PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE EDUCAÇÃO E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO – PPGE

MARGARETE WINKLER MARQUES MACHADO

OLHARES DOS PROFESSORES DE LICENCIATURA EM FÍSICA: CAMINHOS PARA UMA PRÁTICA PEDAGÓGICA APOIADA NO PARADIGMA DA COMPLEXIDADE

CURITIBA
2015

MARGARETE WINKLER MARQUES MACHADO

OLHARES DOS PROFESSORES DE LICENCIATURA EM FÍSICA: CAMINHOS PARA UMA PRÁTICA PEDAGÓGICA APOIADA NO PARADIGMA DA COMPLEXIDADE

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial a conclusão do Mestrado em Educação.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Marilda Aparecida Behrens.

CURITIBA

2015

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central

M149o
2015

Machado, Margarete Winkler Marques
Olhares dos professores de licenciatura em física : caminhos para uma prática pedagógica apoiada no paradigma da complexidade / Margarete Winkler Marques Machado ; orientadora, Marilda Aparecida Behrens. – 2015.
141 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015
Bibliografia: f. 130-136

1. Física – Estudo e ensino. 2. Complexidade (Filosofia). 3. Professores de física. 4. Ensino superior. I. Behrens, Marilda Aparecida. II. Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Educação. III. Título.

CDD 20. ed. – 378

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Escola de Educação e Humanidades
Programa de Pós-Graduação em Educação

PUCPR
GRUPO MARISTA

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DISSERTAÇÃO N.º 770
DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

Margarete Winkler Marques Machado

Aos dois dias do mês de dezembro do ano de dois mil e quinze, reuniu-se na Sala de Defesa da Escola de Educação e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, a Banca Examinadora constituída pelas professoras: Prof.ª Dr.ª Marilda Aparecida Behrens, Prof.ª Dr.ª Ivanilda Higa e Prof.ª Dr.ª Patrícia Lupion Torres para examinar a Dissertação da candidata **Margarete Winkler Marques Machado**, ano de ingresso 2014, do Programa de Pós-Graduação em Educação, Linha de Pesquisa Teoria e Prática Pedagógica na Formação de Professores. A mestranda apresentou a dissertação intitulada "OLHARES DOS PROFESSORES DE LICENCIATURA EM FÍSICA: CAMINHOS PARA UMA PRÁTICA PEDAGÓGICA APOIADA NO PARADIGMA DA COMPLEXIDADE", que, após a defesa foi aprovada pela Banca Examinadora. A sessão encerrou-se às 16h. Para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Observações: A banca ressalta a qualidade da dissertação e recomenda a publicação.

Presidente:
Prof.ª Dr.ª Marilda Aparecida Behrens

Convidado Externo:
Prof.ª Dr.ª Ivanilda Higa

Convidado Interno:
Prof.ª Dr.ª Patrícia Lupion Torres

Prof.ª Dr.ª Patrícia Lupion Torres
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação
Stricto Sensu

Dedico esse trabalho a minha mãe Helena exemplo de fé e persistência e a minha querida filha Julia, presente de Deus pra mim, a quem desejo que a vontade de aprender só aumente.

AGRADECIMENTOS

Imensa gratidão a Deus por me permitir viver esse momento e por ter me cercado de pessoas especiais que me ajudaram a chegar aqui. A minha amada mãe Helena que sempre fez o possível e o impossível para me ver crescer espiritualmente, profissionalmente e pessoalmente. Ao meu marido Edgard pelo apoio, paciência e por entender minha ausência. A minha filha Julia por encher meu coração de amor e de vontade de ser uma pessoa melhor. A minha querida irmã Tatiane pela imensa ajuda em vários momentos da realização desta pesquisa e nos cuidados com a minha filha na minha ausência. Ao meu irmão Valmir que mesmo longe contribuiu neste trabalho. Ao meu pai João que torce muito por mim. A amiga Bertila que além de sempre me incentivar, dispôs do seu bem mais precioso, seu tempo, para colaborar neste trabalho.

A querida professora Dr.ª Marilda Aparecida Behrens que me acolheu e amorosamente me orientou nesta jornada. Tenho imensa gratidão pelos seus ensinamentos, pela sua inspiração e dedicação.

A professora Dr.ª Elizete Lucia de Matos (*in memoriam*) que me contagiou com a sua alegria e entusiasmo por uma educação inovadora e cheia de significado!

As professoras Dr.ª Ivanilda Higa e Dr.ª Patrícia Lupion Torres pelas valiosas orientações na banca de qualificação.

Aos colegas Lívia, Daniele, Cineide, Jacques, Barbara, Fernanda e todos os colegas do PEFOP, mestrandos e doutorandos com quem compartilhei momentos de construção do conhecimento.

Aos colegas de trabalho da PUCPR, Marcelo, Rodrigo, Luiz e em especial a amiga Gezelda que me incentivou a cursar disciplinas do mestrado e pelo apoio durante a realização deste trabalho, ao colega Guilherme pela preciosa ajuda durante a pesquisa e a Mara por compartilhar as dificuldades e alegrias de ser pesquisador.

Aos professores que gentilmente aceitaram participar desta pesquisa.

Em minha mensagem às futuras gerações, gostaria de propor argumentos com o objetivo de lutar contra os sentimentos de resignação ou impotência. As recentes ciências da complexidade negam o determinismo; insistem na criatividade em todos os níveis da natureza. O futuro não é dado. [...] O mundo está em construção, e todos podemos participar dela.

Ilya Prigogine

RESUMO

Nesta dissertação são apresentados os resultados de uma investigação realizada com professores formadores do curso de licenciatura em Física de uma Universidade de Curitiba. É visível que as mudanças pelas quais tem passado a sociedade exigem uma mudança do paradigma conservador para o paradigma inovador, mas nem sempre o professor está preparado para essa transformação. Optou-se por investigar: Como se caracteriza a concepção pedagógica dos professores que atuam nos cursos de licenciatura em Física, e qual o conhecimento dos docentes a respeito da visão inovadora do paradigma da complexidade com os possíveis desdobramentos? O objetivo da pesquisa foi analisar, sob a ótica dos professores sobre o paradigma da complexidade, as concepções que caracterizam a Física e o ensino da Física, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis implicações na prática pedagógica. A investigação encontra-se relacionada com a linha de pesquisa Teoria e Prática Pedagógica na formação de professores e com as pesquisas do grupo Paradigmas educacionais e formação de professores (PEFOP) do programa de Pós-graduação em Educação da PUCPR. A fundamentação teórica deste trabalho orientou-se por Heisenberg (1999), Capra (1996, 1997) e Prigogine (2002) na discussão sobre o histórico dos paradigmas da ciência; Morin (2000, 2005, 2007, 2011), Moraes (2008, 2012), Behrens (2007, 2011, 2012), Santos (1987) e Nicolescu (1999) na discussão sobre paradigmas da educação e da complexidade; e Zabalza (2004), Pimenta e Anastasiou (2002), Behrens (2008), Carvalho e Peréz (2009), Freire (1987), Camargo e Nardi (2008) e Moreira (2000) na discussão sobre a docência no ensino superior e as práticas pedagógicas no ensino de Física. A pesquisa foi qualitativa do tipo estudo de caso e a coleta de dados foi feita por meio de entrevistas episódicas, sendo que na análise de conteúdo foi utilizada a autora Bardin (2000). A análise dos resultados foi realizada tomando-se como base quatro categorias: Iniciação na vida acadêmica e trajetória profissional; Concepção pedagógica no ensino de Física; Física quântica, natureza e o paradigma da complexidade e o Paradigma da complexidade e sua influência em metodologias inovadoras. Os resultados apontaram que os professores ainda mantêm, em sua grande maioria, práticas pedagógicas conservadoras, com algumas iniciativas isoladas que caracterizam ações voltadas para o pensamento complexo, entretanto de forma geral os docentes ainda não acolhem a complexidade na sua prática. A grande maioria acredita que a Física contemporânea produz mudanças significativas na maneira de observar a realidade, não acreditando apenas numa dimensão teórica dos conceitos. Porém, essa concepção de ciência evoluída não se relaciona com a concepção pedagógica do docente que continua conservadora.

Palavras-chave: Paradigma da Complexidade. Ensino de Física. Prática pedagógica. Ensino superior.

ABSTRACT

This dissertation presents the results of an investigation carried out with lecturers teaching in a Physics University course in Curitiba, Brazil. It is clear that the changes in society require a change in the education paradigm; however the lecturer not always is ready for this change. We have chosen to investigate the following research issue: How to characterize the pedagogical framing of lecturers teaching in Physics university courses, and which knowledge do they have regarding the innovative view of the complexity paradigm and its developments? The research aimed at analyzing, utilizing the complexity paradigm, the views that underpin the Physics and the Physics teaching, starting with the lecturers impressions about the complexity paradigm, the relations between Physics and the complex thinking, and the possible implications in the pedagogical practice. The investigations is related to a line of research Pedagogical and Theory and Pratice on Teacher Education and with studies of the group Educational Paradigms and Teacher Training (PEFOP) from the Education Graduate program of PUC-PR. The theoretical foundations for this research is based on Heisenberg (1999), Capra (1996, 1997) and Prigogine (2002), in the discussion about the history of paradigms in science; Morin (2000, 2005, 2007, 2011), Moraes (2008, 2012), Behrens (2007, 2011, 2012), Santos (1987) and Nicolescu (1999), in the discussion about education paradigms and complexity; and Zabalza (2004), Pimenta and Anastasiou (2002), Behrens (2008), Carvalho and Peréz (2009), Freire (1987), Camargo and Nardi (2008) and Moreira (2000), in the discussion about university teaching, the pedagogical practices in Physics teaching, and innovative approaches anchored in complexity. The research method was qualitative, case study type, and the data was collected through interviews. The data analysis was executed applying Bardin (2000). The data analysis considered four categories: Professional career and introduction in academic life; Pedagogical framing in the Physics teaching; Quantum Physics, nature and the complexity paradigm; and the complexity paradigm and its influence in innovative approaches. The results indicate that the lecturers still keep, in a large majority, conservative pedagogical practices, with some isolated initiatives characterizing actions towards the complex thinking. The research indicates that, in general, the lecturers do not embrace complexity yet. The vast majority believes that contemporary Physics produces considerable change in the way to observer reality, distrusting a single theoretical dimension of concepts. However, this developed perception of science is not correlated with the lecturers' pedagogical framing, which continues to be conservative.

Key words: Complexity Paradigm. Physics Teaching. Pedagogical Practice. Undergraduate Teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Desenvolvimento e mudança de paradigmas.....	43
Figura 2 -	Diagrama que ilustra o método IpC.....	81
Figura 3 -	Exemplos do cartão e do *clickers*.....	82
Quadro 1 -	Comparação entre a lógica clássica e a lógica do terceiro termo incluído.....	55
Quadro 2 -	As crenças dos professores.....	61
Quadro 3 -	Pontos abordados pelos estudantes de licenciatura em Física.....	63
Quadro 4 -	Características do "saber avaliar".....	66
Quadro 5 -	Problematização no ensino de Física.....	74
Quadro 6 -	Professores participantes da pesquisa.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LDBEN	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
IES	Instituições de Ensino Superior
DCCF	Diretrizes Curriculares para a os Cursos de Física
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
IpC	Instrução pelos Colegas
PBL	*Problem Based Learning* (Aprendizagem baseada em problemas)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 JUSTIFICATIVA 15
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO 17
1.3 OBJETIVOS 17
1.3.1 Objetivo geral 17
1.3.2 Objetivos específicos 17
1.4 METODOLOGIA 18
2 PARADIGMAS HISTÓRICOS DA CIÊNCIA 20
2.1 IDADE ANTIGA 20
2.2 IDADE MÉDIA 22
2.3 A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA 22
2.3.1 A experimentação de Galileu Galilei e Francis Bacon 23
2.3.2 O reducionismo de Descartes 25
2.3.3 O mecanicismo de Newton 28
2.4 FÍSICA CONTEMPORÂNEA 32
2.4.1 Estruturas Dissipativas 37
3 PARADIGMAS DA EDUCAÇÃO 41
3.1 O PARADIGMA NEWTONIANO-CARTESIANO 44
3.2 O PARADIGMA DA COMPLEXIDADE 45
3.3 TRANSDISCIPLINARIDADE 54
4 FORMAÇÃO DOCENTE NO ENSINO SUPERIOR 57
4.1 FORMAÇÃO INICIAL 58
4.2 PRÁTICA PEDAGÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA 60
4.3 TENDÊNCIAS DA FORMAÇÃO DOS DOCENTES DE FÍSICA 68
4.3.1 Abordagens inovadoras no ensino de Física 70
5 CAMINHOS DA PESQUISA: METODOLOGIA E INSTRUMENTOS 85
5.1 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS 89
5.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS 89
5.3 ANÁLISE DOS DADOS 91
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 124

REFERÊNCIAS 130
APÊNDICE A 137
APÊNDICE B..... 139
APÊNDICE C 141

1 INTRODUÇÃO

A ideia desta pesquisa nasceu quando, ao cursar a disciplina de paradigmas educacionais no programa de pós-graduação da PUCPR, tive contato com o paradigma da complexidade e deparei-me com o fato de a Física contemporânea ser um referencial epistemológico do paradigma da complexidade. O tema sobre Complexidade nunca foi abordado no curso de Licenciatura em Física que cursei, apesar da sua importância para uma visão de educação e de mundo mais humanizadora. Como professora da disciplina de Física atuante no ensino médio com alunos pré-vestibulandos e agregando a recente experiência no atendimento de alunos da educação superior, constatei que esses estudantes encontram grandes dificuldades nesta área de conhecimento ao ingressarem na universidade, como se nunca tivessem estudado Física na vida. Por isso, optei por investigar essa temática desafiadora que é a necessidade da utilização de novas abordagens para um ensino mais significativo, criativo, apoiado no paradigma da complexidade. A experiência vivenciada como aluna da disciplina de paradigmas educacionais me permitiu refletir a respeito do modo como o ensino e as práticas pedagógicas comumente ocorrem nos cursos de formação e assim perceber que o conhecimento do docente a respeito do paradigma da complexidade gera reflexão a respeito da prática pedagógica e pode facilitar a aceitação da necessidade de mudanças nas nessas práticas, visto que muitos docentes são tradicionais repetindo o ensino conservador que tiveram quando estudantes. A visão do ensino e da aprendizagem sob a óptica da complexidade é enriquecedora dado que o estudante torna-se protagonista da sua produção do conhecimento e não mero espectador.

