam a ser chamados de quanta (no singular, quantum, também conhecido como fóton), isto é, a radiação é absorvida ou emitida por um corpo negro não como onda, mas através de ‘pacotes de energia’ (BYNUM, 2015; ROSA, 2004). Apesar de contrariar todo o entendimento da época e até do próprio Planck, ao sugerir um caráter corpuscular da radiação, seus estudos modificaram o cenário da Física e serviram como base para novos estudos que comporiam a Física Moderna e Contemporânea.

No ano de 1903, Bohr iniciou seus estudos na Universidade de Copenhague juntamente com seu irmão Harald Bohr (1887-1951), com quem mantinha uma relação próxima. Ingressou no curso de Física, enquanto seu irmão encaminhou-se para Matemática. Pode-se entender seus interesses acadêmicos a partir do ambiente familiar em que cresceram. Seu pai Christian Bohr (1855-1911), professor de fisiologia da Universidade de Copenhague, sempre incentivou ele e seu irmão nos estudos dessas disciplinas e recebia frequentemente em sua casa amigos da universidade para discussões sobre assuntos diversos, deixando Niels e Harald ouvirem as conversas algumas vezes. Nessas reuniões, Bohr conheceu seu futuro orientador Christian Christiansen (1843-1917). Niels, assim como seu pai, nutria um certo interesse em

filosofia, chegando a participar juntamente com seu irmão de um grupo intitulado Ekliptica onde discutiam sobre filosofia. (ABDALLA, 2002).

Após a publicação de Planck sobre os quanta e enquanto Bohr encontrava-se na Universidade, o Efeito Fotoelétrico ganhou uma nova interpretação feita pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955). Em seu artigo intitulado *Sobre o ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*, publicado em 1905, Einstein utilizou-se da ideia dos quanta de Planck para explicar o efeito observado por Hertz anos antes, mostrando que a intensidade da luz é proporcional ao número de elétrons ejetados pelo material e que existe uma frequência mínima, chamada de frequência limite, variável de acordo com o material utilizado, que determina se o elétron será ejetado ou não. Isso quer dizer que, caso a frequência fornecida pela radiação seja inferior ao valor da frequência limite, o elétron não absorve energia suficiente para ser ejetado. Einstein apresentou, então sua interpretação para os quanta de luz supondo que um raio de luz se distribui no espaço através de quanta de energia que se movimentam sem se dividir, podendo ser absorvidos ou emitidos como unidades completas, ao invés de possuírem uma distribuição contínua. Assim, considerando um caráter corpuscular da luz, Einstein conseguiu dar uma explicação condizente com os resultados observados por Hertz 18 anos antes (BYNUM, 2015; KLEPNNER, 2004; ROSA, 2004; SEARS, ZEMANSKY E YOUNG, 1985).

Ao terminar seu doutorado em Física, no ano de 1911 pela Universidade de Copenhague, Bohr foi para a Inglaterra para trabalhar no laboratório de Cavendish com Joseph John Thomson (1856-1940), físico britânico responsável pela observação do elétron, porém sua relação com Thomson não foi tão boa como ele esperava, devido a divergência de ideias entre eles em relação ao modelo atômico de Thomson. Esse modelo, conhecido como pudim de ameixas (ou passas), previa linhas espectrais diferentes das emanadas pelos elementos químicos. Para Bohr, a emissão de energia dos elétrons deveria ser tratada como pacotes de ondas, porém Thomson era contrário à ideia de abrir mão da Física Clássica para a explicação desse fenômeno (ABDALLA, 2002).

Ao visitar um amigo de seu pai, em Manchester, Bohr viria a conhecer Ernest Rutherford (1871-1937), físico e químico neozelandês e naturalizado britânico, que realizava pesquisas sobre a estrutura dos átomos, na Universidade de Manchester, à época conhecida como Victoria University. Em um jantar de encontro anual de alunos de Cambridge, Rutherford e Thomson decidiram a transferência de Bohr para Manchester (ABDALLA, 2002).

Rutherford e seu grupo, ao realizarem experimentos sobre a incidência de partículas alfa em folhas metálicas, observaram que algumas partículas não passavam direto pelas folhas, mas ricocheteavam. Rutherford concluiu que o átomo era constituído de um grande espaço vazio e de uma parte densa, que chamou de núcleo, onde essas partículas alfa colidiam. Propôs, assim, seu modelo atômico, conhecido como modelo planetário pela sua semelhança ao Sistema Solar, onde o átomo possui um pequeno núcleo positivo que carrega quase toda a sua massa e que é orbitado pelos elétrons. Porém, o modelo proposto por Rutherford apresentava um problema: a perda de energia sofrida pelos elétrons na emissão de fótons faria com que o elétron se aproximasse, quase que instantaneamente, do núcleo atômico, colidindo com ele (BYNUM, 2015; SEARS, ZEMANSKY E YOUNG, 1985).

Envolto com os estudos da estrutura atômica, próximo a pessoas com quem podia conversar sobre esse assunto e conhecendo os trabalhos de Planck e Einstein sobre os quanta de energia, Bohr começou a trabalhar em uma nova configuração de modelo para o átomo, procurando solucionar a instabilidade presente no modelo de Rutherford e relacionar as frequências das linhas espectrais com os níveis de energia. Para ele, um átomo só poderia existir em um conjunto de estados discretos de energia.

Assim, em 1913, de volta à sua cidade natal, Bohr tornou-se livre docente da Universidade de Copenhague e, nesse período, completou seu trabalho sobre o modelo atômico, postulando que as órbitas dos elétrons possuem níveis de energia quantizados; a energia total de um elétron possui valores múltiplos inteiros de um quantum; o elétron, ao passar de uma órbita de nível superior para uma de nível inferior, emite um fóton de energia igual à diferença de energias entre os níveis; realizando o caminho inverso, o elétron absorve a energia necessária para realizar a mudança de níveis; o momento angular das órbitas é quantizado. Seu modelo atômico descrevia muito bem as séries espectrais do átomo de Hidrogênio e teve grande repercussão na comunidade científica, sendo usada durante anos para a explicação das condições de estabilidade dos átomos (BYNUM, 2015; ROSA, 2004; SEARS, ZEMANSKY E YOUGN, 1985)

Bohr passou, então, a incluir regras de quantização nas equações clássicas. Porém, essas regras iam contra os princípios da física clássica, provocando inconsistências matemáticas em seu modelo atômico. Confiando em seu modelo e, ao mesmo tempo, acreditando que, nos limites dos efeitos quânticos, as previsões clássicas eram válidas, Bohr elaborou o chamado Princípio da Correspondência. Nesse princípio, a descrição mecânica de um experimento só pode ser alcançada quando a ação envolvida é grande em comparação com o quantum. Quando essa condição não

é satisfeita, a relação dos instrumentos de medida sobre o objeto observado não pode ser desconsiderada, o que leva a uma exclusão mútua de informações que constituem uma descrição completa do sistema. Em outras palavras, o princípio afirma a existência de um limite entre a Mecânica Quântica e a Mecânica Clássica, isto é, grandezas quantizadas de grandes valores tendem ao limite clássico (BOHR, 1995; ABDALLA, 2002).

Durante o período de 1917-1918, Bohr elaborou um projeto para a construção de um instituto de pesquisa teórica e experimental em Copenhague. Seu projeto incluía custos para a construção, mobília, instrumentação e manutenção do prédio. Após apreciação do parlamento, o projeto foi aprovado, ficando o estado responsável pela construção e a fundação Carlsberg pelo fornecimento de bolsas anuais para as pesquisas científicas. Foi inicialmente chamado de Instituto de Física Teórica de Copenhague, com inauguração no ano de 1921, tendo o seu nome modificado para Instituto Niels Bohr em 1965 (ABDALLA, 2002).

Em 1924, Bohr já exercia o cargo de diretor do Instituto de Física Teórica de Copenhague quando o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) propôs em sua tese de doutoramento um estudo sobre a dualidade onda-partícula. Para o desenvolvimento da tese, de Broglie baseou-se nos trabalhos de Bohr, Planck e Einstein, tendo acesso a alguns desses trabalhos através de seu irmão, Maurice de Broglie (1875-1960), também físico francês que trabalhava com difração de raios-X e espectroscopia (ABDALLA, 2002).

Trabalhando no laboratório de seu irmão, de Broglie realizou experimentos que auxiliaram, juntamente com um estudo teórico, na elaboração da tese que buscava relacionar o caráter ondulatório e corpuscular da matéria. Partiu da ideia intrinsecamente presente no artigo de Einstein de 1905, citado anteriormente, sobre a possível natureza corpuscular e ondulatória da luz e realizou a associação da propagação de uma onda e o movimento de um corpúsculo (fótons, elétrons entre outros). Assim, ele dizia que a ideia de Einstein deveria ser generalizada para todas as partículas materiais. Aprofundou, também, os estudos sobre os quanta. (ROSA, 2004; ABDALLA, 2002; SEARS, ZEMANSKY E YOUGN, 1985).

A ideia da natureza dual da matéria, assim como qualquer mudança no senso comum, encontrou certa resistência entre os físicos, que demoraram a aceitar esse novo conceito. Experimentos foram realizados para comprovar essa dualidade e obtiveram êxito em seus propósitos, apresentando também uma relação entre o método experimental e o resultado observado (ABDALLA, 2002).

Nesse ínterim, o físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) chegou em Copenhague para uma visita ao Instituto de Física Teórica, recebendo um convite de Bohr para retornar como bolsista. Meses depois, Heisenberg voltou ao Instituto para uma estadia mais prolongada, trabalhando ao lado de Hendrik Kramers (1894-1952) no estudo sobre os fenômenos de espalhamento. Dedicaram-se a tentativas de relações matemáticas corretas para a mecânica quântica a partir de similaridades com fórmulas da teoria clássica (HEISENBERG, 1996).

De volta à Universidade de Göttingen, Heisenberg concentrou-se em obter fórmulas que expressassem as intensidades das linhas espectrais do Hidrogênio, trabalho que o ajudou a focar nas frequências e amplitudes associadas a essas intensidades em substituição das órbitas dos elétrons no átomo, visto que frequência e amplitude são grandezas diretamente observáveis. Afastado da universidade devido a problemas de saúde, trabalhou nas dificuldades matemáticas que o impediam de concluir seu trabalho, obtendo como resultado tabelas de energia, hoje conhecidas como matrizes. Heisenberg mostrou seu trabalho a Wolfgang Pauli (1900-1958), que o incentivou a continuar seus estudos. Assim, juntamente com Max Born (1882-1970) e Pascual Jordan (1902-1980), Heisenberg publica, em 1925, a Mecânica Matricial. (HEISENBERG, 1996).

No ano seguinte, Erwin Schrödinger (1887-1961) apresentou, em uma palestra no Seminário de Munique, sua teoria em relação à Mecânica Quântica. A Mecânica Ondulatória de Schrödinger simplificava a formulação matemática da teoria atômica vigente e, apesar de possuir uma formulação diferente, descrevia as mesmas estruturas da Mecânica Quântica. Em seu aspecto físico, ela eliminava os saltos quânticos, comparando as ondas materiais a processos no espaço e no tempo, como por exemplo as ondas sonoras (HEISENBERG, 1996).

A fim de compreender melhor essa nova interpretação, Bohr convidou Schrödinger para uma breve estadia em sua casa. Foram dias de conversas entre duas mentes com convicções diferentes sobre o mesmo assunto: Bohr e a existência dos saltos quânticos e Schrödinger e as ondas de matéria. Após a visita, ainda defendendo os saltos quânticos, mas reconhecendo a importância da Mecânica Ondulatória, Bohr dedicou-se a estabelecer uma interpretação completa da Mecânica Quântica (HEISENBERG, 1996).

Nesse período, Heisenberg estava em Copenhague, hospedado no último andar do Instituto de Física, o que facilitou suas discussões com Bohr sobre a interpretação física da Mecânica Quântica. Durante as conversas, ficou evidente a divergência de

pensamento entre eles. Heisenberg acreditava que posição e velocidade não podiam ser medidas simultaneamente, enquanto Bohr acreditava na existência simultânea de partículas e ondas. Começavam então a ser estruturados os dois princípios da interpretação que, mais tarde, ficou conhecida como Interpretação de Copenhague (HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

Devido às intensas discussões entre eles e sem conseguir chegar a um consenso, Bohr decidiu viajar para a Noruega. Foi durante as férias de Bohr que Heisenberg, ainda em Copenhague, desenvolveu seu princípio. Ele conseguiu expressar matematicamente as incertezas nas medidas de posição e velocidade das partículas. Em 1927, Heisenberg enuncia o chamado Princípio da Indeterminação onde mostra que o produto das incertezas entre valores de posição e momento não pode ser menor que um *quantum* de ação (HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

Resumidamente, esse princípio mostra a impossibilidade de medir simultaneamente e com precisão a velocidade e a posição de uma partícula, mas que esses valores podem ser obtidos com alto grau de precisão se as medidas forem feitas separadamente e, quanto maior o grau de precisão de uma consequentemente mais incerta se torna a outra.

De volta de sua viagem e tomando conhecimento da publicação do Princípio da Indeterminação, Bohr trabalhou mais a fundo em sua interpretação a fim de conseguir entender o porquê dos fenômenos de natureza atômica serem compreendidos tanto pela Mecânica Ondulatória quanto pela Mecânica Matricial. Chegou à conclusão de que, considerando onda e partícula como naturezas complementares, o elo entre as teorias estaria formado (HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

Nesse mesmo ano, Bohr publicou seu Princípio da Complementaridade, enunciando que o mesmo fenômeno físico pode ser descrito através de formas coexistentes e mutuamente excludentes, ou seja, partícula e onda são naturezas complementares, presentes simultaneamente na matéria, mas não observáveis no mesmo instante. Logo, quando o caráter ondulatório de um fenômeno é observado, automaticamente o caráter corpuscular não é manifestado (HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

A complementaridade pode ser entendida a partir da consideração de que as tentativas de subdivisão dos fenômenos exigem modificações nos arranjos experimentais, o que forneceria diferentes observações a partir das novas interações entre objetos e instrumentos de medida, sobre as quais não existe controle. Essa diversidade de resultados não poderia ser compreendida de forma individual, então,

para ter uma informação mais completa de todo o fenômeno, os dados individuais devem ser considerados complementares (BOHR, 1995).