O ensino de ciências e, em especial, o ensino de Física têm enfrentado grandes desafios. A disciplina de Física geralmente amedronta alunos do ensino médio que a acham muito difícil, dada a dificuldade de interpretar conceitos físicos associados a resoluções matemáticas, pois aplicação de conceitos em resoluções de exercícios padronizados ainda é a principal prática pedagógica no ensino de Física. No entanto, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN) orientam para um ensino interdisciplinar que busque um conhecimento que seja útil para a vida do estudante. Soma-se a essa prática a complexidade da sala de aula, a falta de docentes com formação adequada, uma vez que a profissão não é atrativa e muitos licenciandos optam pelo caminho da pesquisa em Física, não assumindo a sala de aula. Também é motivo de preocupação a qualidade dos cursos de formação de professores na Licenciatura em Física e o fato dos estudantes que procuram os cursos de Licenciatura geralmente são os que tinham mais dificuldade no ensino básico, fato relatado no

relatório da pesquisa realizada pela Fundação Carlos Chagas sobre a Atratividade da Carreira Docente no Brasil:

> E, o perfil sócio-econômico de quem escolhe o magistério mudou nos últimos anos, sendo a maioria pertencente a famílias das classes C e D. Além disso, pelos resultados consolidados nas análises do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM - INEP/MEC, 2008) são alunos que têm dificuldades com a língua, com a leitura, escrita e compreensão de texto, a maioria proveniente dos sistemas públicos de ensino, que tem apresentado nas diferentes avaliações um baixo desempenho. Em resumo, trata-se de alunos que tiveram dificuldades de diferentes ordens para chegar ao ensino superior (FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS, 2009, p. 14).

Entre os pontos citados no relatório que afastam os profissionais da carreira docente estão a massificação do ensino, os baixos salários, a precarização do trabalho docente, a violência escolar, destacando-se o fato de o trabalho do professor estar cada vez mais complexo, pois a sociedade espera mais do que a escola tem conseguido produzir.

Assim, percebemos que as mudanças que ocorrem na sociedade e no mundo trazem junto delas a necessidade de rever as práticas pedagógicas vigentes. O mundo globalizado, no qual a tecnologia tem tomado cada vez mais espaço, dissemina a informação de modo que o professor não é mais o centralizador dela. Esse fato contribui para a redução do espaço de práticas pedagógicas focadas em um paradigma conservador, da qual são pilares a memorização, a reprodução e a fragmentação do conhecimento.

O conhecimento na sociedade e sua organização desenvolveram-se e mantiveram-se até hoje por meio do estudo fragmentado das diversas áreas do conhecimento. Esse desenvolvimento foi fortemente marcado pelo paradigma cartesiano-newtoniano, também chamado de paradigma conservador, que promove a fracionamento do conhecimento, a divisão em especialidades, a dicotomia entre corpo e mente. Essa especialização de saberes teve origem no mecanicismo cartesiano, o qual tem uma visão do mundo como máquina. Grandes pensadores do século XVI e XVII, como Galileu, Newton e Copérnico, promoveram mudanças revolucionárias na física e astronomia. Segundo Moraes (2012, p.34), "[...] Galileu Galilei introduziu a descrição matemática da natureza e a abordagem empírica como características predominantes do pensamento científico do século XVII que sobreviveram como critérios importantes das teorias científicas atuais." No entanto, novas descobertas físicas no início do século XX, como a física quântica e a teoria da relatividade vieram desafiar esse paradigma conservador. As regras absolutas de Newton não eram compatíveis com movimentos próximos da velocidade da luz. No mundo quântico não foi diferente, as descobertas levaram à conclusão que a maneira como se observa um fenômeno influencia no

resultado obtido, deixando para trás a linearidade determinística de causa e efeito proposta pelo paradigma cartesiano.

Nesse terreno fértil, nasceu o pensamento a respeito de um paradigma inovador. Os novos conceitos da Física afloraram uma profunda mudança na maneira de ver o mundo, dando espaço para uma nova visão holística e complexa dos fenômenos, levando à concepção de um novo paradigma: o paradigma da complexidade. Para Behrens (2011), no paradigma da complexidade, o universo é caracterizado por um mundo vivo, composto por redes de relações conectadas, situadas em sistemas dentro de outros sistemas. Assim, o mundo é concebido em termos de conexão, inter-relações e teias em constante processo de mudança e transformação.

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar desta nova concepção dos sistemas, a formação inicial de professores de Física ainda permanece baseada em paradigmas conservadores. Fourez (2003) acrescenta que o currículo está mais centrado na perspectiva de fazer dos professores técnicos de ciências do que de fazê-los educadores em ciências. Como consequência, os futuros professores chegam ao final do curso com práticas pedagógicas que enfatizam mais os conteúdos que as conexões que existem entre as diversas áreas do conhecimento. Nas disciplinas científicas voltadas para a formação de professores, ocorre um isolamento entre observador e o universo observado para que não haja interferência no "sistema". Assim, as discussões sobre ciência e tecnologia como construções humanas acabam ficando superficiais (SANTOS, 2005).

A Física tem forte influência na concepção de mundo e de ciência. Tanto no paradigma conservador newtoniano-cartesiano como no paradigma inovador da complexidade seu papel é fundamental. É imprescindível que os professores que estão sendo formados nos cursos de licenciatura em Física tenham a consciência desta mudança de paradigma e das suas causas e estejam preparados para serem educadores em ciência e não apenas informadores de conteúdo.

Uma das grandes dificuldades encontradas para uma mudança de práticas pedagógicas que estimulem um ensino mais significativo é a visão tradicional do ensino. Os cursos de licenciatura não têm preparado seus estudantes para uma visão sistêmica do ensino e da sociedade. Libâneo (1999) acrescenta que geralmente os cursos de licenciatura ou não incluem a análise das correntes pedagógicas em seus conteúdos ou focam em teorias da aprendizagem que quase nunca representam situações concretas de sala de aula. Poucos são os docentes que têm oportunidade de fazer cursos de pós-graduação, nos quais tenham contato

com os paradigmas inovadores da educação. A maioria dos docentes tem como exemplo de prática pedagógica aquela que seus professores tinham quando estes eram alunos. Nesse sentido, Libâneo (1999, p. 19) complementa: "[...] uma boa parte dos professores, provavelmente a maioria, baseia sua prática em prescrições pedagógicas que viraram senso comum, incorporadas quando da sua passagem pela escola ou transmitidas pelos colegas mais velhos". Assim, criar meios de transformar a educação na sua base, que é a formação de professores, é imprescindível e urgente.

A disciplina de Física tem sofrido muitas críticas por não ser capaz de ensinar o mundo cotidiano aos estudantes, sendo que as idealizações, simplificações e restrições tornam o conhecimento impotente para ser usado fora da escola (PIETROCOLA, ALVES FILHO e PINHEIRO, 2003). Encontra-se nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do ensino médio de Ciências menção à necessidade de abordagens interdisciplinares no ensino de ciências. É necessário desenvolver nos estudantes uma compreensão do mundo atual, um desenvolvimento de conhecimentos práticos e contextualizados, como é citado nos PCN:

> [...] desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico. (BRASIL, 1999, p.6)

Os currículos dos cursos de graduação de Física favorecem a manutenção do ensino da Física nos moldes tradicionais das disciplinas. O peso de uma tradição disciplinar, historicamente constituída, se firma fortemente nos currículos dos cursos universitários. Assim, temos indícios dos motivos de o porquê das dificuldades de o professor trabalhar com metodologias ou técnicas interdisciplinares. Um dos principais motivos é a formação disciplinar dos professores. A tradição disciplinar, se não impede, dificulta a mobilidade dos cursos de licenciatura para além dos limites traçados pela disciplina (PIETROCOLA, ALVES FILHO e PINHEIRO, 2003).

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Os professores formadores atuais, em geral, quase não receberam na sua formação orientações de dimensões epistemológicas, históricas, políticas e sociais (FOUREZ, 2003). A orientação é mais técnica, visto que sua formação, em geral, provém do paradigma conservador. Neste contexto, procurou-se investigar: **Como se caracteriza a concepção pedagógica dos professores que atuam nos cursos de licenciatura em Física, e qual o conhecimento dos docentes a respeito da visão inovadora do paradigma da complexidade e seus desdobramentos?**

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar, à luz do paradigma da complexidade, as concepções que caracterizam a Física e o ensino da Física, sob a ótica dos professores sobre o paradigma da complexidade, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis implicações na prática pedagógica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Pesquisar as concepções que caracterizam o ensino da física junto aos docentes participantes.
- Investigar o posicionamento dos professores que atuam na licenciatura de Física sobre os paradigmas inovadores na formação dos profissionais.
- Buscar as contribuições dos professores que atuam na licenciatura de Física sobre metodologias inovadoras ancoradas no paradigma da complexidade.
- Caracterizar as ações docentes que sustentam a formação dos licenciandos em Física sobre o pensamento complexo e a influência na atuação deste profissional.
- Traçar um cenário com os eixos norteadores para a ação docente no paradigma da complexidade que apoia a formação dos futuros docente de Física em uma visão complexa.

1.4 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida foi uma abordagem qualitativa do tipo pesquisa-estudo de caso. A pesquisa qualitativa se mostrou adequada a nossa problematização visto que ela é um tipo de pesquisa que não se preocupa em quantificar fatos e fenômenos e sim, interpretar a realidade do estudo, tendo como foco a perspectiva do participante (FLICK, 2009). O método do estudo de caso é oportuno, pois "[...] permite que os investigadores retenham as características holísticas e significativas dos eventos da vida real" (YIN, 2010, p. 24). Assim, o estudo de caso é adequado dado a complexidade da investigação.

Os participantes desta pesquisa foram professores de Física que lecionam nos cursos de licenciatura em Física, de uma universidade de particular de Curitiba, e a pesquisa foi feita por meio de entrevistas episódicas. De acordo com Flick (2008), na entrevista episódica da liberdade suficiente para o entrevistado relatar episódios, combinando perguntas que tenham como respostas narrativas mais focalizadas na problemática, com perguntas que busquem respostas mais amplas.

O presente trabalho é composto de seis capítulos, sendo o primeiro a presente introdução.

No segundo capítulo apresentamos um histórico dos paradigmas da ciência, desde a antiguidade, passando pela Idade Média e concentrando-se na revolução científica e na Física moderna, sendo essas análises fundamentadas em autores como Capra (1997), Heisenberg (1999), Moraes (2012) e Prigogine (2002).

No terceiro capítulo discorremos sobre o conceito de paradigma e os motivos que levam às mudanças de paradigmas na educação, destacando o paradigma newtoniano-cartesiano, o paradigma da complexidade e a transdisciplinaridade, tendo como apoio autores como Behrens (2011, 2012), Kuhn (1998), Moraes (2008, 2012), Moreira (2011), Morin (2000, 2011), Nicolescu (1999) e Santos (1987).

No quarto capítulo discutimos os aspectos referentes à formação inicial dos docentes, explanamos as práticas pedagógicas no ensino atual de Física e apresentamos as tendências e algumas abordagens no ensino de Física que acolhem os princípios da complexidade, buscando autores como Behrens (2011), Carvalho e Peréz (2009); Delizoicov (1983, 2001), Freire (1987), Gatti (2009), Moreira (2000), Pimenta e Anastasiou (2002) e Zabalza (2004).

A descrição da metodologia, dos instrumentos de pesquisa e dos procedimentos realizados está presente no quinto capítulo. Também compõem esse capítulo os resultados obtidos que foram tratados e avaliados por meio da análise do conteúdo, proposta por Bardin

(2000). Os dados apresentam quatro categorias de análise nas quais se investigou: a forma como os docentes foram iniciados na vida acadêmica e sua trajetória profissional; a concepção pedagógica dos docentes; a concepção de Física Moderna com o possível conhecimento a respeito do paradigma da complexidade; e a possibilidade da utilização de metodologias inovadoras, alicerçadas no paradigma complexidade.

Nas considerações finais são apresentadas algumas conclusões, apoiadas nos relatos dos professores, mediante as quatro categorias analisadas, bem como alguns pontos que provocaram inquietações e recomendações de possíveis pesquisas que podem ainda ser mais bem exploradas.

2 PARADIGMAS HISTÓRICOS DA CIÊNCIA

Neste capítulo será apresentada a evolução dos paradigmas da ciência, cuja compreensão é imprescindível para o entendimento dos motivos que levaram à crise paradigmática. Essa crise gerou uma nova concepção da evolução do mundo, o qual, agora, é visto como vivo e interconectado, substituindo a visão do "mundo máquina".

2.1 IDADE ANTIGA

As raízes da física podem ser encontradas quando o homem buscou conhecer a natureza e seus fenômenos por meio de uma análise racional, deixando explicações divinas e místicas. De acordo com Morais (1988), a civilização helênica, erguida pelos gregos, sempre teve grande preocupação em conhecer a natureza e valorizou o mundo das ideias em detrimento do trabalho manual. Isso explica a mentalidade dedutivista e a falta de experimentos que comprovassem as suas deduções, pois eles valorizavam a nobreza do pensamento e da racionalização. Segundo Rooney (2013), Anaxágora (500-430 a. C) foi o primeiro homem que pode ser considerado como um físico. Ele buscava uma visão da natureza livre de superstição e crendices, procurando estabelecer relação entre observação e experimentos que lhe permitisse uma explicação racional dos fenômenos (MORAIS, 1988).

Aristóteles (384-322 a. C) foi um dos mais importantes filósofos gregos a observar os fenômenos e elaborar proposições hipotéticas baseadas na razão. No entanto, os filósofos gregos não praticavam a experimentação e convertiam as suas hipóteses em leis sem verificação, praticando o empirismo filosófico (ARAGÃO, 2006). A chamada física aristotélica, explicações de Aristóteles baseada nas suas observações e reflexões, era extremamente intuitiva e perdurou por muito tempo como uma verdade quase bíblica. Aristóteles acreditava que um corpo mantém seu movimento porque uma força é aplicada a ele. Sabe-se hoje, devido à primeira lei de Newton, que um movimento não precisa da ação de uma força resultante para manter-se com velocidade constante (HALLIDAY, RESNICK, e WALKER, 2012). Porém, na atualidade muitos estudantes têm uma noção intuitiva de movimento como Aristóteles tinha, associando o movimento de um corpo à ação de uma força. Um dos principais pontos da física aristotélica discorre sobre necessidade da ação de forças para os movimentos acontecerem. Aristóteles seguia o raciocínio indutivo que "[...] começa com a observação do mundo e prossegue para obter uma explicação, identificando-se

um padrão para depois propor a hipótese que o explique, passando para uma teoria geral." (RONEY, p. 18, 2013).

Aristóteles também acreditava que corpos mais pesados caiam mais rapidamente, pensamento intuitivo baseado, por exemplo, na observação da queda de uma pena e uma pedra de uma mesma altura. Foi Galileu (1564-1642) quem concluiu que é a resistência do ar que influencia no fenômeno da queda fazendo com que a queda da pedra seja mais rápida e que a gravidade age da mesma forma nos dois objetos, ou seja, se o movimento ocorresse no vácuo, pena e pedra cairiam juntas (ARAGÃO, 2006). Apesar de, no período helênico, a experimentação não ser prioridade, existiram gregos que a praticavam, como Arquimedes (287-212 a. C), que desenvolveu várias invenções e máquinas de guerra, e é considerado um dos maiores cientistas que já existiu. Ele só é "[...] comparável nos tempos modernos apenas a Isaac Newton (1642-1727) não apenas por desenvolver trabalhos experimentais e teóricos de grande alcance, mas pelo brilhantismo e influência de sua obra" (ASSIS, 2008). É famosa sua frase "Dê-me um lugar para apoiar e eu moverei a Terra", referindo-se ao poder da alavanca, uma das suas maiores contribuições físicas juntamente com o estudo da hidrostática. Mas, apesar do seu brilhantismo, o escritor Plutarco ao escrever a biografia de Arquimedes, "[...] só o perdoa desses *mesquinhos* trabalhos manuais porque o físico estava atendendo as necessidades prementes do rei, que era o seu tio" (MORAIS, p. 54, 1988), referindo-se ao fato de ele praticar a experimentação.

Na astronomia grega, Aristarco em 271 a. C já dizia que a Terra girava em torno do sol, mas foi Hiparco de Atenas (160 – 125 a. C) quem se destacou como um dos maiores astrônomos da antiguidade e notável matemático, como coloca Aragão (2006). Hiparco catalogou estrelas, estimou a distância da Terra a Lua em um valor muito próximo do real e também foi o primeiro a determinar com exatidão a duração de um ano. Sua obra foi em grande parte relatada por seu seguidor Ptolomeu (90-168 a. C.) na obra "Almagest", na qual Ptolomeu faz uma síntese das teorias de Hiparco e Aristóteles entre outros. Esta obra foi importantíssima, pois foi por meio do "Almagest" que o mundo teve acesso às ideias de Hiparco e à astronomia grega. Também foi por meio dessa obra que Ptolomeu definiu o sistema geocêntrico, no qual o sol gira em torno da Terra, teoria que predominou por muito tempo como verdade absoluta (ARAGÃO, 2006).

A ciência árabe também teve a sua contribuição na astronomia. Rooney (2013) acrescenta que os astrônomos árabes foram os primeiros a usar a matemática para prever movimento de planetas, pois era necessário identificar com precisão os horários do amanhecer, meio do dia, pôr do sol para as orações, além de determinar a direção a Meca, de

qualquer lugar. Ibn al-Hassan Ibn al Haytham (965 – 1039) desenvolveu um método de análise de problemas baseado em testes de hipóteses por meio de experimentos e interpretação dos resultados. O médico Al-Rahwi (851-934) sugeria que os médicos documentassem seus procedimentos, introduzindo o conceito de revisão pura. Avicenna (980-1027) acreditava que a experimentação é a base da dedução. Infelizmente a religião Islã prejudicou o desenvolvimento da ciência árabe, pois questionar o mundo passou a ser visto como violação aos caminhos de Deus. A ciência árabe e os textos de Aristóteles foram traduzidos para o latim no início da Idade Média (ROONEY, 2013).

2.2 IDADE MÉDIA

Entre o fim do período helênico (idade clássica) e durante a Idade Média, teve lugar o chamando período escolástico, período não muito produtivo para a atividade intelectual. Segundo Morais (1998), a Idade Média foi teocêntrica, o homem não estava interessado em interferir na natureza ou descobrir seus segredos, obra divina de Deus, mas estava empenhado na salvação da sua alma. Para o homem medieval, a natureza sendo obra de Deus era divina e ele como pecador não poderia interferir nela. Mas houve alguns destaques nesta época, como Roger Bacon (1210-1292), frei franciscano e filósofo inglês, um dos primeiros a questionar os escritos antigos, principalmente os de Aristóteles, recomendando que as conclusões de Aristóteles fossem testadas. Foi um precursor do método científico, "[...] Em suas investigações científicas, Bacon seguia como padrão a formulação de hipóteses com base em observações e execução de um experimento para testar a hipótese" (RONEY, p. 20, 2013).

2.3 A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

O desenvolvimento do comércio, a disseminação do cálculo aritmético, o início do período das grandes navegações, a expansão comercial europeia e o Renascimento foram acontecimentos que marcaram a transição da Idade Média para a Idade Moderna (BRAGA, GUERRA E REIS, 2008). Concomitantemente a esses eventos acontecia na ciência o início da chamada revolução científica. No século XVI deu-se início a uma mudança radical na forma de se ver a ciência e o mundo. De acordo com Rooney (2013), quase dois séculos após Aristarco propor que a Terra deveria girar em torno do Sol, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) retomou essa teoria. O modelo descrito por Ptolomeu tinha sérios problemas para explicar a rotação da lua em torno da Terra, pois nesse modelo a Lua deveria

estar bem mais perto da Terra em alguns momentos que em outros e isso lançou dúvidas em relação ao modelo geocêntrico. No entanto, esse modelo era amplamente aceito pela Igreja. Em 1543 Copérnico publicou seu trabalho *Sobre Revolução das Esferas Celestes,* no qual ele descreve o sol como o centro do universo. Sobre isso, Morais (1988, p.39) acrescenta:

> Afinal, a visão copernicana ainda tinha muito de medieval, apesar de tudo. Isto dizemos porque um dos pontos de vista de Copérnico era que o sol simbolizava a "Luz de Deus"(presença divina no Universo) e não tinha cabimento que nós (terrestres) ficássemos no centro do Universo para que a "Luz de Deus" girasse a nossa volta.

Essa obra de Copérnico foi ignorada a princípio, e apesar da visão medieval centrada em Deus e não no homem, pode ser considerado o primeiro texto que deu início à revolução científica (ROONEY, 2013). Se o trabalho de Copérnico foi o pontapé inicial na revolução científica, Morais (1988) aponta que Galileu Galilei (1564–1642) foi o pioneiro da mentalidade científica.

2.3.1 A experimentação de Galileu Galilei e Francis Bacon

Galileu foi astrônomo, matemático e físico, e sua genialidade buscava um conhecimento baseado em experimentação empírica. Pôs a autoridade de Aristóteles à prova, promovendo experimentos que contradisseram a física aristotélica, fazendo nascer o experimentalismo científico para substituir as argumentações da dialética formal, sendo este o marco fundamental da mentalidade moderna. Na Grécia antiga o pensamento era valorizado em detrimento do fazer, e na época medieval o espírito era superior ao corpo. A inversão que Galileu apresentou foi enorme, pois ele propôs que confiássemos nos sentidos, utilizando recursos físicos para a produção do conhecimento. "[...] Nesta revolução galileica, a ciência e a técnica conseguiram unir-se. Isto foi decisivo para o início da ciência aplicada, da maneira como nós a entendemos atualmente" (MORAIS, p. 39, 1988). No experimentalismo proposto por Galileu, Morais (1988) acrescenta as fases do processo científico sugeridas por Galileu, assim colocadas: observação, formulação de hipóteses, seleção de dados, verificação experimental, obtenção de constantes e generalizações. Dessa forma, há uma valoração das propriedades objetivas e quantificáveis da matéria como forma, tamanho, número, posição e quantidade de movimento, deixando em segundo plano as propriedades subjetivas que resultam das projeções mentais do sujeito. Essa estratégia de centrar a atenção das propriedades quantificáveis teve sucesso na ciência moderna, mas, de acordo com R. D. Laing

(apud CAPRA, 1997, p. 51), as transformações provocadas pela obsessão pela medição e quantificação foram decisivas para mudança de paradigma:

> Perderam-se a visão, o som, o gosto, o tato e o olfato, e com eles foram-se também a sensibilidade estética e ética, os valores, a qualidade, a forma; todos os sentimentos, motivos, intenções, a alma, a consciência, o espírito. A experiência como tal foi expulsa do domínio do discurso científico.

A preocupação primordial de Galileu era desvendar o livro do mundo e a chave era a matemática. Com a junção da experimentação e da matemática, ele fundou a ciência quantitativa moderna. Capra (1997, p. 50) ressalta que, de acordo com Galileu:

> [...] a ciência esta escrita neste grande livro que permanece sempre aberto diante de nossos olhos; mas não podemos entendê-la se não aprendermos primeiro a linguagem e os caracteres em que ela foi escrita. Essa linguagem é a matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas.

Galileu libertou o mundo de preocupações místicas, extraindo a divindade dos astros, tornando o espaço místico do céu em um lugar geométrico, no qual ocorre movimento que podem ser medidos, abrindo espaço para que Newton fizesse a grande síntese. Assim, o mundo se transforma em objeto de uma ciência exigente que impõe um novo modelo epistemológico, tendo como grande inspirador Galileu (JAPIASSU, 1991).

Francis Bacon (1561-1629), simultaneamente a Galileu, descreveu o método empírico da ciência, mas sem o foco matemático, priorizando o valor do papel da experiência; formulou sua teoria do processo indutivo, em que se parte do particular para o geral, sendo necessário basear-se em fatos concretos da experiência para se chegar a leis e causas (MORAES, 2012). De acordo com Braga, Guerra e Reis (2008), Francis Bacon acreditava que o homem só avançaria na construção do conhecimento se abandonasse métodos e autoridades passadas. Assim, apresentou um método para o estudo da natureza baseado na investigação alicerçada nas experiências. Essas experiências deveriam ser registradas, tanto os passos seguidos quanto os resultados obtidos, processo importante para futuras trocas de experiência em diferentes campos do conhecimento. Para ele, a ciência não era obra divina desvendada por um gênio iluminado, mas resultado de investigação. Assim, o investigador partia de fatos concretos, revelados nas experiências, e a partir desses fatos avançaria em generalizações, em um processo crescente que permite a formulação de leis. Bacon não contribuiu significativamente com resultados ou leis satisfatórias que explicassem o Universo, mas apresentou uma nova maneira de investigar que deixou marcas profundas, "[...] Muitos que no século XVII trabalharam com a ciência assumiram o caminho de investigação da

natureza apontado por ele, libertando-se de autoridades intelectuais passadas." (BRAGA, GUERRA e REIS, p. 59, 2008). Bacon defendia veementemente o método empírico, colocando a natureza como objeto do homem como constatamos no trecho citado por Capra (1997, p. 52): "A natureza na opinião dele, tinha que ser 'acossada em seus descaminhos', 'obrigada a servir' e 'escravizada'." Devia ser "reduzida à sua obediência", e o objetivo do cientista era "extrair da natureza, sob tortura, todos os seus segredos". Capra (1997) procura inferir por que Bacon se refere à natureza de forma tão bruta e conclui que ele vê a natureza como mulher, sugerindo à natureza o mesmo tratamento que era atribuído às bruxas, que eram torturadas nos julgamentos. O conceito da mãe Terra nutridora desapareceu nos escritos de Bacon e a visão do mundo como máquina substituiu a concepção orgânica da natureza.

Descartes (1596-1650) e Newton (1642-1727) também participaram ativamente da revolução científica e com certeza foram os grandes responsáveis pela nova visão do homem e do mundo na Idade Moderna: A visão da natureza como máquina.

2.3.2 O reducionismo de Descartes

No livro Física e Filosofia o autor Werner Heisenberg (1999) afirma que o progresso da ciência natural no século XVI e XVII foi acompanhado pelo desenvolvimento das ideias filosóficas, que antes estavam voltadas à alma humana e à relação com Deus excluindo o mundo exterior. De acordo com Heisenberg (1999), o primeiro grande filósofo desse novo período foi Descartes. Descartes foi médico, filósofo e matemático francês, considerado o pai da filosofia moderna e responsável pelo desenvolvimento das coordenadas cartesianas, sendo estas consideradas como um dos maiores passos para a progresso das ciências exatas. O desenvolvimento filosófico do modelo mecânico, visão do universo como sistemas mecânicos que seguem leis físicas imutáveis, foi um dos grandes legados de Descartes na história ciência. Para ele, até o corpo humano poderia ser visto como máquina, excluindo a alma e criando a dicotomia entre corpo e mente (ROONEY, 2013). Segundo Braga, Guerra e Reis (2008), Descartes e Bacon tinham o interesse comum de reformar filosofia natural, mas por meios distintos. Enquanto Bacon valorizava a investigação por meio de experimentos documentados, Descartes acreditava que o pensamento racional abstrato da matemática levaria ao conhecimento seguro. Ele considerava que os conceitos matemáticos eram concebidos de forma objetiva, por meio de números e medidas, independente dos sentidos. Braga, Guerra e Reis (2008, p.62) esclarecem:

> Assim, o conhecimento construído pela humanidade até aquele momento, longe da objetividade da matemática, parecia a Descartes constituir um conjunto muito confuso e caótico, repleto de opiniões diferentes e inseguras. Esse sentimento fez com que defendesse a ideia que as especulações filosóficas não tinham utilidade prática, não traziam entendimento seguro sobre o Universo e, portanto, não demostravam ter serventia para os homens.

Essa descrença em relação ao conhecimento tradicional se enquadrava no contexto da época, uma época de muitas incertezas. Novas formas de organização mostravam que um novo mundo era possível e nesse contexto Descartes defendia que apesar das ciências serem múltiplas, o método era único. Capra (1997) ressalta que a confiança na certeza do conhecimento científico era a base da filosofia cartesiana, mas a Física contemporânea mostrou que não existe verdade absoluta em ciência, que as teorias são limitadas. Mesmo assim, a cultura cientifica ocidental ainda hoje reflete a ideia do conhecimento definitivo. Nesse sentido Capra (1997, p. 53) observa:

> O método de pensamento de Descartes e sua concepção da natureza influenciaram todos os ramos da ciência moderna e podem ser ainda hoje muito uteis. Mas só serão se as suas limitações forem reconhecidas. A aceitação do ponto de vista cartesiano como verdade absoluta e do método de Descartes como único meio válido para se chegar ao conhecimento desempenhou um importante papel na instauração de nosso atual desequilíbrio cultural.