Depois de concluídos os dois princípios, restava apresentá-los à comunidade física, de modo a convencer seus integrantes a abandonar a física clássica na explicação de fenômenos quânticos e aceitar a ideia de probabilidade, presente na Interpretação de Copenhague. Primeiramente Bohr expôs sua interpretação no Congresso Geral de Física, em Como, Itália, com o intuito de mostrar a complementaridade como uma generalização do conceito de causalidade[4] (BOHR, 1995; HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

Em seguida, apresentou-a no Congresso Solvay, em Bruxelas. Este último contava com a presença de Planck, De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Einstein, entre outros. Nos debates, Einstein expressou sua preocupação quanto ao grau de abandono da causalidade dentro da Mecânica Quântica, visto que não era adepto à visão probabilística dos eventos, e suas críticas em relação às descrições dos fenômenos quânticos serviram como incentivo para um estudo mais detalhado sobre o papel desempenhado pelos instrumentos de medida. (BOHR, 1995; HEISENBERG, 1996; ABDALLA, 2002).

A análise de fenômenos individuais levava à questão sobre como tratar a natureza dos mesmos. A primeira proposta, de Paul Dirac (1902-1984), apresentava o fenômeno observado como uma escolha feita pela natureza. A segunda, proposta por Heisenberg, transferia essa escolha para o observador que construía e manejava os instrumentos de medida, sendo possível que o observador influenciasse nos acontecimentos possíveis durante a observação. Bohr via como alternativa admitir que, ao lidarmos com fenômenos individuais, a escolha e o manejo dos instrumentos de medida permite a observação de apenas um dos diferentes tipos complementares de fenômenos a serem estudados (BOHR, 1995).

A partir da apresentação dos princípios da Interpretação de Copenhague, deu-se início às experiências de pensamento de Einstein, que possuíam como objetivo encontrar inconsistências na teoria apresentada por Bohr. Após alguns desafios lançados, que foram refutados por Bohr, em 1935 Einstein, Boris Podolsky (1896-1966) e Nathan Rosen (1909-1995) publicaram o artigo intitulado *A descrição da realidade física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada completa?*.

[4] Entende-se como causalidade a relação existente entre eventos de causa e efeito. Considerando dois eventos A e B, onde A é a causa e B é o efeito, compreende-se que A define B, sendo B determinado a partir de A.

Einstein, Podolsky e Rosen acreditavam que, para uma teoria ser considerada completa, os elementos de realidade física precisam ter um correspondente na teoria física. Partiram do critério de que se é possível prever com certeza o valor de uma quantidade física, sem perturbar o sistema, a essa quantidade é associado um elemento de realidade. Porém, como eles destacaram no referido artigo, na Mecânica Quântica é demonstrado que, entre duas quantidades físicas A e B, o conhecimento preciso de A compromete o conhecimento preciso de B (EINSTEIN, PODOLSKY E ROSEN, 1935).

Com isso, questionaram que ou (1) a descrição quântica da realidade, que é fornecida pela função de onda, é incompleta, ou (2) quando os operadores de duas quantidades físicas não comutam, essas quantidades não podem possuir realidades simultâneas. Considerando a descrição quântica como completa, analisaram, a partir de uma experiência de pensamento, dois sistemas, I e II, cujos estados antes da interação são conhecidos e cuja soma dos estados é representada por uma função de onda ψ. Após um intervalo de tempo, os sistemas são separados, cortando a interação existente entre eles. Ao realizar medidas de certas quantidades físicas A e B no sistema I, são obtidos dois estados possíveis para o sistema II. Considerando que, durante a medida, os dois sistemas não interagem mais, o sistema II não pode sofrer mudanças reais quando modificamos as quantidades medidas em I. Assim, os dois estados possíveis obtidos anteriormente correspondem à mesma realidade física, no caso o sistema II após a interação (EINSTEIN, PODOLSKY E ROSEN, 1935).

Ao conseguir obter quantidades físicas com realidades simultâneas para um mesmo sistema, sem perturbá-lo, os autores notaram que, o ato de negar (1) leva automaticamente à negação de (2). Essa contradição forçou-os a concluir que descrição quântica da realidade física fornecida pela função de onda não era completa (EINSTEIN, PODOLSKY E ROSEN, 1935).

O artigo de Einstein, Podolsky e Rosen teve grande repercussão entre os físicos e ganhou adeptos ao longo do tempo. Alguns meses depois, Bohr publicou sua resposta com um artigo que recebeu o mesmo título do de seus opositores. Nele, Bohr expôs que era difícil ver como a argumentação apresentada pelos autores poderia afetar uma descrição quântica baseada em um formalismo matemático coerente e procurou mostrar através da complementaridade que essa descrição quântica era completa (BOHR, 1935; BOHR, 1995).

Para ele, a interação que ocorre entre o instrumento experimental e o objeto observado é uma propriedade de qualquer tipo de aparato adequado ao estudo dos fenômenos quânticos, que possuem um aspecto de individualidade estranho à

mecânica clássica. Com isso, Bohr procurou mostrar, através de experimentos mentais, que ao contrário de lidar com uma descrição incompleta que possui como característica a escolha arbitrária do elemento de realidade a ser medido, lidamos com uma opção racional entre procedimentos experimentais diferentes, adequados de acordo com os elementos a serem medidos (BOHR, 1935).

Assim, a renúncia de um dos elementos de realidade depende apenas da impossibilidade de ter um controle preciso da reação do objeto sobre os instrumentos de medida. A partir dessa explicação, Bohr mostrou que o critério de realidade exposto pelos autores continha uma ambiguidade no termo "*without in any way disturbing a system*[5]" (EINSTEIN, PODOLSKY E ROSEN, 1935, p. 777), visto que, mesmo da maneira como foi pensado o experimento dos sistemas afastados, existe em sua essência uma influência sobre as condições que definem os possíveis resultados em relação ao comportamento futuro do sistema, que é inerente a qualquer fenômeno de realidade física (BOHR, 1935).

Bohr concluiu, então, que a argumentação apresentada por Einstein, Podolsky e Rosen não justificou a resposta negativa de que a descrição quântica não era completa. Para ele, essa descrição é caracterizada pela ideia de complementaridade que, junto com as considerações apresentadas anteriormente, forma uma nova maneira de descrever fenômenos físicos (BOHR, 1935).

Para Bohr, os debates com Einstein forneceram uma troca de ideias essencial para o progresso da mecânica quântica, assim como mudanças em sua concepção. Ao longo dos anos, Bohr relacionou as ideias contidas em seu princípio da complementaridade a outras áreas de estudo além da física, como a psicologia, a biologia e a epistemologia, trabalhando nessas relações até o final de sua vida.