A matemática define para Descartes a certeza. De acordo com John Losee (1993 apud MORAES, 2012), Descartes via a construção do conhecimento como uma pirâmide de proposições, com os princípios gerais no vértice e iniciou o processo de análise a partir do vértice da pirâmide, trabalhando em um processo dedutivo. De acordo com esse método analítico, exposto no *Discurso do Método*, há necessidade de decompor uma questão em outras mais simples até chegar a uma resposta clara e evidente sobre ela. Isso provocou a matematização do pensamento humano, a supervalorização da mente e do intelecto em detrimento do corpo, da matéria e do espírito (MORAES, 2012).

Descartes não admite uma aceitação não crítica do que os sentidos percebem, suspeitando do que os sentidos nos contam e dos resultados ao que o raciocínio nos leva. A filosofia cartesiana tem como ponto de partida a tentativa de se chegar a um conhecimento fundamental, pois ele acredita que o que conhecemos da própria mente é mais seguro do que aquilo que sabemos sobre o mundo exterior.

> *"Cogito ergo sum,* isto é, "penso, logo existo". Em outras palavras: não posso duvidar de minha existência, pois ela decorre do fato de eu estar pensando. E, após estabelecer, desta maneira, a existência do "Eu", ele passa a provar a existência de Deus, seguindo essencialmente as linhas da filosofia escolástica. Finalmente, a existência do mundo decorre do fato de que Deus nos deu uma forte predisposição a

> acreditar na existência do mundo e é simplesmente inconcebível que Ele tenha nos enganado" (HEISENBERG, 1999, p, 111).

Heisenberg (1999) menciona que o ponto de partida "*Deus-Mundo-Eu"* com que Descartes inicia sua filosofia produz separação entre Deus, o mundo e o "Eu". Deus é alçado muito acima do mundo e dos homens, tornando-se um ponto de referência entre o mundo e o "Eu", mas nessa divisão as três partes perdem algo de sua natureza se forem separadas das outras. A filosofia e a ciência desenvolveram-se baseadas na polaridade entre o *res cogitans* ou a "coisa pensante" e *res extensa* ou a "coisa extensa". A "coisa pensante" é o sujeito pensante, a mente, e a "coisa extensa" seria o corpo, a matéria, com a ciência concentrando-se nesta última. Assim, Descartes formulou uma tendência do pensamento humano que produziu profundas divisões cartesianas e a matemática favoreceu um sistema filosófico que içava o raciocínio lógico e que tentava chegar a uma verdade certa. A religião separava Deus e sua relação com o "Eu" do mundo e livre de influências teológicas foi possível, por exemplo, que Galileu reunisse conhecimento empírico com a matemática e esse conhecimento poderia ser formulado sem qualquer menção a Deus ou a nós, favorecendo a separação entre a "coisa pensante" e a "coisa extensa". Desde o início já se pode perceber a dificuldade da separação entre as coisas. Por exemplo, animais deveriam ser colocados ao lado das "coisas extensas" como máquinas sendo relegados ao plano material, mas é difícil negar a existência de uma alma nos animais. E se os animais poderiam ser encarados como máquinas, não seria difícil pensar o mesmo a respeito dos homens. Dessa forma, se a "coisa pensante" é completamente diferente da "coisa extensa" não parece possível que algo possa ser as duas coisas ao mesmo tempo. Assim, percebem-se graves falhas na divisão cartesiana de Descartes (HEINSENBERG, 1999).

Durante muitos séculos, porém, a ciência aceitou muito bem essa divisão. A Física clássica foi construída a partir do modelo da mecânica de Newton que descreve o mundo sem fazer menção a Deus ou a nós e essa possibilidade logo pareceu ser uma condição para a ciência em geral. Mas contrário a essa ideia Heisenberg (1999 p. 115) ressalta que "[...] A ciência natural não se restringe simplesmente a descrever e explicar a natureza; ela resulta da interação entre nós mesmos e a Natureza, e propicia uma descrição que é revelada pelo nosso método de questionar". Isso mostra que é impossível a separação entre o mundo e o "Eu", demonstrando que nós influenciamos na descrição na natureza.

2.3.3 O mecanicismo de Newton

Neste universo visto como uma máquina, sem espiritualidade, na qual a natureza deixa de ser viva e passa a ser simples matéria que segue leis mecânicas podendo ser explorada a qualquer custo, nasce um novo paradigma que passa a dominar a ciência. Toda a composição da Física mecânica passa a ser baseada neste paradigma cartesiano e Isaac Newton foi o homem que tornou possível a materialização do cartesianismo, por meio do estudo da mecânica. Capra (1997) acrescenta que foi Newton quem fez a grande síntese dos estudos de Copérnico, Kepler, Bacon, Galileu e Descartes, desenvolvendo uma formulação matemática da concepção mecânica da natureza apresentada na obra *Princípios matemáticos de filosofia natural*. Nessa obra, Newton combina o método indutivo e empírico de Bacon com o método racional e dedutivo de Descartes, colocando que tanto deduções sem evidências experimentais como experimentos sem interpretações sistemáticas não levam a uma teoria confiável. Esse trabalho deu um firme embasamento para o pensamento científico até o século XX. A capacidade matemática de Newton também era bem superior à de seus antecessores, como Capra (1997, p. 58) reflete:

> A apreensão matemática de Newton era bem mais poderosa do que a de seus contemporâneos. Ele criou um método completamente novo – hoje conhecido como cálculo diferencial – para descrever o movimento de corpos sólidos, um método que foi muito além das técnicas matemáticas de Galileu e Descartes. Esse enorme feito intelectual foi considerado por Einstein "talvez o maior avanço no pensamento que um único indivíduo teve alguma vez o privilégio de realizar".

O universo visto pela lente de Newton passa a ser uma grande máquina regida pela força da gravidade. Moraes (2012) acrescenta que essa força é descrita por equações que formam os fundamentos básicos da Física clássica e a matéria seria composta de partículas sólidas, homogêneas e indestrutíveis que ocupam e se movimentam em um espaço vazio, infinito e imutável e que são regidas pela lei da gravidade. O tempo era absoluto e fluía do passado para o futuro sem depender de qualquer fator externo. Vista dessa forma, a natureza é controlada por leis que leva a ciência a concluir que existe um *determinismo universal*, sendo possível prever como o universo funciona. Gell-Mann (1994, apud MORAES, 2012) refere-se à lei do movimento de Newton, na qual o mundo é descrito objetivamente sem relacionar-se com o observador humano, tornando-se o ideal de toda a ciência. Assim, a visão do mundo-máquina tomou forma e deu origem ao *mecanicismo*, que veio a tornar-se um dos pilares da ciência moderna. Para Newton, Deus criou as partículas materiais, as forças e as leis do

movimento não estando sujeitas à análise anterior. A partir da criação, o universo foi colocado em movimento e assim vem funcionando desde então, de forma determinada, como Capra (1997, p. 61) constata:

> A concepção mecanicista da natureza está, pois, intimamente relacionada com um rigoroso determinismo, em que a gigantesca maquina cósmica é completamente causal e determinada. Tudo que aconteceu, teria tido uma causa definida e dado origem a um efeito definido, e o futuro de qualquer parte do sistema podia – em princípio – ser previsto com absoluta certeza, desde que seu estado, em qualquer momento dado, fosse conhecido em todos os seus detalhes.

Apesar de Newton colocar Deus como criador, os fenômenos físicos não eram considerados divinos e a ciência foi se afastando da influência de Deus, deixando um vazio espiritual que se tornou característica na nossa cultura (CAPRA, 1997). Japiassu (1991) ressalta o grande respeito dos cientistas do século XVIII por Newton, muito bem expresso nas palavras de Alexander Pope para o epitáfio de Newton: "A natureza e as suas leis jazem, ocultadas na noite. Deus disse: Faça-se Newton! E tudo se tornou luz", demonstrando a grande influência de Newton, não só nos meios acadêmicos, mas também a política e a moral buscaram fundamentos para seus argumentos na Física newtoniana. Koyré (apud JAPIASSU, 1991, p. 127) coloca de maneira resumida como Newton rompeu as barreiras entre Terra e céus, unificando o universo:

> Ela (ciência moderna) fez isso substituindo nosso mundo das qualidades e de percepções sensíveis, mundo no qual vivemos, amamos e morremos, por um outro mundo da quantidade, da geometria deificada, mundo no qual, embora haja lugar para tal coisa, não há lugar para o homem. Assim, o mundo da ciência – o mundo real – afastou-se e separou-se inteiramente do mundo da vida, que a ciência foi incapaz de explicar – mesmo por uma explicação dissolvente que dela faria uma aparência "subjetiva" (...) É nisto que consiste a tragédia do espírito moderno que "resolve o enigma do universo", mas somente para substituí-lo por um outro: O enigma de si mesmo.

Assim, o mecanicismo e o determinismo dominam a ciência e a sociedade, e a imagem do mundo mecanicista, como um relógio que pode ser desmontado, fizeram o homem buscar a técnica que serviu de base à revolução industrial e aumentou o poder de manipulação do ser humano sobre a natureza. O êxito da mecânica newtoniana foi estendido a várias áreas da Física, como os fluidos, o comportamento dos gases, os fenômenos relacionados a calor e som. Todos foram explicados em termos do comportamento de partículas materiais elementares (CAPRA, 1997). Até mesmo para os fenômenos sociais buscaram-se explicações dentro de um padrão mecânico cartesiano. Moraes (2012) ressalta a chamada *física social*. A

partir dos modelos científicos propostos para o estudo da Física, passaram a ser investigados os fenômenos sociais que foram reduzidos ao que pode ser observado e medido.

Nesse sentido, Boaventura Santos (1988, apud MORAES, 2012) assinala que a ciências sociais não podem ter previsões confiáveis, já que os seres humanos são complexos e mudam o comportamento de acordo com o conhecimento adquirido, não sendo possível aplicar metodologias controladas. Capra (1997) aponta como exemplo dessa intenção de colocar o comportamento humano dentro de uma concepção newtoniana o filósofo John Locke, que desenvolveu uma versão dessa percepção para a sociedade. Esse filósofo tentou reduzir o comportamento da sociedade, observando o comportamento dos indivíduos, numa clara alusão ao estudo dos gases que foram reduzidos ao estudo das moléculas. Ele iniciou estudando os indivíduos e buscou aplicar os princípios a problemas econômicos e políticos. Locke acreditava que ao nascer o ser humano é uma folha em branco, e seu desenvolvimento depende do ambiente. Ao aplicar a teoria da natureza humana, acreditando que a sociedade é guiada por leis naturais, como a Física, deduziu que, assim como os átomos de um gás buscam um estado de equilíbrio, os homens se estabilizam na sociedade em um "estado de natureza", sendo função do governo descobrir essas leis e fazê-las valer e não impor as suas leis. Locke acreditava que essas leis incluíam a igualdade, a liberdade entre os indivíduos e o direito a propriedade, como resultado do trabalho de cada ser humano. Essas ideias tiveram grande influência no desenvolvimento econômico e político e tornaram-se uma das bases do iluminismo (CAPRA, 1997).

A ciência do decorrer dos séculos que se passaram, continuou aplicando o modelo mecanicista, que foi tornando-se mais complexo, em várias áreas do conhecimento, como a química, a biologia, psicologia e ciências sociais, mas a evolução do conhecimento logo encontrou limitações para a aplicação do modelo mecânico. Heisenberg (1999) acrescenta que foi no estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos que o modelo mecanicista encontrou seus primeiros obstáculos de aplicação, e os cientistas Faraday e depois Maxwell substituíram o conceito de força pelo conceito de campo de força, superando a Física newtoniana e demonstrando que um campo de força pode ser estudado sem fazer referência a corpos materiais. A esse respeito Heisenberg (1999, p. 136) reflete: "[...] As definições e axiomas que Newton construíra, referiam-se a corpos e seus movimentos; mas, com Maxwell, os campos de força pareciam ter adquirido o mesmo status de realidade que os corpos na teoria newtoniana." O ponto alto dessas descobertas foi que a luz é um campo eletromagnético que viaja no espaço através de ondas.

Juntamente com o estudo do eletromagnetismo, que demonstrou algumas fraquezas do mecanicismo, surgiu no século XIX a ideia de evolução, de mudança e desenvolvimento (CAPRA, 1997). A autora Moraes (2012) acrescenta que foi o naturalista francês Lamarck quem introduziu a ideia da evolução, voltada para o desenvolvimento das espécies – segundo o naturalista os seres vivos teriam evoluído de formas mais primitivas –, mas foi o trabalho de Charles Darwin que contribuiu de forma decisiva para a visão da evolução. Capra (1997, p. 67) coloca que a obra *Origem das espécies* traz provas irrefutáveis da evolução biológica, explicações sobre variações aleatórias e seleção natural.

> A monumental obra *Origem das espécies* de Darwin sintetizou as ideias dos pensadores anteriores e deu forma a todo pensamento biológico subsequente. Seu papel nas ciências humanas foi semelhante ao *Principia* de Newton na física e na astronomia, dois séculos antes.

Assim, a ideia do Criador mecanicista que constrói o universo com máquina perfeita, com a hierarquia estática que iniciava com Deus, seguia para os humanos e animais e finalizava nas formas inferiores de vida, vem abaixo com a proposta evolutiva de Darwin. Também na Física surgiu a ideia de evolução, principalmente a partir do estudo da termodinâmica, a chamada por Capra (1997) de Física complexa. A segunda Lei da Termodinâmica nos diz que, apesar da energia total envolvida em um processo permanecer constante, a energia útil se reduz, sendo dissipada na forma de calor, não podendo retornar a sua forma de energia inicial e assim tornando o processo irreversível e criando a ideia de uma "flecha do tempo". Capra (1997, p. 67) dá bons exemplos do que seriam processos irreversíveis:

> [...] quando se junta água quente e água fria, resulta em água morna, e os dois líquidos não se separam. Do mesmo modo, quando se mistura um saco de areia branca com um saco de areia preta, resulta areia cinzenta, e quanto mais agitarmos a mistura uniforme será cinzento; não veremos as duas espécies de areia de separarem espontaneamente.