5- Aplicações no ensino de Física Quântica

Os textos apresentados nos capítulos 3 e 4 possuem a intenção de ambientar o professor leitor nos dois temas escolhidos para o presente trabalho e têm como objetivo fornecer uma visão da ciência e da arte como processos que estão inseridos em uma sociedade, que modificam e são modificados por seu meio cultural, político, social e

[5] "sem de modo algum perturbar um sistema"

econômico. Procuramos redigi-los, como dito anteriormente, a partir de alguns cuidados expostos por Forato, Pietrocola e Martins (2011), como a seleção do conteúdo histórico, a simplificação e omissão e os supostos benefícios das reconstruções históricas lineares.

Entre os resultados obtidos em nossa pesquisa bibliográfica sobre os tópicos de FMC que mais aparecem nas publicações analisadas e os apresentados no artigo de revisão de Ostermann e Moreira (2000) sobre a área de pesquisa em FMC no Ensino Médio, nota-se que a Teoria da Relatividade é mais explorada que o Princípio da Complementaridade. Vem dessa constatação nosso interesse em trabalhar com a Física Quântica.

A Física Quântica é uma área que abrange diversos subtemas e, a fim de limitarmos nossa pesquisa, procuramos descrever seu desenvolvimento tendo como tema central o Princípio da Complementaridade. Do mesmo modo, percebemos que nas Artes muitos foram os movimentos presentes no período escolhido para este trabalho, assim, nosso foco se voltou para o Movimento Surrealista. A escolha por esse movimento em particular veio da proximidade de datas com o princípio escolhido e da similaridade com a Física Quântica em relação à mudança de concepção de natureza.

A escolha sobre o que considerar como relevante e o que pode ser omitido ou simplificado, para nós é uma escolha que reflete a forma de entendermos o Ensino de Física como um espaço de discussão sobre o papel da Física como parte da cultura. A história do desenvolvimento da Física Quântica nos mostra um arsenal extenso de personagens, de conceitos, experimentos, pensamentos, entre outros elementos. Devido a essa gama de informação, é de extrema importância tomarmos o cuidado de deixar claro nosso objetivo principal e fazer as concessões necessárias para não fugirmos dele.

Ao escrevermos sobre o Princípio da Complementaridade, escolhemos acompanhar o processo de desenvolvimento a partir da biografia de seu enunciador, Niels Bohr. Os estudos realizados por diversos físicos foram apresentados de maneira simplificada, com o intuito de não tornar o texto muito extenso e complexo. Outro cuidado tomado foi o de expor os elementos considerados mais relevantes tanto para a formação acadêmica e profissional de Bohr quanto para a formulação do referenciado princípio.

Para a apresentação do Movimento Surrealista, consideramos importante familiarizar o leitor quanto aos outros movimentos artísticos que o antecederam e que serviram como base para o seu desenvolvimento. Optamos por não enfatizar o texto a

partir de seu criador, André Breton, por este ser do ramo da Literatura e nosso interesse estar nas Artes Plásticas.

Buscamos, em ambos os textos, expor uma não-linearidade dos acontecimentos, procurando apresentar discussões epistemológicas presentes nos temas abordados. O texto do capítulo 3 expõe a oposição de princípios entre diferentes movimentos artísticos, assim como a concomitante existência entre eles. No texto do capítulo 4 vemos as diferentes concepções acerca do mesmo assunto e como essas divergências são importantes para a discussão e o desenvolvimento da área em questão.

Discutiremos nesse momento, de modo mais objetivo, como o contexto cultural vigente no período analisado nos permite criar um elo entre nossos temas de interesse: o Princípio da Complementaridade e o Movimento Surrealista. Acreditamos que essa discussão nos permitirá chegar à resposta de nosso questionamento inicial de como o entendimento do desenvolvimento do Movimento Surrealista e do Princípio da Complementaridade pode contribuir para a construção de um ensino da Física como um processo cultural.

5.1 – Contexto cultural pós 1ª Guerra Mundial

Os dois temas de interesse datam dos anos 20 e iniciaram no continente europeu. Nos anos de seus acontecimentos a Europa ainda sofria as consequências da 1ª Guerra Mundial. Na Alemanha, vigorava a República de Weimar, caracterizada por uma filosofia de vida existencialista e antagônica à racionalidade (FORMAN, 1983).

O espírito de crise pós-guerra que invadia a sociedade alemã começou a ganhar adeptos no campo científico. Os físicos alemães, que próximo ao final da guerra encontravam-se em vantagem acadêmica devido às aplicações tecnológicas de seus estudos, viram o futuro da disciplina ser ameaçado com a derrota alemã. Nas palavras de Forman (1983, p. 9),

> [...] entre os físicos e matemáticos alemães havia, na verdade, uma forte tendência a reformular sua própria ideologia de modo a se tornar congruente aos valores e atmosfera desse ambiente – o repúdio a concepções positivistas com respeito à natureza da ciência, a justificações utilitárias para seus objetivos e, em alguns casos, à própria possibilidade e valor da atividade científica.

Com uma nova teoria quântica sendo desenvolvida e a necessidade de adaptação ao meio intelectual vigente, os físicos passaram a reconhecer uma crise interna na Física, caracterizada pela falha na aplicação da mecânica clássica, colocando em xeque a validade da causalidade (FORMAN, 1983).

Para Einstein (1922, p. 1), a física teórica tem como objetivo "[...] criar um sistema conceitual lógico, que repouse sobre o menor número possível de hipóteses mutuamente independentes, e que nos permita entender causalmente todo o complexo de processos físicos" (apud FORMAN, 1983, p. 55). Essa noção de causalidade era comum aos físicos da época, apesar de possuir interpretações distintas. Para um grupo de físicos, a causalidade nada mais era do que a obediência dos fenômenos naturais a leis exatas. Para o outro grupo, ela era equivalente ao determinismo, ou seja, a ideia de causa e efeito (FORMAN, 1983).

Independente da forma como era entendida, devido a atmosfera de crise do período em questão, qualquer desvio de um determinismo completo era considerado como um abandono do princípio da causalidade (FORMAN, 1983). Vale ressaltar que nem todos os físicos alemães eram adeptos a essa renúncia da causalidade. Como apresentado no capítulo 4, Einstein tinha dificuldades em abrir mão desse princípio e essa atitude pode ser considerada relevante para os debates ocorridos com Bohr.

Essa filosofia de vida existencialista e a presença da crise social foi sentida, também, nas Artes, como mostrado no capítulo 3. O Movimento Dadaísta acaba sendo o mais característico e descritivo na exposição da indignação de certos artistas quanto aos horrores explícitos da guerra. Por negar toda a ideia de arte, ele se mostra como um movimento agressivo e impactante. Essa crise ocorrida no meio artístico abriu espaço para o surgimento do Movimento Surrealista.

A essência do existencialismo pode ser encontrada nos estudos do filósofo dinamarquês Søren Kierkegaard (1813-1855). Sua filosofia de vida retirava o ser humano do papel de pertencente à uma espécie e o colocava com sujeito principal de sua própria existência. Diferente de outros filósofos, como Hegel, que buscavam a verdade através da razão, Kierkegaard dizia que a verdade estava na subjetividade e colocava a vida em contraste com a valorização do racional (JANZEN, HOLANDA, 2012).

Os estudos de Kierkegaard sobre a existência do homem não ficaram restritos à Dinamarca e nem ao século XIX, servindo como base para os estudos de Jean-Paul Sartre (1905-1980) e Martin Heidegger (1889-1976), assim como para as mudanças no

pensamento alemão e francês nos períodos pós-guerra. Colocando em evidência a própria existência do homem, sua filosofia de vida versa sobre a liberdade e a importância da escolha pessoal, o que se assimila ao espírito dinamarquês descrito por Bohr em uma conversa com Heisenberg em 1924,

> Mas preferimos dar mais espaço ao indivíduo, a seus sonhos e projetos, do que permite o modelo prussiano. Só podemos fazer parte de uma comunidade de pessoas livres quando cada uma delas reconhece plenamente os direitos de todas as outras. A liberdade e a independência individual são mais importantes para nós do que a força advinda da disciplina externa [...] (HEISENBERG, 1996, p. 64)

A maneira como Bohr descreve o estilo de vida dinamarquês mostra-nos os princípios sobre os quais sua própria personalidade foi formada. Princípios estes que, anos depois, constituíram as bases da filosofia de vida vigente na Alemanha pós 1ª Guerra Mundial e que atingiu, também, a comunidade artística europeia.

É a partir desse ponto de encontro que começaremos a expor a possibilidade de apresentação do Princípio da Complementaridade como um processo cultural, tendo como ponto norteador a ruptura com as visões deformadas encontradas por Gil Pérez et al. (2001), principalmente a visão socialmente neutra da ciência, a visão individualista e elitista e a visão exclusivamente analítica.

Não temos a intenção de propor uma sequência didática, com divisão de conteúdos por aula e quantidades de aula fixas. Apresentaremos uma proposta de como o conteúdo poderá ser trabalhado nas aulas destinadas a ele, respeitando a autonomia do professor quanto a separação do conteúdo relevante para seu planejamento e a quantidade de aulas necessárias a partir do acompanhamento da turma.

5.2 – Proposta educacional

Como apresentado no capítulo 2, o ensino de Física Moderna e Contemporânea exige um elevado grau de abstração, o que dificulta no entendimento de seus conceitos. Consideramos importante que o aluno do Ensino Médio tenha a oportunidade de conhecer sobre a Física que se iniciou no séc. XX, porém entendemos que o formulismo presente em seu conteúdo é complexo para esse nível de escolaridade.

Como alternativa a esse formulismo, optamos por trabalhar o conteúdo com o viés histórico. Os textos presentes nos capítulos 3 e 4 e na primeira seção do capítulo

5 possuem o objetivo de fornecer um panorama histórico ao professor sobre os assuntos de interesse neste trabalho. Elaboramos, como mostraremos em seguida, uma forma de se trabalhar esse conteúdo em sala de aula. Enfatizamos, mais uma vez, que esta proposta se mostra como uma possível alternativa de abordagem do tema em questão, ficando o professor livre para realizar modificações de acordo com sua necessidade.

De modo a ambientar os alunos em relação à essa abordagem, o professor pode, resumidamente, mostrar a relação entre Ciência e Artes desde a antiguidade, assim como o meio em que esses cientistas e artistas viviam. Em seguida, pode colocá-los a par do que será discutido posteriormente.

O contexto sociocultural do período entre guerras, que condiz ao período em que Bohr enunciou seu princípio, pode ser apresentado aos alunos na parte inicial da aula, dando ênfase à filosofia de vida existencialista que permeava a sociedade europeia. A intenção dessa apresentação é que os alunos compreendam que a Europa passava por uma crise geral, causada pelas perdas sociais, econômicas e territoriais e que essa crise atingiu diversas áreas de conhecimento.

Por serem parte desse contexto, os campos da Ciência e das Artes foram tomados pelo espírito pós-guerra que assolava a Europa. Nesse ponto podemos trabalhar uma das visões citadas anteriormente, relativa à visão socialmente neutra da ciência. No campo das Artes, a crise se deu a partir do momento em que os dadaístas se mostraram completamente avessos às atrocidades cometidas durante a guerra e como, ao final dela, as coisas e as pessoas perderam seu valor e sua utilidade. O Dadaísmo, então, começou a negar todo o conceito de Arte, fazendo com que esta perdesse o prestígio que tinha perante a sociedade.

A Física, que durante a guerra contribuiu nos avanços tecnológicos e representava um campo em ascensão, com o fim da guerra, viu-se como centro de acusações aos olhos da sociedade, fazendo com que os físicos alemães sentissem a necessidade de se adaptarem ao ambiente intelectual vigente. Além disso, os novos fenômenos que eram observados pediam explicações que não estavam ao alcance da Física Clássica, causando uma crise interna na física e fazendo com que um grupo de físicos questionassem o princípio causal.

O professor, então, poderá mostrar aos alunos que essas crises serviram como ponto de partida para novas considerações, tanto na Física como nas Artes. A crise na Física deu margem para mudanças na visão de natureza e os fenômenos quânticos passaram a ser interpretados não de forma causal, mas com caráter probabilístico. Nas Artes, o Surrealismo buscou reerguer o espírito artístico que os dadaístas eliminaram,

apresentando ao público uma nova visão de natureza, ao mesclar o real com o imaginário.

Após a discussão sobre o contexto sociocultural em que essas áreas estavam inseridas, a segunda parte constitui em relacionar o desenvolvimento do Movimento Surrealista com o desenvolvimento do Princípio da Complementaridade, tendo em vista as crises apresentadas acima, trabalhando, assim, a visão exclusivamente analítica ao aproximar diferentes áreas de conhecimento.

O professor poderá questionar os alunos quanto à definição do Surrealismo e expor suas características. Nesse momento, torna-se interessante a apresentação de algumas obras de referência, como as do artista René Magritte descritas anteriormente (Figuras 13 e 14), pois fornecem um aspecto visual à discussão.

Uma conversa sobre o surgimento do movimento e sua relação com o ambiente e as circunstâncias em que se desenvolveu, tendo como base teórica o texto do capítulo 3, pode ser estabelecida entre o professor e a turma. Espera-se que, com o auxílio do professor, os alunos compreendam esse desenvolvimento como um processo cultural.

Depois, o professor poderá retornar à discussão inicial sobre a crise no campo da Física e o surgimento da Física Quântica, dando início ao debate sobre o Princípio da Complementaridade. Nessa parte, o professor pode trabalhar a visão individualista e elitista ao mediar conversas com a turma em relação à visão comumente associada ao cientista e ao processo científico, com o intuito de conhecer a imagem que seus alunos têm sobre o trabalho científico e se ela se assemelha à imagem neutra da Ciência.

Apresenta-se, então, Niels Bohr juntamente com outros personagens e acontecimentos que permearam sua vida acadêmica até a apresentação de seu princípio.