Podemos perceber pelos exemplos acima que sistemas irreversíveis avançam em uma direção, da ordem para a desordem, portanto, seguindo uma "flecha do tempo". Esse estado de desordem pode ser visto como uma evolução dos sistemas, ao qual o físico Rudolf Clausius chamou de "entropia". Rooney (2013) acrescenta que a entropia pode ser vista como a medida da indisponibilidade da energia para realizar trabalho, pois, apesar da energia do universo permanecer constante, ela tende a tornar-se calor. Nesse sentido, pode-se concluir que o universo caminha para um estado máximo de entropia, chamada por Clausius de morte

do universo por calor. Heisenberg (1999, p. 135) já havia afirmado que: "[...] Clausius, Gibbs e Boltzmann mostraram que as leis fundamentais da teoria do calor podiam ser interpretadas como leis estatísticas", sendo necessário aliar a estatística à mecânica newtoniana para criar a base da termodinâmica, chamada mecânica estatística.

Assim, com a evolução do conhecimento, a concepção mecânica de Newton tornou-se muito simplista para explicar a evolução do universo e da vida, como coloca Capra (1997, p.69):

> No final do século XIX, a mecânica newtoniana tinha perdido seu papel de teoria fundamental dos fenômenos naturais. Os conceitos da eletrodinâmica de Maxwell e da teoria da evolução de Darwin superaram claramente o modelo newtoniano e indicavam que o universo era muitíssimo mais complexo do que Descartes e Newton haviam imaginado.

Apesar de a Física newtoniana, como Capra (1997) ressalta, ter perdido espaço por não se aplicar a vários fenômenos, seus conceitos mais básicos ainda eram aplicados a outros fenômenos e acreditava-se na ideia de espaço e tempo absolutos e de partículas sólidas elementares, preceitos básicos da física newtoniana. Mas o conhecimento construído a partir do início século XX veio a mudar radicalmente esses preceitos. A teoria da relatividade de Einstein acabou com a noção de espaço e tempo absolutos e a teoria quântica superou a ideia de partículas elementares, transformando-as em ondas de probabilidade (CAPRA, 1997).

2.4 FÍSICA CONTEMPORÂNEA

As transformações provocadas na ciência e na sociedade pelas descobertas do século XX foram gigantescas e trouxeram consequências irreversíveis para a ciência e a sociedade. Santos (1987) coloca que vivemos um período de revolução científica, que iniciou com Einstein e a mecânica quântica, e não se sabe quando acabará, pois as duas grandes descobertas da Física moderna ultrapassaram a visão de mundo cartesiana, mostrando-nos que as noções comuns da nossa experiência com o mundo físico são restritas. De acordo com Heisenberg (1999), a teoria quântica iniciou-se em 1900, quando Planck, ao estudar a radiação emitida do corpo negro a altas temperaturas, percebeu não ser possível usar as leis clássicas de radiação de calor e assim optou por estudar o átomo, e não a radiação, formulando matematicamente a *lei de Planck para a radiação térmica.* Ao interpretar fisicamente o resultado da teoria de Planck, concluiu que a energia emitida não era contínua, como era de se esperar, mas ocorria na forma de energia discreta, ou seja, pacotes de energia

que Planck denominou *quanta*, que dá origem ao termo quântico e que era diferente de tudo que se conhecia na Física clássica. Heisenberg (1999, p.48) faz a seguinte inferência sobre o impacto dessas descobertas para Planck:

> - um resultado tão diferente de tudo que se conhecia na física clássica que certamente deve tê-lo, de início, rejeitado. [...] Planck deve ter, neste tempo, compreendido que sua fórmula vinha abalar os fundamentos de nossa descrição da natureza e que, um dia, esses fundamentos teriam de sofrer nova formulação.

Albert Einstein, cinco anos depois, percebeu que poderia utilizar as ideias de Planck ao analisar o efeito fotoelétrico, e a partir disso escreveu em 1905 um novo modo de considerar a radiação eletromagnética. Capra (1997) ressalta que somente 20 anos depois a teoria quântica foi elaborada pelos físicos Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg e Paul Dirac, cientistas que ultrapassaram fronteiras nacionais em um brilhante intercâmbio intelectual no qual houve conflitos humanos e profundas amizades.

Ao contrário da teoria quântica que foi construída pela união desses físicos, a teoria da relatividade foi basicamente desenvolvida por Albert Einstein. A teoria da relatividade se divide em teoria da relatividade especial ou restrita, como também é chamada, e teoria da relatividade geral, sendo que a primeira se baseia em referenciais não acelerados e a segunda incorpora sistemas de referência acelerados. Segundo Hewitt (2002), na teoria da relatividade especial o objetivo era construir uma teoria que unificasse a eletrodinâmica de Maxwell, que sugeria que o movimento é absoluto com a mecânica de Newton, na qual o movimento depende de um referencial. Para além disso, mas o preço dessa visão unificada foi a revolução na maneira como se entende espaço e tempo, como explica Hewitt (2002, p.596):

> Einstein mostrou que quando as forças entre cargas elétricas são afetadas pelo movimento, as próprias medições são afetadas pelo movimento, as próprias medições de espaço e de tempo são também afetadas pelo movimento. Todas as medições de espaço e de tempo dependem do movimento relativo.

Assim, espaço e tempo que eram absolutos para Newton, passam a depender da velocidade do observador que quando muito alta, promove a dilatação do tempo e a contração do espaço. Capra (1997, p. 83) coloca que para Einstein "[...] espaço e tempo são conceitos relativos, reduzidos ao papel subjetivo de elementos da linguagem que um determinado observador usa para descrever fenômenos naturais". Para que os fenômenos tivessem descrição precisa, o tempo deve ser incorporado às três coordenadas espaciais, tornando-se a

quarta dimensão. Outro ponto a ser destacado é a relatividade da simultaneidade que, segundo Santos (1987), foi um dos pontos mais profundos da proposta de Einstein. A relatividade da simultaneidade tem com consequência o fato de que dois eventos que são simultâneos para um observador, não são necessariamente simultâneos para outro. Esse fato é consequência do segundo postulado da teoria da especial da relatividade para o qual a velocidade da luz é constante para qualquer observador, não importando a velocidade do observador. Nessa perspectiva, Hewitt (2002, p.599) ressalta que: "[...] Dois eventos que são simultâneos em um sistema de referência não necessariamente devem ser simultâneos em um sistema que se move em relação ao primeiro". Já Heisenberg (1999, p. 167) afirma que uma das consequências mais importantes da relatividade é a equivalência entre massa e energia, como constatamos no trecho abaixo:

> [...] quando a teoria da relatividade foi formulada, a hipótese da equivalência entre massa e energia foi recebida como uma revolução profunda na física de então, havendo ademais escassa evidência experimental a seu respeito. Em nossos tempos, constata-se em um grande número de experiências que partículas elementares podem ser criadas a expensas de sua energia cinética, em processos de colisão e, igualmente, que tais partículas podem ser aniquiladas dando lugar a radiação eletromagnética; a transformação de energia em massa e vice-versa, portanto, nada tem de fantástico.

A teoria da relatividade levou a muitas questões filosóficas, desde a utilização deste conhecimento para a fabricação de armas nucleares, se é possível voltar no tempo sendo ele uma quarta dimensão, até se podem existir outras dimensões além das colocadas por Einstein. Mas nada deixou os físicos tão desconcertados como a contradição existente no mundo subatômico. Capra (1997) afirma que Copérnico e Darwin introduziram transformações profundas, mas não difíceis de serem apreendidas. No caso da física atômica, quando se fazia uma pergunta à natureza, esta respondia com um paradoxo, e quanto maior o esforço para o entendimento, mais acentuado o paradoxo se tornava. Essa situação é descrita por Heisenberg (1999, p.63):

> Lembro-me de longas discussões com Bohr, até altas horas da noite, que acabavam quase em desespero. E quando, ao final de uma dessas discussões, saí para uma caminhada pelo parque vizinho, fiquei repetindo interiormente a mesma pergunta: pode a Natureza ser tão absurda como nos tem parecido nessas experiências com átomos?

O depoimento dele mostra o estado de perplexidade em que os físicos que pesquisavam a física atômica se encontravam. Juntamente com isso, existiam reações

negativas ao desenvolvimento atual da física. Heisenberg (1999) acrescenta que novas descobertas sempre criam debates, mas as críticas frequentemente ajudam o desenvolvimento do novo pensamento; o autor ressalta, porém, que nunca houve tanta polêmica como depois da teoria restrita da relatividade e da teoria quântica e que problemas científicos foram misturados a questões políticas. Essa reação tão violenta eclodiu devido à impressão esboçada do naufrágio da física desenvolvida até então e porque não se encontrara ainda a linguagem correta para expressar a nova situação, como Heisenberg (1999, p. 231) explica: "[...] Trata-se aqui de um problema fundamental: o progresso da técnica experimental de nossos tempos coloca, ao alcance da ciência, novos aspectos da natureza que não podem ser descritos em termos de conceitos da vida diária". Até mesmo Einstein que não tinha medo de afastar-se de velhos conceitos, relutou em aceitar as consequências da que seu próprio trabalho ajudara a formular. É famosa a sua frase "Deus não joga dados", quando se refere à natureza probabilista da física atômica (CAPRA, 1997).

Somente ao perceber que o paradoxo constitui uma expressão da física atômica quando se tenta descrever eventos atômicos em termos de conceitos clássicos é que, de acordo Heisenberg (1999), os físicos aprenderam a fazer as perguntas corretas e puderam compreender que a análise desses eventos por meio da física tradicional conduzia a contradições.

Antes de Planck propor que a radiação se propagava em *quantas* de energia, a radiação era vista exclusivamente, de acordo com a teoria de Maxwell, como ondas eletromagnéticas. A pergunta que não queria calar era: Poderia ela ser ambas as coisas? Essa natureza dual da radiação só pode ser aceita se forem deixados de lado os conceitos de "onda" e "partícula" que existem nos conceitos clássicos, como descreve Capra (1997, p. 73):

> - os elétrons, prótons e neutros no núcleo – não se parecem em nada com os objetos sólidos da física clássica. Essas unidades subatômicas da matéria são entidades muito abstratas e têm um aspecto dual. Dependendo do modo como as observamos, apresentam-se ora como partículas, ora como onda, e essa natureza dual também é apresentada pela luz, que pode adotar a forma de partícula ou de onda eletromagnética.

Dessa forma, aceitou-se que a radiação poderia apresentar-se das duas formas, dependendo do experimento. A luz sofre fenômenos físicos como a difração e a interferência, que são exclusivamente explicados no modelo ondulatório. Mas também admite o efeito fotoelétrico, fenômeno explicado pelo modelo de partícula. A partir desse entendimento, Niels Bohr definiu o princípio da complementariedade, que busca explicar o impasse entre as

duas formas que os fenômenos podem apresentar, como coloca Capra (1997, p.74): "[...] a imagem da partícula e a imagem da onda são duas descrições complementares da mesma realidade, cada uma delas parcialmente correta e com uma gama limitada de aplicação". A noção da complementariedade gera questões filosóficas a respeito da objetividade, quando aceita que algo pode ter naturezas diferentes. Apesar de ter se originado para explicar fenômenos físicos, o princípio da complementariedade tem implicações fora do campo da física, como veremos no próximo capítulo.

Juntamente com a complementariedade, o princípio da incerteza proposto por Heisenberg abala o ideal de objetividade da física clássica. O estado físico que poderia ser plenamente previsto a partir da análise das condições iniciais do sistema, como velocidade e posição, caracterizando causalidade e determinismo, não pode ser previsto na mecânica quântica. O princípio da incerteza expressa a limitação de conceitos clássicos como velocidade e posição, conforme Capra (1997, 74) descreve:

> Sempre que usamos termos clássicos – partícula, onda, posição, velocidade – para descrever fenômenos atômicos, descobrimos existirem pares de conceitos, ou aspectos, que estão inter-relacionados e não podem ser definidos simultaneamente de um modo preciso. Quanto mais enfatizamos um aspecto de nossa descrição, mas o outro se torna incerto, e a relação precisa entre os dois é dada pelo princípio da incerteza.

Acreditava-se até então, como coloca Heisenberg (1999), que se o experimento fosse conduzido cuidadosamente, a influência do observador não existiria ou seria muito pequena, sendo condição necessária para preservar a objetividade, ideal do estudo da ciência da natureza. Mas o que se verifica é um colapso da função onda, quando o fenômeno é observado, pois ao investigar o evento o pesquisador perturba a situação, ao tentar medir a posição de uma partícula altera a velocidade, ou seja, elétrons não observados são tanto onda como partículas, somente assumindo um padrão quando medidos (MORAES, 2012). A imprevisibilidade dos fenômenos na física quântica e a dificuldade de elaborar uma descrição objetiva sem interferir no processo de observação mostraram que os velhos conceitos não tinham ampla aplicabilidade.

O paradoxo onda/partícula, como ressalta Capra (1997), obrigou os cientistas a concordarem com uma perspectiva da realidade que se opunha ao conceito de realidade da matéria. A matéria em nível atômico não existe com certeza em lugares definidos, o que existe são probabilidades de existir. São "ondas de probabilidade" que estão relacionadas com a possibilidade de se encontrarem partículas em determinada região do espaço. Essa

descoberta impõe que se reveja a noção clássica de objetos sólidos, pois no nível subatômico os sólidos se decompõem em padrões de probabilidades, não tendo sentido entidades isoladas, mas apenas interconexões, como Capra (1997) examina:

> Portanto, as partículas subatômicas não são "coisas", mas interconexões entre "coisas", e essas "coisas", por sua vez, são interconexões entre outras "coisas", e assim por diante. Na teoria quântica nunca lidamos com "coisas", lidamos sempre com interconexões.

Isso mostra que ao aprofundarmo-nos na natureza da matéria, não podemos decompô-la em unidades, demonstrando que o universo é um todo composto de uma rede de relações entre as partes. Nesse sentido, Heisenberg (1999) afirma que o mundo se apresenta como um complicado tecido de eventos e conexões que se combinam e determinam o contexto do todo.

A lição que o desenvolvimento da física quântica e da teoria da relatividade ensinaram é que os modelos desenvolvidos em uma teoria têm limitações. Um dia acreditou-se que a mecânica newtoniana poderia ser aplicada para descrever todos os eventos da natureza, o que hoje se mostra inapropriado.

2.4.1 Estruturas Dissipativas

Os estudos de Ilya Prigogine, prêmio Nobel de Química em 1977, por sua teoria das estruturas dissipativas foram fundamentais para o desenvolvimento do conhecimento com a inclusão de termos como indeterminação, irreversibilidade e assimetria do tempo (MOREIRA E MASSONI, 2011). Prigogine desenvolveu sua teoria concentrando-se em sistemas químicos e físicos, mas, de acordo com Capra (1996), ele foi levado a fazê-lo devido as suas ponderações a respeito da natureza da vida. "Eu estava muito interessado no problema da vida. Sempre pensei que a existência da vida está nos dizendo alguma coisa importante a respeito da natureza" (PRIGOGINE apud CAPRA, 1996, p. 80). O que mais chamava a sua atenção era o fato de existir processos de vida em condições de não equilíbrio e sua investigação priorizou descobrir em que condições os sistemas de não equilíbrio podem ser estáveis. O principal avanço ocorreu quando ele compreendeu que sistemas afastados do equilíbrio devem ser descritos por equações não lineares. Para Prigogine (2002, p.21), as estruturas do não equilíbrio, chamadas de estruturas dissipativas, são sistemas abertos e só existem quando o sistema dissipa energia.

> Um dos aspectos mais espetaculares desse novo comportamento é a formação de estruturas de não-equilíbrio que só existem enquanto o sistema dissipa energia e permanece em interação com o mundo exterior. Eis aí um evidente contraste com as estruturas de equilíbrio, como os cristais, que uma vez formados podem permanecer isolados e são estruturas "mortas", que não dissipam energia.

Um sistema aberto, como coloca Moraes (2012), depende de contínuos fluxos de energia e matéria, promove mudanças no metabolismo, envolve reações químicas e está à margem da estabilidade. Prigogine e Stengers (1984) acrescentam que a dissipação de energia, usualmente associada à perda de rendimento e ao crescimento da desordem, transforma-se, longe do equilíbrio, em fonte de ordem e na origem de novos estados. Segundo os autores, é como se a matéria fosse cega nas condições de equilíbrio e passasse a "ver", assim surgem novas estruturas de não-equilíbrio que mostram o papel criador dos fenômenos irreversíveis. Prigogine e Stengers (1984) citam como exemplo de estrutura dissipativa o fenômeno da convecção, conhecido por "instabilidade de Bérnard", um clássico da auto-organização. Henri Bénard, físico francês, descobriu que, quando um líquido é aquecido uniformemente a partir de baixo, ocorre um fluxo térmico no líquido em repouso que vai do fundo para o topo, nesse processo o calor se propaga por condução. Porém, quando a diferença de temperatura entre o fundo e o topo atinge um valor crítico, uma nova ordem molecular se estabelece e a condução térmica é substituída pelo fenômeno da convecção térmica, mediante o qual a transferência de calor ocorre pelo movimento das moléculas do líquido, o qual quando aquecido sobe e, consequentemente o líquido frio que está no topo desce. Esse processo de convecção, que acelera o transporte de calor, inicia quando, no líquido, passa a existir um padrão de células hexagonais chamadas de "células de Bérnard", que surgem no momento em que o sistema se afasta do equilíbrio, sendo um exemplo de auto-organização. Prigogine e Stengers (1984) acreditam que a instabilidade de Bérnard é um fenômeno fantástico, no qual bilhões de moléculas movem-se de maneira organizada e coerente.

A Física clássica é baseada em sistemas estáveis e deterministas e trata o instável como exceção, contudo Prigogine nos mostrou que a maioria dos sistemas é instável. Prigogine (2002) assegura que a Física tem formulado leis que se referem a um universo reversível, pois não conhece a diferença entre o passado e o futuro e não considera a flecha do tempo, inclusive, essa ideia foi defendida por muitos físicos importantes como Einstein, Feynmam e Hawking. Entretanto, sabe-se que na natureza muitos processos são irreversíveis, seguindo uma flecha do tempo. O próprio processo de envelhecimento dos seres vivos é um exemplo. Na natureza muitos processos possuem uma direção privilegiada no tempo, portanto

são irreversíveis como, por exemplo, a decomposição radioativa. Assim, chegamos ao que Prigogine (2002) nomeia de paradoxo do tempo. Para o autor, o universo é composto de processos reversíveis e irreversíveis, mas os primeiros são a exceção. Por isso, o autor chama a atenção para o fato de que cada físico faz uma escolha relativa ao seu objeto de estudo, ou seja, escolhe um ponto de vista. Conforme Popper (apud PRIGOGINE, 2002, p.20) defende:

> A física clássica se interessa antes de tudo por relógios; a física moderna, sobretudo por nuvens. Mas o ponto importante é que hoje podemos começar a ultrapassar o quadro especifico que correspondia ao nascimento da ciência clássica. Podemos admirar a simplicidade do movimento dos planetas, a precisão associada aos relógios, mas podemos reconhecer o seu caráter particular, quase único.

Tanto para a mecânica clássica (equação de Newton) como para a mecânica quântica (equação de Schrodinger) os processos descritos são reversíveis, porque ambas são invariantes em relação ao tempo, isso significa simetria temporal (MOREIRA E MASSONI, 2011). Na termodinâmica, segundo Prigogine (1996), a diferenciação entre processos reversíveis e irreversíveis é estabelecida por meio da função de estado *entropia.* Sistemas reversíveis (no equilíbrio) têm entropia nula, mas sistemas irreversíveis produzem entropia que está associada à desordem de um sistema termodinâmico. A entropia é definida como a energia dissipada dividida pela temperatura na qual o processo ocorre e comumente nos remete ao grau da desordem.

De acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, não existe processo no qual ocorra transformação exclusiva de calor em trabalho, sempre há energia dissipada e essa não pode ser recuperada tornando-se indisponível (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2012). Assim, Prigogine (1996, p.25) esclarece que a entropia cresce e define a flecha do tempo e consequentemente a direção do futuro. Acerca do domínio da termodinâmica clássica, Capra (1996) afirma que existem fluxos, mas eles são fracos e o sistema sempre evolui para um estado estacionário no qual a entropia é muito pequena e os sistemas podem ser descritos por equações lineares. Quando o sistema se afasta do equilíbrio, os fluxos e a entropia aumentam e a instabilidade leva a novas formas de ordem, sendo que estas afastam cada vez mais o sistema do estado de equilíbrio. Assim, as estruturas dissipativas desenvolvem-se em formas de complexidade crescente. Capra (1996, p.150) também explica que:

> Longe do equilíbrio os processos de fluxo do sistema são interligados por meio de múltiplos laços de realimentação, e as equações matemáticas correspondentes são não lineares. Quanto mais afastada uma estrutura dissipativas está do equilíbrio, maior é sua complexidade e mais elevado é o grau de não linearidade das equações matemáticas que a descrevem.

Segundo a teoria dos sistemas dinâmicos, Prigogine, ciente da necessidade de relacionar as estruturas dissipativas, devido ao não equilíbrio e à não linearidade dessas estruturas, desenvolveu uma termodinâmica não linear para os sistemas afastados do equilíbrio. O autor percebeu que, na termodinâmica clássica, quaisquer que sejam as condições iniciais, o sistema será atraído em direção a um estado de entropia mínima muito próximo do equilíbrio e, dessa forma, seu comportamento será previsível. Capra (1996) afirma que, no caso da termodinâmica não linear, as equações têm mais de uma solução e quanto mais alta for a não linearidade, maior a quantidade de soluções, podendo emergir novas situações a qualquer momento. Prigogine e Stengers (1984) explicam que o sistema pode encontrar pontos críticos de bifurcação, a partir dos quais um novo estado torna-se possível e quanto mais afastado do equilíbrio maior a possibilidade de outras estruturas desenvolverem-se. O caminho que o sistema tomará depende da história anterior do sistema, de condições externas e de flutuações que possam ocorrer no ambiente, diferentemente dos sistemas lineares que convergem para o equilíbrio, independentes das condições iniciais. Assim, perto do equilíbrio os fenômenos são repetitivos e as leis, universais, mas, quando ocorre um afastamento do equilíbrio, existe uma riqueza de possibilidades que leva ao indeterminismo.

Dessa forma, as descrições determinísticas das equações de Prigogine governam o comportamento do sistema entre dois pontos de bifurcação, mas, de acordo do Prigogine e Stengers (1984), o processo de auto-organização, longe do equilíbrio, depende da interação entre o acaso, a necessidade das flutuações e as leis determinísticas. Assim, podemos perceber que a concepção da teoria de Prigogine nos leva à compreensão da riqueza da natureza composta por sistemas fora do equilíbrio, como são todos os sistemas vivos. Moraes (2011, p. 68) reforça as possibilidades que as estruturas dissipativas trazem: “[...] de um universo não linear, mais turbulento, menos previsível, mais complexo, caótico, pluralista e criativo. Mas cheio de possibilidades e esperanças!”. Nós como seres humanos que compõem a sociedade somos sistemas abertos, sujeitos a flutuações e a perturbações que fazem surgir as inovações e mudanças.

3 PARADIGMAS DA EDUCAÇÃO

O desenvolvimento da ciência é marcado por princípios e crenças que regem um determinado período histórico e que caracterizam os paradigmas da ciência. Após o final da Idade Média, período marcado pela concepção de um mundo vivo e espiritual, o conhecimento na sociedade e sua organização desenvolveram-se e mantiveram-se até hoje baseados em um modelo de racionalidade que constituiu a ciência moderna. Iniciado a partir da revolução científica do século XVI, esse modelo foi desenvolvido principalmente nas ciências ditas naturais, somente se estendendo às ciências sociais no século XIX e se tornando a partir desse momento um modelo global. Santos (1987) destaca que a principal característica desse modelo de racionalidade cientifica é o fato de ele ser totalitário negando o caráter racional a todas as formas de conhecimento que não se baseiam em seus princípios epistemológicos e suas regras metodológicas, definindo um novo paradigma científico, como Santos (1987, p. 11) coloca:

> Está consubstanciada, com a crescente definição, na teoria heliocêntrica do movimento dos planetas de Copérnico, nas leis de Kepler sobre as órbitas dos planetas, nas leis de Galileu sobre a queda dos corpos, na grande síntese da ordem cósmica de Newton e finalmente na consciência filosófica que lhe conferem Bacon e, sobretudo Descartes.

Esse modelo, denominado *paradigma cartesiano–newtoniano*, também chamado de paradigma conservador, promove o fracionamento do conhecimento, a divisão em especialidades, a dicotomia entre corpo e mente. Para Santos (1987), essa nova visão de mundo promove a distinção entre o conhecimento científico e o conhecimento do senso comum, pois, ao contrário da ciência aristotélica, a ciência moderna desconfia das evidências da nossa experiência imediata. A revolução científica, já abordada no capítulo anterior, foi principalmente desenvolvida por Galileu, Descartes e Newton. Galileu promoveu a experimentação, valorizando a quantificação, Descartes difundiu um desenvolvimento filosófico que visualiza a redução da natureza a um sistema mecânico e Newton desenvolveu leis físicas que se acreditavam imutáveis tornando possível a mecanização descrita por Descartes.

Mas essa maneira objetiva de observar a natureza foi desafiada. O início do século XX trouxe muitas surpresas, e a velha maneira de se fazer ciência foi colocada à prova. As descobertas da física quântica, a teoria da relatividade e os estudos da ciência a partir de uma ótica de evolução e auto-organização, trazem uma nova concepção de universo e do

conhecimento. A linearidade determinística da mecânica é abalada e novas possibilidades se abrem, dando espaço para uma nova visão sistêmica e complexa dos fenômenos, levando à concepção do *paradigma da complexidade*. Para Behrens (2011), no paradigma da complexidade, o universo é caracterizado por um mundo vivo, composto por redes de relações conectadas, situadas em sistemas dentro de outros sistemas. Assim, o mundo é concebido em termos de conexão, inter-relações e teias em constante processo de mudança e transformação.

Na obra "*A estrutura das revoluções científica*s", Thomas Kuhn (1998) reflete sobre as modificações e as maneiras de se compreender ciência ao longo do tempo. Considera-se importante destacar o estudo de Moreira e Massoni (2011) sobre a discussão de Kuhn a respeito de conceitos-chave de sua epistemologia, como *paradigma, ciência normal e revolução científica*.

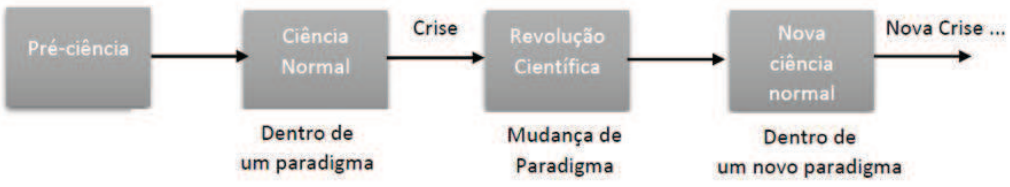
Para Kuhn (1998), paradigmas são realizações científicas amplamente conhecidas que durante certo tempo fornecem problemas e soluções para a comunidade de uma ciência, sendo como uma constelação de valores e crenças compartilhadas pelos participantes de uma comunidade científica. Alguns exemplos de paradigmas que Kuhn (1998) cita em sua obra são a Física de Aristóteles e a Mecânica de Newton, pois durante algum tempo serviram para definir problemas e métodos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores de pesquisadores. E quando no desenvolvimento de uma ciência um indivíduo ou grupo produz ideias e novos métodos capazes de atrair uma geração posterior de pesquisadores o paradigma anterior é abandonado. Um novo paradigma ganha aceitação quando é mais bem-sucedido que o anterior na resolução de problemas graves não resolvidos pelo paradigma anterior. Kuhn (1998, p. 45) acrescenta: "No intervalo, entretanto, durante o qual o paradigma foi bem sucedido, os membros da profissão terão resolvido problemas que mal poderiam ter imaginado e cuja solução nunca teriam empreendido sem o comprometimento com o paradigma".