As relações familiares, de amizade e de trabalho exploradas no capítulo 4 são exemplos de socialização que servem para combater a imagem do cientista isolado e mostrar que, antes de qualquer coisa, ele é um ser humano e o contato com outras pessoas o ajudam a evoluir pessoal e profissionalmente. No caso específico de Bohr, notamos que o ambiente familiar em que cresceu contribuiu significativamente em seu desenvolvimento profissional.

As opiniões opostas sobre um assunto, os eventos sociais, os debates e as conversas com outros físicos, também expostas no capítulo 4, são formas de mostrar que o trabalho de um cientista não é individual. Bohr pode ter enunciado seu princípio sozinho, mas reconhece que não chegou até a definição do mesmo sem ajuda de outras pessoas.

O ponto alto no desenvolvimento de seu princípio foi o referente a suas discussões com Einstein, seu grande opositor. Bohr reconhece essa contribuição e, em um artigo redigido para um livro sobre Einstein, diz

> [...] Quer nossos encontros efetivos tenham sido de longa ou curta duração, eles sempre deixaram em minha mente uma impressão profunda e duradoura. Ao redigir este relato, estive, por assim dizer, discutindo com Einstein o tempo todo, mesmo ao examinar temas aparentemente muito distantes dos problemas debatidos em nossos encontros. [...] Confio, entretanto, não ter deixado de transmitir uma impressão adequada do quanto significou, para mim, poder beneficiar-me da inspiração que todos retiramos de qualquer contato com Einstein. (BOHR, 1995, p. 82)

Relatos desse tipo mostram que o conhecimento científico não evolui de forma linear, sem controvérsias e oposições. Debates como os ocorridos entre Bohr e Einstein são substanciais para o desenvolvimento de uma teoria. As conversas ocorridas nos institutos, casas de veraneio e congressos também são relevantes para o entendimento e apresentação de novas ideias, o surgimento de possíveis divergências e o trabalho em grupo para a resolução de impasses.

O professor pode explorar esses relacionamentos no sentido de mostrar aos alunos que a visão de cientista comumente apresentada nas mídias não condiz com o que é relatado em estudos biográficos. Um exemplo a ser trabalhado é o da apresentação do Princípio da Complementaridade à comunidade científica. O professor pode dizer aos alunos que ao apresenta-lo, Bohr não teve como resposta uma aceitação unânime dessa comunidade, houveram físicos, como Einstein, que não aceitaram o Princípio por não conseguir abrir mão da causalidade.

O Princípio da Complementaridade poderá ser apresentado de forma mais objetiva pelo professor e discutido com os alunos, tendo como referência o princípio causal e as mudanças de pensamento de alguns físicos alemães, buscando mostrar aos alunos como as consequências da 1ª Guerra Mundial atingiram, também, o campo científico. Desse modo, o professor voltará ao assunto sobre o novo modo de enxergar a natureza e seus fenômenos.

Espera-se que, ao apresentar como o contexto no qual Bohr estava inserido auxiliou na formulação de seu princípio e tendo em vista todo o conteúdo apresentado anteriormente, os alunos compreendam o desenvolvimento científico como um processo cultural, assim como ocorre com as Artes, visto que os dois temas partiram de crises que permeavam a Europa no período em questão. O professor poderá indagar aos alunos sobre o objetivo dessa apresentação contextualizada do tema e apresenta-la

como uma oportunidade de mostrar uma Física, ou uma Ciência, como parte integrante de uma sociedade.

A escolha da apresentação do desenvolvimento do Movimento Surrealista antes do princípio de Bohr foi proposital, visto que, como exposto no capítulo 2 ao indagarmos sobre o que é cultura, logo somos levados a pensar nas artes e nos costumes de uma população. Com isso, esperamos que, partindo do princípio de que os alunos compreendem os movimentos artísticos como produtos culturais, ao serem apresentados ao desenvolvimento do Movimento Surrealista, percebam intuitivamente esse desenvolvimento como um processo cultural e, ao serem apresentados ao caminho percorrido por Bohr até enunciar a complementaridade, esses alunos consigam fazer a conexão entre os dois, facilitando o entendimento da física também como um processo cultural.

Por fim, o professor poderá, através de algumas obras surrealistas, iniciar debates referentes ao conceito de complementaridade, de representação de elementos não visíveis e discussões sobre as mudanças de visão sobre a natureza.

A obra *The Empire of Light* (Figura 14), por exemplo, nos dá a oportunidade de representar visualmente o conceito de complementaridade. Como foi dito no capítulo 3, essa obra, inicialmente comum, após um olhar mais minucioso revela uma contradição: dia e noite representados no mesmo instante. Nesse momento, o professor pode dialogar com os alunos sobre a ideia de que, sem termos uma noção do significado de dia, a ideia da existência da noite não faria sentido. E é isso que torna dia e noite complementares. Esse diálogo poderá ser estendido para a explicação da complementaridade presente na observação de fenômenos quânticos. Do mesmo modo que não presenciamos dia e noite simultaneamente, não é possível observar o comportamento corpuscular e ondulatório de um fenômeno quântico ao mesmo tempo. O professor pode enfatizar que uma descrição completa desse fenômeno necessita da existência dessas duas naturezas, assim como dia e noite completam nossa concepção temporal.

Outro quadro de René Magritte que poderá ser apresentado aos alunos é o chamado *La clairvoyance* (Figura 15). O quadro mostra um autorretrato de Magritte, onde vemos o artista observando um ovo, que é seu objeto de referência, mas a pintura representada na tela é de um pássaro.



Figura 15 - La Clairvoyance – Magritte (1936)
FONTE: https://www.renemagritte.org/la-clairvoyance.jsp

O professor pode questionar os alunos quanto a cena presente no quadro. O artista não deveria representar em seu quadro o objeto observado? Por que ele não o fez? Aqui, voltamos ao assunto da mudança de concepção da natureza. No Surrealismo, os artistas não ficam presos à representação do mundo como ele é, tendo a liberdade de incluir em suas telas elementos que fogem do senso comum.

Como vemos no quadro acima, o artista explora essa liberdade pintando em sua tela não o objeto observado, mas o que esse objeto representa para ele naquele momento. Um futuro, talvez. Essa nova visão de natureza, onde o real e o imaginário são representados no mesmo plano, é uma característica nesse estilo artístico.

Continuando a discussão, o professor pode levar os alunos a pensar sobre a mudança de concepção da natureza na Física também. A limitação do uso da Mecânica Clássica na explicação de fenômenos quânticos abriu portas para novas formas de interpretá-los, dando origem à Mecânica Quântica. Essa nova visão da natureza, que passou a se mostrar probabilística, pôs em dúvida a aceitação da causalidade, como já foi exposto anteriormente.

Ao pensarmos na causalidade como um processo de causa e efeito, somos levados a concluir que o artista, ao observar o ovo (a causa da pintura), deveria pintá-lo em sua tela (o efeito ou resultado). Porém, o que observamos é que o artista pinta aquilo que deseja, a partir de seu objeto, sendo o resultado da tela desconhecido até que ele

a termine.

Do mesmo modo que no quadro acima o resultado pode não ser o esperado causalmente, na Física Quântica não sabemos os resultados que obteremos até que tenhamos definido qual instrumento de medida será utilizado. Ou seja, não conseguimos definir, a priori, o tipo de natureza que será observada em um fenômeno até que desejemos conhecê-la.