O comprometimento com o paradigma pode situar-se em dois níveis, como citam Moreira e Massoni (2011): um nível inferior, mais concreto, no qual o compromisso é relativo a tipos de instrumentos e maneiras adequadas para sua utilização e um nível mais elevado, no qual há compromissos teóricos, metodológicos e filosóficos que correspondem a uma visão de mundo. Chalmers (1993, apud MOREIRA E MASSONI, 2011, p.29) coloca que "[...] um paradigma incorpora um arcabouço conceitual específico através do qual o mundo é visto e no qual ele é descrito, é um conjunto de técnicas para fazer corresponder o paradigma à natureza".

Como ciência normal, Khun (1998) define a pesquisa que ocorre baseada em realizações científicas passadas, sendo a ciência que já faz parte de um paradigma e que não propõe novas regras. "[...] A ciência normal, atividade na qual a maioria dos cientistas emprega inevitavelmente quase todo o tempo, é baseada no pressuposto de que a comunidade científica sabe como é o mundo" (ibidem, p.24). Moreira e Massoni (2011) colocam que na ciência normal a pesquisa se orienta de acordo com fenômenos e teorias já supridas pelo paradigma do qual faz parte. Fenômenos que não se ajustam aos limites do paradigma são ignorados. Dessa forma, a ciência normal não se propõe a descobrir coisas novas, mas pode ser eficiente em provocá-las (KUHN, 1998).

Certamente os paradigmas encontram problemas que não podem ser resolvidos dentro dos seus limites e a existência de graves e persistentes problemas não resolvidos dentro de um paradigma podem constituir a causa de uma crise paradigmática. De acordo com Kuhn (1998, p. 115), as crises podem terminar de três formas principais: a ciência normal acaba resolvendo o problema que deu origem à crise; os pesquisadores podem concluir que não há solução para o problema no estado atual da área de estudo; a crise pode terminar com o nascimento de um novo candidato a paradigma e uma posterior batalha para sua aceitação. Moreira e Massoni (2011) concluem que quando os pesquisadores não conseguem mais evitar as anomalias que corrompem o paradigma no qual estão inseridos, iniciam-se as investigações extraordinárias que conduzem para uma nova base para a prática da ciência, um novo paradigma, uma nova fase da ciência normal, caracterizando uma revolução científica. Assim, revoluções científicas são episódios de novos desenvolvimentos, nos quais um novo paradigma substitui parcialmente ou totalmente um paradigma antigo. De acordo com Kuhn (1998), a ciência evolui por etapas que ora são de ciência normal, ora de ruptura revolucionária, e são as rupturas revolucionárias que mais contribuem para o progresso da ciência.

Figura 1 – Desenvolvimento e mudança de paradigmas



Fonte: Adaptado de Kuhn (1998) pela autora.

Ampliando o conceito de Kuhn sobre paradigma, Morin (apud MORAES, 2012, p. 31) afirma que "[...] uma paradigma significa um tipo de relação muito forte, que pode ser

conjunção ou disjunção, que possui uma natureza lógica entre um conjunto de conceitos-mestres"; contribui, assim, para ampliar o enfoque de Kuhn em relação às escolas e teorias rivais. Moraes (2012) acrescenta que, dessa forma, surge um consenso entre membros da comunidade científica que existem simultaneamente a um paradigma, teorias e experiências que não se ajustam ao paradigma vigente, mas que convivem simultaneamente produzindo a evolução do conhecimento.

Após a compreensão do significado da palavra paradigma, suas delimitações e a maneira com se muda de um paradigma para outro, podemos seguir analisando os principais paradigmas que regem a nossa educação e sociedade, o que nos levou ao atual desenvolvimento tecnológico, mas ao mesmo tempo criou graves problemas sociais, ambientais e econômicos.

3.1 O PARADIGMA NEWTONIANO-CARTESIANO

A concepção de mundo desenvolvida a partir da revolução científica e que se mantém até os dias de hoje imprimiu no ser humano uma visão fragmentada do mundo e de si mesmo, influenciando todas as esferas da sociedade, como esclarece Behrens (2011, p. 18):

> Na realidade, na óptica mecanicista, o universo organizou-se a partir da linearidade determinista de causa e efeito. Essa premissa levou o homem a separar o racional do emocional, pois o pensamento newtoniano-cartesiano apresenta uma epistemologia reducionista que fragmentou tanto a nossa realidade externa e interna, como a dimensão interpessoal e psíquica.

O racionalismo proposto pelo paradigma newtoniano-cartesiano ressalta uma visão de mundo que, de acordo com Morin (1990, apud MORAES, 2012), relaciona a realidade do universo com uma harmonia perfeita, excluindo o irracional e, assim, negando qualquer outra possibilidade de explicação. Esse pensamento permitiu ao homem que revelasse os mistérios da natureza e alterasse a relação homem-natureza, alterando também a ética dessa relação. A exploração da natureza e o desenvolvimento tecnológico e científico proporcionado por esse paradigma promoveram um enorme desenvolvimento em todas as áreas do conhecimento. Dessa forma, como coloca Behrens (2011), o século XX se definiu como a sociedade de produção de massa, atingindo a educação, com a racionalidade e fragmentação. Assim, os referenciais da revolução científica serviram de base e orientaram a especialização do conhecimento e a separação entre razão e sentimento. Severino (1992, apud BEHRENS, 2011) acrescenta que o sucesso desse método foi reforçado pelo uso da *técnica,* que serviu de

base para a revolução industrial, a ciência foi reconhecida pela eficácia operatória, fornecendo aos homens recursos reais para a manutenção da existência material e para manipulação da natureza.

A descrição objetiva da natureza e sua dominação seguem o modelo de interpretação do mundo fornecido pelo paradigma científico dominante, que é responsável, segundo Fernandez (2001, apud BEHRENS, 2011), pelo modelo civilizacional contemporâneo, que amplia as desigualdades sociais e o agravamento do desequilíbrio ecológico.

O modelo de educação dentro desse paradigma promove a compartimentalização do conhecimento e as especializações disciplinares. Behrens (2011) especifica que as universidades são fortemente influenciadas por esse modelo, fortemente positivista, legitimando apenas o conhecimento comprovável, racional e objetivo. Para Morin (2000), esse modelo nos levou a grandes avanços no âmbito das especializações, mas atualmente essas ciências disciplinares não têm sido eficientes para solucionar os grandes problemas globais a que estamos experimentando atualmente. Essa especialização de conteúdos retira o objeto do seu contexto, criando dessa forma uma enorme dificuldade de contextualizar o conhecimento e se afastando da realidade. Diante das novas descobertas da ciência no século XX, que a racionalidade do paradigma newtoniano cartesiano não consegue explicar, aliado aos graves problemas planetários, como descritos por Cardoso (1995) - a competição individualista, o consumismo, a violência, a má distribuição de renda que gera desemprego, miséria, fome e graves problemas ambientais–, abre-se a possibilidade de uma mudança para um novo paradigma capaz de um enfoque no todo e não apenas nas partes.

3.2 O PARADIGMA DA COMPLEXIDADE

As descobertas da física contemporânea no início do século XX podem ser consideradas o estopim da crise gerada no paradigma cartesiano. A racionalidade técnica utilizada até então na análise dos fenômenos, herança da revolução científica, não deu conta de explicar a estrutura subatômica dos átomos, que compõem a estrutura de qualquer matéria. O espaço e o tempo, aparentemente imutáveis, tornam-se relativos com a possibilidade da dilatação do tempo e contração do espaço. Capra (1997) ressalta que os cientistas foram colocados com uma estranha realidade que pulverizou os alicerces do pensamento racional e obrigou-os a pensar de um modo totalmente novo. Khun (1998, p. 115) descreve a crise que os físicos passaram nessa época:

> Einstein, limitado pelo emprego corrente de uma linguagem menos rebuscada, escreveu apenas que: "Foi como se o solo debaixo de nossos pés tivesse sido retirado, sem que nenhum fundamento firme, sobre o qual se pudesse construir, estivesse a vista". Wolfgang Pauli, nos meses que precederam o artigo de Heisenberg que indicaria o caminho para uma nova Teoria dos *Quanta,* escreveu a um amigo: "No momento, a Física esta mais uma vez em terrível confusão. De qualquer modo, para mim e muito difícil. Gostaria de ter-me tornado um comediante de cinema ou algo do gênero e nunca ter ouvido falar de Física". Esse testemunho é particularmente impressionante se contrastado com as palavras que Pauli pronunciou cinco meses depois: "O tipo de Mecânica proposta por Heisenberg devolveu-me a esperança e a alegria de viver. Sem dúvida alguma, ela não proporciona a solução para a charada, mas acredito que agora e possível avançar novamente".

Essas adversidades abriram espaço para uma nova visão da ciência que deu força para que o universo, de acordo com Cardoso (1995), não fosse mais visto como uma máquina composta de diversos objetos, mas como um organismo indivisível. As partes são eventos interconectados e só podem ser compreendidas como um todo. Segundo Capra (1996), o estudo dos principais problemas da nossa época, nos levam a perceber que eles não podem ser entendidos isoladamente. Os problemas são sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes. O paradigma da complexidade vem satisfazer esta necessidade do pensamento sistêmico, da interconexão, do movimento relacionado ao fluxo de energia e em constante processo de transformação (BEHRENS, 2011).

Uma visão inovadora da sociedade também é necessária, já que a mudança de paradigma não se detém somente na perspectiva da ciência, mas abarca todas as áreas da sociedade, como discorre Capra (1996, p. 25):

> O paradigma que está agora retrocedendo dominou a nossa cultura por várias centenas de anos, durante as quais modelou nossa moderna sociedade ocidental e influenciou significativamente o restante do mundo. Esse paradigma consiste em várias ideias e valores entrincheirados, entre os quais a visão do universo como um sistema mecânico composto de blocos de construção elementares, a visão do corpo humano como máquina, a visão da vida em sociedade como uma luta competitiva pela existência, a crença no progresso material ilimitado, a ser obtido por intermédio do crescimento econômico e tecnológico, e – por fim, mas não menos importante – a crença em que uma sociedade na qual a mulher é, por toda parte, classificada em posição inferior à do homem é uma sociedade que segue uma lei básica da natureza. Todas essas suposições têm sido decisivamente desafiadas por eventos recentes. E, na verdade, está ocorrendo, na atualidade, uma revisão radical dessas suposições.

A complexidade estabelece a necessidade do diálogo entre os antagônicos, o que pode ser comparado ao princípio da complementariedade de Bohr, já discutido no capítulo anterior, no qual Bohr coloca que onda e partícula são descrições complementares da mesma realidade. Nesse sentido, Capra (1997, p. 74) ressalta que a complementariedade pode ser um conceito útil fora da física:

> A complementariedade já foi amplamente usada em nosso exame da terminologia chinesa *yin/ yan* uma vez que os opostos *yin* e *yan* estão inter-relacionados de um modo polar, ou complementar . O moderno conceito de complementariedade está claramente refletido no antigo pensamento chinês, fato que causou profunda impressão em Niels Bohr.

Essa mudança de percepção em relação aos opostos pode ser aplicada fora dos domínios da física. Santos (2009) assinala que o homem contemporâneo também representa velhos conceitos, interpretando o mundo em termos de polaridade. Assim, a complementaridade pode mudar a relação das hoje dicotômicas "razão/emoção", "corpo/mente", "ordem/desordem", "inclusão/exclusão", "conservadorismo/inovação", "simples/complexo" entre outras, para uma interação na qual elas se complementem e articulem seres humanos completos e harmonizados. Resgatar a emoção não significa supervalorizá-la, mas admitir que emoção faz parte da condição humana e interfere em todos os processos humanos. Outro binário que pode mostrar a importância da complementaridade é o de ordem/desordem. O homem preza pela ordem que significa segurança, mas é a desordem e a espontaneidade que ao desorganizarem o sistema provocam sua regeneração, sua vitalidade, permitindo novas construções e formas de organização. Santos (2009, p. 29) acrescenta: "[...] Ordem e desordem, separadamente, ambas levam à degradação". Mas a desordem é temida, pois se contrapõe à certeza e à estabilidade, conceitos desejados pelos seres humanos, mas que são antagônicos à natureza instável da vida humana. Nessa perspectiva, o princípio da incerteza de Heisenberg também contribui para uma visão de sociedade mais real, visto que o paradigma dominante é causal e determinista, produto da ciência moderna e do método científico, mas o elemento incerteza é característico da vida humana.

A incerteza, como coloca Moraes (2008), não é consequência de defeito na medição, mas característica de um princípio que rege a essência da matéria. A esse respeito, Heisenberg demonstrou não ser possível conhecer com exatidão todas as características da partícula, ou seja, quanto mais se sabe de uma característica, menos se sabe da outra. Richard Olson (1987, apud MORAES, 2012, p. 87) reflete que o princípio da incerteza traz "[...] luz e esperança àqueles que acreditam num universo materialista e determinista como sendo algo insuportável e sem valor." A impossibilidade de descrever objetivamente a natureza proposta por Heisenberg desafia a noção de causa e efeito, fragilizando o determinismo e mostrando a impossibilidade de certeza na vida. Nessa linha de pensamento, Morin (2000, p. 83) alerta para a necessidade do enfrentamento das incertezas, pois vivemos em uma época de

mudanças de valores na qual tudo está interconectado e no século XX descobrimos a sua imprevisibilidade:

> A aventura incerta da humanidade não faz mais do que dar prosseguimento, em sua esfera, à aventura incerta do cosmo, nascida de um acidente impensável para nós, e que continua no devenir de criações e destruições. Aprendemos, no final do século XX que, à visão do universo obediente a uma ordem impecável, é preciso substituir a visão na qual este universo é o jogo e o risco da dialógica (relação ao mesmo tempo antagônica, concorrente e elementar) entre a ordem, a desordem e a organização.