O conteúdo apresentado nesse trabalho pode ser explorado de forma conjunta com professores de Artes e História em aulas especiais, aulas individuais interligadas ou em projetos interdisciplinares. Essa opção permite que o professor de Física que não tiver a segurança didática necessária para abordar os conteúdos de outras disciplinas, ou que não tenha o tempo didático necessário para apresentar todo o conteúdo, ainda tenha a oportunidade de apresentar uma Física contextualizada a seus alunos.

Considerações finais

Para finalizar, retomaremos alguns pontos abordados anteriormente e que consideramos relevantes para um entendimento mais completo de nossas ideias e motivações para este trabalho.

Partimos da escolha de trabalhar uma aproximação entre a Física e as Artes e realizamos uma pesquisa bibliográfica a fim de compreendermos como essa relação tem sido explorada na área de ensino. Nossas análises mostraram que, em sua maioria, os artigos publicados utilizam as diferentes modalidades artísticas como ferramentas auxiliares para a exemplificação de conceitos de Física Moderna e Contemporânea.

Entendendo que essa relação permite uma abordagem mais aprofundada que a mera utilização de uma como ferramenta para o ensino da outra, buscamos uma maneira de trabalhar essas duas áreas de forma mais contextualizada. O objetivo de nosso trabalho passou a ser o de apresentar o desenvolvimento do Princípio da Complementaridade e, consequentemente, da Física Quântica como um processo cultural.

Para atingirmos esse objetivo, buscamos realizar uma aproximação com o

desenvolvimento do Movimento Surrealista a partir do contexto histórico da época em questão. Como foi discutido nos capítulos anteriores, a crise que a Europa passava durante e após a 1ª Guerra Mundial serviu como palco para novas maneiras de olhar o mundo, gerando renovações tanto nas Artes como na Física.

O viés da História e Filosofia da Ciência mostrou-se como um caminho frutífero pelo qual poderíamos trilhar para chegar a resposta de nosso questionamento inicial. Ele permitiu, também, que explorássemos as visões deformadas dos professores de ciências quanto ao trabalho científico, encontradas por Gil Pérez et al. (2001). Consideramos importante que essas visões sejam desconstruídas, se possível durante a formação do professor, para que os mesmos tenham o entendimento necessário para uma mudança no modo como a Física e os cientistas são apresentados aos alunos.

Apesar de não trabalharmos com a construção de narrativas históricas, procuramos seguir as orientações apresentadas por Forato, Pietrocola e Martins (2011), visto que construímos textos com abordagem histórica para serem utilizados como base teórica para professores que buscam métodos alternativos de trabalhar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula.

Por fim, apresentamos uma forma de abordar essa relação em sala de aula. Optamos por não criar uma sequência didática por elas se mostrarem menos propícias a modificações de acordo com os critérios de tempo de aula disponível, nível de entendimento e comprometimento dos alunos e disponibilidade de novas formas de abordagem por parte da instituição. Apresentamos, então, uma proposta de abordagem do tema de forma a permitir que o professor planeje sua aula de acordo com suas necessidades. Acreditamos que com o conteúdo disponibilizado em todo o trabalho, principalmente nos capítulos 3, 4 e 5, o professor tenha o embasamento e o incentivo inicial necessário para apresentar um conceito de Física Quântica de forma contextualizada.

A abordagem a partir do contexto sociocultural do período escolhido nos permitiu um entendimento mais aprofundado do desenvolvimento da Física Quântica, assim como mostrou a relevância das relações existentes entre os cientistas, os debates, as oposições de ideias e os auxílios na busca pela compreensão de novos fenômenos.

Respondendo à nossa pergunta de pesquisa, acreditamos que a aproximação realizada entre o desenvolvimento do Princípio da Complementaridade e o Movimento Surrealista, a partir das crises presentes na Europa pós 1ª Guerra Mundial, nos fornece uma oportunidade de apresentar não só a Física Quântica, mas o campo da Física, ou da Ciência, como um processo cultural.

Esperamos que esse trabalho seja um incentivo para professores atuantes nas redes de ensino, licenciados e licenciandos que procuram novas formas de inovar suas aulas. Que seja, também, uma alternativa para a inclusão de debates sobre FMC sem todo o formalismo matemático complexo que ela exige. E, como sinalizado por Zanetic, que ele atinja a formação de professores (e aqueles já formados) a fim de proporcionar uma mudança na concepção do fazer científico, indo contra as visões deformadas da Ciência.

Referências

ABDALLA, M. C. **Bohr: O arquiteto do átomo**. 1ª Ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2002.

ADES, D. – Dadá e Surrealismo. In: **Conceitos da arte moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

ALCANTARA, M. C.; BRAGA, M.; COSTA, M. F. S. Espelhos, lentes e pintura: Uma proposta de atividade baseada na obra de David Hockney. **Física na Escola**, v. 15, n. 1, 2017.

ANDRADE, R. R. D. de; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da Física moderna na obra de Salvador Dalí. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3: p. 400-423, dez. 2007.

ANDRADE, R. R. D. de; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da teoria da relatividade na obra de Salvador Dalí. In: **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, RJ – de 24 a 28 de janeiro 2005.

ARGAN, G. C. **Arte Moderna**. 8ª Reimp. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

BARBOSA-LIMA, M. C.; QUEIROZ, G.; SANTIAGO, R. Ciência e arte: Vermeer, Huygens e Leeuwenhoek. **Física na Escola**, v. 8, n. 2, 2007.

BARJA, P. R. Poesia e física: multiplicando a beleza das coisas. In: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo, SP – de 21 a 25 de janeiro de 2013.

BOHR, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?. Physical Review, vol. 48, p. 696-702. October, 1935.

BOHR, N. **Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957**. 6ª Reimp. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BRETON, A. **Manifesto do Surrealismo**. Disponível em: http://www.culturabrasil.org/breton.htm . Acesso em: 07/01/2019

BYNUM, W. **Uma breve história da ciência**. Porto Alegre, RS: L&PM, 2015.

CACHAPUZ, A. F. Arte e Ciência no ensino das ciências. **Interacções** NO. 31, PP. 95-106, 2014.

CARUSO, F.; FREITAS, N. de. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2: p. 355-366, ago. 2009.

CARVALHO, S. H. M. de; ZANETIC, J. Ciência e Arte, Razão e Imaginação: um projeto de ensino de física moderna para alunos do ensino médio. In: **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, RJ – de 24 a 28 de janeiro 2005.

COSTA, C. F. O que é 'arte'? **Artefilosofia**, n. 6: p. 194 – 199, 2009.

CULTURA. Dicionário online Michaelis. Disponível em <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/cultura/>. Acesso em 13 de Agosto de 2018.

EICHLER, T. Z. N.; EICHLER, M. L. A rede social Pinterest e a curadoria na educação científica: O exemplo do surrealismo de Dalí. In: **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017.

EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?. Physical Review, vol. 47, p. 777-780. May, 1935.

FERNANDES, R. F. A. M.; PIRES, F. F.; FORATO, T. C. M.; SILVA, J. A. da. Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 509-529, ago. 2017.

FORATO, T. C. de M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. de A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1: p. 27 – 59, 2011.

GALILI, I. On the Power of Fine Arts Pictorial Imagery in Science Education. Science & Education, 2013, v. 22, p. 1911–1938. DOI 10.1007/s11191-013-9593-6.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2002. 176 p.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 2: p. 125 – 153, 2001.

GOLDING, J. Cubismo. In: **Conceitos da arte moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

GOMBRICH, E. H. **A história da arte**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GOMES, E. F.; PIASSI, L. P. C. Ciência, mídia e educação: possíveis confluências no ensino de física. In: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia, MG – de 26 a 30 de janeiro de 2015.

GOMES, E. F.; PIASSI, L. P.; FERNANDES, J. Perspectivas socioculturais no uso da canção no ensino de física: utilizando o rock para debater questões inerentes às missões espaciais e aos paradoxos temporais. In: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo, SP – de 21 a 25 de janeiro de 2013.

GOMES, T. C.; GIORGI, C. A. G. Di; RABONI, P. C. A. Física e pintura: dimensões de uma relação e suas potencialidades no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, 4402 (2011).

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3: p. 568 – 583, 2010.

HEISENBERG, W. **A parte e o todo: Encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política**. 2ª Reimp. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HOBSBAWM, E. **A Era dos Impérios**, 1875-1914. 23ª ed. Rio de Janeiro/São Paulo: Paz e Terra, 2017.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in SchoolScience Education is a Challenge: An Analysisof Obstacles. Science& Education, 2011, v. 20, p. 293–316. DOI 10.1007/s11191-010-9285-4

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. Science & Education, v. 20: p. 591 – 607, 2011.

KLEPNNER, D. Relendo Einstein sobre radiação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 87 - 91, 2004.

LOPEZ FERRADO, M. La obsesión de Salvador Dalí por la ciência. **História,**

Ciências, Saúde Manguinhos, v. 13 (suplemento), p. 125-31, octubre 2006.

LYNTON, N. – Expressionismo. In: **Conceitos da arte moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

MACHADO, D.I.; NARDI, R. Avaliação do ensino e aprendizagem de física moderna e contemporânea no ensino médio. In: **IV Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências.** Apresentado na II JORNADA CIENTÍFICA DA UNIOESTE, realizada de 11 a 13 de junho de 2003 em Toledo – PR.

MANGILI, A.I. Heinrich Rudolph Hertz e a "descoberta" do efeito fotoelétrico: Um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**. Volume 6, 2012 – pp. 32-48.

MARTINS, L. AC. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência e Educação**, v. 11, n. 2: p. 305 – 317, 2005.

MARTINS, R. de A. O que é a ciência, do ponto de vista da epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa**, n. 9: p. 5 – 20, 1999.

MENEZES, A. M. S.; MORAES, A. G. Física e Literatura: intersecções possíveis em sala de aula. In: **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Vitória, ES – de 26 a 30 de janeiro de 2009.

Metropolitan Museum of Art - https://www.metmuseum.org/art/collection/search/296273 . Acesso em: 16/01/2019

MILLER, A. I. Einstein e Picasso: mera coincidência? **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 13 (suplemento), p. 223-31, outubro 2006.

MONTEIRO, M.A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J.B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. In NARDI, R. org. **Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual a sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1: p. 32 – 46, 2014.

NORY, R. M.; ZANETIC, J. O teatro e a física: a cena que não entra em sala. In: **XVI**

Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro, RJ – de 24 a 28 de janeiro 2005.

NUNES, A. L.; TEIXEIRA, G. A. Ciência e Arte: Razão e Sensibilidade. In: **XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Luís, MA – de 29 de janeiro a 02 de fevereiro de 2007.

OLIVEIRA, F. F. de; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R.S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, L. M.; GOMES, M. L. A. Einstein e a Relatividade entram em cena: diálogos sobre o teatro na escola e um ensino de Física criativo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 943-961, dez. 2016.

OLIVEIRA, L. M. Estabelecendo o diálogo entre as duas culturas: imaginação e criatividade aliadas ao ensino de física. In: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia, MG – de 26 a 30 de janeiro de 2015.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5 (1), p. 23-48, 2000.

OSTROWER, F. **A sensibilidade do intelecto**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1: p. 7-34, abr. 1999.

PRAIA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência e Educação**, v.13, n. 2: p. 141 – 156, 2007.

QUINTAL, J. R.; GUERRA, A. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1: p. 21 – 25, 2009.

RAMOS, J. E. F.; PIASSI, L. P. O insólito e a física moderna: interfaces didáticas do conto fantástico. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 23, n. 1, p. 163-180, 2017.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Ciência e arte: relações improváveis? **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 13, (suplemento): p. 71 – 87, 2006.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2: p. 251 – 266, 2007.

ROSA, P.S. Louis de Broglie e as ondas de matéria. Dissertação de mestrado do Instituto de Física “Gleb Wataghin” da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

ROSSI, P. Coisas jamais vistas. In: ROSSI, P. **O nascimento da Ciência Moderna na Europa**. São Paulo: EDUSC, 2001.

SANDANELLO, F. B. A filosofia do impressionismo. Anais do seminário dos estudantes de pós-graduação em filosofia da UFSCar, 2014. 10ª edição. Disponível em: http://www.ufscar.br/~semppgfil/wp-content/uploads/2012/05/17-Franco-Baptista-Sandanello.pdf. Acesso em: 02/11/2018.

SANTOS, G. L.; TEIXEIRA, R. R. P. Ciência, cinema e macacos. In: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo, SP – de 21 a 25 de janeiro de 2013.

SANTOS, V. M. G. M. O efeito do Estranho na obra de Salvador Dalí. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Psicanálise da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2010.

SEARS, F.; ZEMANSKY. M.W.; YOUNG, H.D. **Física: eletricidade e magnetismo**. Volume 4. 2º edição. Rio de Janeiro: LTC: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura**. São Paulo: Edusp, 1995. 128 p.

SOUSA, G. O diálogo das transformações sociais com a matemática no século XIX. **Revista Educação em Questão**, v. 35, n. 21, 15 ago. 2009.

SOUZA, A. R. de; NEVES, L. A. S. O livro paradidático no ensino de Física – uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016.

STANGOS, N. Prefácio. In: **Conceitos da arte moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

VISENTINI, P. F.; PEREIRA, A. D. **História Mundial Contemporânea (1776 – 1991): Da Independência dos Estados Unidos ao colapso da União Soviética**. 3ª ed. Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília, 2012. Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/1005-Manual_do_Candidato_-

_Historia_Mundial_Contemporanea_1776-1991.pdf - Acesso em: 12/11/2018

WHITFIELD, S. Fauvismo. In: **Conceitos da arte moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

WITTGENSTEIN, L. **Investigações Filosóficas**. São Paulo: Nova Cultural, 1999.

ZANETIC, J. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, v. 17, n. 1 (49), 2006.

ZANETIC, J. Física também é cultura. Tese (Doutorado em educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.