Para Morin (2000), ensinar a enfrentar as incertezas deveria ser o objetivo dos educadores, criando estratégias para que o enfrentamento dos imprevistos e a adaptação às mudanças produzidas pelo desenvolvimento do conhecimento. Os estudos de Prigogine sobre as estruturas dissipativas, considerada sistemas abertos, nos levam à análise de sistemas que, afastados do equilíbrio, têm uma riqueza de possibilidades que induzem a instabilidade. O caminho que o sistema toma na bifurcação, como já discutido no capítulo anterior, depende da história do sistema, de condições externas e de flutuações que possam ocorrer. Ilya Prigogine escreveu um belíssimo texto intitulado “Carta para as futuras gerações” na qual ele discorre sobre os desafios e as responsabilidades do século XXI, fazendo uma analogia entre as estruturas dissipativas e a sociedade e nos leva a pensar sobre a chance de construir uma realidade diferente dentro das várias possibilidades que nos aparecem. Segue um trecho da carta escrita por Prigogine (2000, s/p):

> Em minha mensagem às futuras gerações, gostaria de propor argumentos com o objetivo de lutar contra os sentimentos de resignação ou impotência. As recentes Ciências da Complexidade negam o determinismo; insistem na criatividade em todos os níveis da natureza. O futuro não é dado. O grande historiador francês Fernand Braudel escreveu: "Eventos são poeira". Isso é verdade? O que é um evento? Uma analogia com "bifurcações", estudadas na física do não-equilíbrio, surge imediatamente. Essas bifurcações aparecem em pontos especiais nos quais a trajetória seguida por um sistema se subdivide em "ramos". Todos os ramos são possíveis, mas só um deles será seguido. No geral não se vê apenas uma bifurcação. Elas tendem a surgir em sucessão. Isso significa que até mesmo nas ciências fundamentais há um elemento temporal, narrativo, e isso constitui o "fim da certeza", o título do meu último livro. O mundo está em construção, e todos podemos participar dela. Como escreveu Immanuel Wallerstein: "É possível – possível, mas não certo – criar ou construir um mundo mais humano e igualitário, melhor ancorado no racionalismo material". Flutuações do nível microscópico decidem que ramo emergirá em cada ponto de bifurcação e, portanto, que evento acontecerá. O apelo às Ciências da Complexidade não significa que estejamos sugerindo que as ciências humanas sejam "reduzidas" à Física. Nossa empreitada não é de redução, mas de reconciliação. Conceitos introduzidos das Ciências da Complexidade podem servir como metáforas muito mais úteis do que o tradicional apelo a metáforas newtonianas. As Ciências da Complexidade, assim, conduzem a uma metáfora que pode ser aplicada à sociedade: um evento é a aparição de uma nova estrutura social depois de uma bifurcação; flutuações são o resultado de ações individuais.

É importante ressaltar a importância do elemento incerteza na visão de Prigogine, já que vivemos em um universo em evolução. Moreira e Massoni (2011, p.179) fazem uma importante colocação quando comentam: "Para Prigogine, as escolhas, as possibilidades, a incerteza são ao mesmo tempo uma propriedade do universo e próprias da existência humana". Esses mesmos autores acrescentam que se abrem novos pontos de vista para a ciência, na qual a verdade científica não é mais absoluta, dando espaço ao incerto, para uma ciência em que a estabilidade deu espaço para a evolução e a mudança.

Evolução, organização e auto-organização também são preceitos de um sistema *autopoiético.* Os autores Humberto Maturana e Francisco Varela (1995) definiram o conceito de *autopoiese*. Segundo Capra (1996), o termo *Auto* significa "si mesmo" fazendo referência à autonomia e *poiese* significa "criação". Assim o termo *autopoiese* tem como significado "autocriação" ou "autoconstrução". Em suas pesquisas, os autores tiveram como foco a organização dos sistemas vivos e não a estrutura, concluindo que todo ser vivo é um sistema autopoiético. Capra (1996, p. 89) contribui para o entendimento:

> Trata-se de uma rede de processos de produção ou da transformação, nos quais a função de cada componente consiste em participar da produção ou da transformação de outros componentes da rede. Deste modo, toda a rede, continuamente, "produz a si mesma".

É possível identificar que a autopoiese é conceito importante quando tratamos do ser humano como aprendiz. Maturana (1999, apud MORAES, 2008) justifica que é a relação organismo/meio que define as mudanças estruturais do organismo na trajetória de vida, e não o agente externo, sendo este um coparticipador. Nesse sentido, Santos (2009) analisa que a autopoiese lembra as palavras de Paulo Freire: "conhecimento não se transmite, se constrói". Mas a concepção tradicional da educação, baseada no paradigma cartesiano, coloca o aprendiz como mero receptor, sendo a percepção entendida apenas na via de fora para dentro. A autopoiese coloca o sujeito em um lugar de destaque, como produtor da vida e do conhecimento, responsável pela reestruturação de si mesmo (SANTOS, 2009).

Esse cenário de instabilidade, evolução e auto-organização, proposto pela ciência contemporânea, fez o filosofo francês Edgar Morin perceber a necessidade de se elaborar uma nova percepção do conhecimento, uma reforma no pensamento, algo que não simplifique e que não reduza. Assim, Morin (2011, p. 13) propõe o conceito de *complexidade*, que tem origem no termo *complexus,* mais claramente compreendido como:

> É um tecido (complexus: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno e do múltiplo. Num segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos que constituem nosso mundo fenomênico.

Morin (2011, p.5) complementa que a palavra complexidade

> suporta, ao contrário, uma pesada carga semântica, pois que traz em seu seio confusão, incerteza e desordem. Sua primeira definição não pode fornecer nenhuma elucidação: é complexo o que não pode se resumir a uma palavra chave, o que não pode ser reduzido a uma ideia simples.

Para compreender a reflexão epistemológica de Edgar Morin a respeito da complexidade, é preciso entender, segundo Morin (2011, p.59), que vivemos em uma crise proporcionada pelo chamado *paradigma da simplificação*, que propõe como princípios-chave o modelo que valoriza a ordem no universo, que vê o uno e o múltiplo separadamente. "[...] o princípio da simplicidade separa o que está ligado (disjunção), ou unifica o que é diverso (redução)". A base deste pensamento é o modo como a transmissão do saber se estabeleceu nos últimos séculos e que foi base dos gigantescos avanços das ciências e da tecnologia. Como exemplo Morin (2011, p. 59) cita o homem, que é um ser biológico e cultural que vive no mundo das ideias, linguagem e consciência. Mas o autor coloca que o paradigma da simplificação obriga a desajuntá-las, como o faz no trecho:

> Vamos, pois estudar o homem biológico, no departamento de biologia, como uma ser anatômico, fisiológico, etc. e vamos estudar o homem cultural nos departamentos das ciências humanas e sociais. Vamos estudar o cérebro como órgão biológico e vamos estudar a mente, *the mind*, como função ou realidade psicológica. Esquecemos que um não existe sem a outra, ainda mais que um é a outra ao mesmo tempo, embora sejam tratados por termos e conceitos diferentes.

Essa ordem e simplificação geraram grandes desenvolvimentos em todas as áreas do conhecimento, mas também problemas de percepção em relação ao global, dificultando a articulação das partes/todo em relação ao contexto. A questão colocada por Morin (2000) é que os problemas enfrentados pela sociedade não são parcelados, são cada vez mais multidimensionais. O homem tem tido dificuldade em encontrar solução para graves problemas sociais e ambientais, devido à educação especializada. O sistema de ensino concebe um modelo disciplinar que estimula os alunos, desde cedo, a pensar de forma disciplinar, promovendo uma inteligência cega no modo como se organiza o saber, pois, as ciências excessivamente especializadas não se comunicam e saberes produzidos não são integrados, dificultando a visão multidimensional da realidade e não estimulando a

criatividade dos estudantes. Certamente esse é o desafio da educação no século XXI. Somente uma transformação nas bases da educação, que, sem dúvida, começa na formação de professores com o desenvolvimento de um "pensar de forma complexa", pode mudar esse cenário fragmentando e especializado para uma visão mais sistêmica do processo de ensino e aprendizagem.

No desenvolvimento do "pensar de forma complexa", Moraes (2008, p. 96) ressalta que Edgard Morin em sua obra *A inteligência da complexidade*, em parceria com Jean Louis Le Moigne, apresenta cinco princípios para um pensar complexo que são a base da referência epistemológica da complexidade.

> São esses os princípios fundamentais que constituem a espinha dorsal epistemológica, ou então, os novos pilares que nos ajudaram a sustentar o desenvolvimento de metodologias e estratégias de ensino-aprendizagem facilitadoras dos processos de construção do conhecimento, bem como do desenvolvimento de habilidades, competências, atitudes e valores mais adequados e pertinentes a esse momento evolutivo da humanidade.

Esses princípios ou operadores cognitivos, como também chamados, são pontos de partida que possibilitam, de acordo com Morin (apud MORAES, 2008), uma nova compreensão da educação, novos raciocínios que possibilitam a religação dos saberes, que ajudam a "pensar bem".

O *princípio sistêmico organizacional* pressupõe a relação intrínseca entre as partes e o todo. De acordo com Morin (2000, p. 37), "[...] O todo tem qualidades ou propriedades que não são encontradas nas partes, se estas estiverem isoladas umas das outras, e certas qualidades ou propriedades das partes podem ser inibidas pelas restrições provenientes do todo". Capra (1996) acrescenta que as propriedades vitais de um organismo, ou sistema vivo, são propriedade do todo que as partes isoladamente não contêm pelo fato de essas propriedades surgirem das interações entre as partes. Quando o sistema é decomposto, essas interações deixam de existir. Assim, o todo é diferente da simples soma das partes. Esse princípio é claramente antagônico ao reducionismo por Descartes, base do pensamento científico moderno, que propõe a decomposição do problema em partes até que fiquem simples de serem resolvidas.

A ideia do princípio sistêmico organizacional é que a realidade não se revela pela análise da simples decomposição. No caso da educação, seria muito simplista analisar estudante, professor e estratégias de ensino separadamente, pois eles compõem uma rede de relações. Moraes (2008) acrescenta que as estratégias pedagógicas devem valorizar aspectos verticais e horizontais da problemática, implicando interdisciplinaridade e

transdisciplinaridade. Sabemos que o ser humano é composto de razão e emoção, mas geralmente somente a razão é levada em conta na aprendizagem. As estratégias de ensino devem favorecer a aprendizagem integrada que estimulem os diferentes sentidos, tomando em consideração o emocional, a imaginação, intuição e colaboração (MORAES, 2008).

O *princípio hologramático,* segundo Morin (2011, p. 74) tem como característica "[...] não apenas a parte está no todo, mas todo na parte. O princípio hologramático está presente no mundo biológico e no mundo sociológico". O princípio é assim chamado pela característica que um holograma tem de que cada parte dele contém a informação do todo. Podemos perceber o princípio hologramático no indivíduo que representa a sociedade. A sociedade como todo aparece em cada indivíduo, por meio da linguagem, da cultura e das normas. Também verificamos esse padrão nos fractais e nas células que contêm a totalidade do patrimônio genético do corpo, comprovando que este princípio se apresenta indistintamente no mundo social, físico e biológico (MORAES, 2008).

O *princípio retroativo* transgride a causalidade linear. Morin (2005, p. 20) coloca como exemplo "[...] A técnica produzida pelas ciências transforma a sociedade, mas também, retroativamente, a sociedade tecnologizada transforma a própria ciência". Assim, como a causa age sobre o efeito, o efeito retroage sobre a causa, modificando-a, por meio de processos autorreguladores do sistema. Assim, o efeito produzido pode não ser o esperado, dada a natureza complexa dos fenômenos. Moraes (2008, p. 100) coloca como exemplo do princípio retroativo um fenômeno muito comum nas escolas hoje "[...] o aumento da gravidade de situações de conflito ou de violência nas escolas, quando uma determinada ação pode provocar uma reação ainda mais violenta daquele que se sentiu violentado". Dessa forma, como coloca Prigol (2013), podemos constatar que ações em sala de aula podem gerar efeitos nos estudantes que retroagem no docente, gerando um círculo de causas e efeitos que se transformam reciprocamente.

O *princípio recursivo*, assim como o princípio retroativo, rompe a linearidade da causa-efeito, mas vai além da autorregulagem, sendo também auto-organizadora. Assim, Morin (2007, p. 46) exemplifica

> Num processo autogerador ou autoprodutor ou autopoiético ou auto-organizador, os produtos são necessários à sua própria produção. Nós somos os produtos de um processo de reprodução, mas esse processo só pode continuar se nós, indivíduos, nos acasalarmos para continuar o processo.

Esse princípio permite entender melhor a relação entre indivíduo e sociedade e a maneira como um influencia ao outro, nas relações presentes na sociedade. Moraes (2008) reflete que os princípios retroativo e recursivo definem um tipo de causalidade circular, de natureza complexa. Assim, a causalidade circular é a mais comum, presente nos sistemas vivos e nas relações sociais. A causalidade linear não deixa de existir, mas é a exceção e não a regra. Nesse sentido, Moraes (2008) acrescenta que as práticas pedagógicas e as pesquisas educacionais são impregnadas do princípio recursivo. A teoria e prática estão constantemente produzindo-se mutuamente. A autora também chama a atenção para a necessidade de trabalhar diferentes estratégias, pois muitas vezes a utilização de uma única estratégia favorece um tipo de pensamento previsível e que não explica a complexidade da realidade, como Moraes (2008, p. 101) alerta:

> Portanto, as práticas pedagógicas precisam adotar procedimentos abertos às flutuações, as bifurcações, às incertezas e às mudanças sempre que necessário. Isto faz com que o seu planejamento tenha que ter flexibilidade estrutural, já que a previsibilidade não estaria, assim, tão assegurada. Toda a ação educacional precisa ser flexível e sempre estar em construção e reconstrução quando for necessário.

Percebemos, assim, a complexidade das relações em sala de aula e a necessidade de considerar os multifatores que compõem a prática pedagógica, na qual uma análise linear seria muito pobre para expressá-la. Sobre isso, Santos (2009, p 35) faz a seguinte reflexão:

> Aprendizagem é um processo progressivo em anel retroativo-recursivo que transgride a lógica Clássica, em direção a um nível cada vez mais amplificado, integrado ao todo. Esse conceito de aprendizagem não visa a acumulação de conhecimentos, mas pretende que os alunos dialoguem com os conhecimentos, reestruturando-se e retendo o que é significativo. Aprender é uma construção pessoal, autopoiética, interagindo com os conhecimento em volta.

O *princípio dialógico* busca superar a dicotomia entre os antagônicos. Morin (2000) reflete que a dialogia deve unir e complementar a relação indissociável que existe entre opostos como ordem/desordem, mudança/permanência, objetividade/ subjetividade, razão/emoção promovendo trocas, simbiose e retroações e também demonstrando a complementariedade entre esses pares. Dessa forma, o pensamento dialógico une noções que classicamente deveriam ser opostas, como Moraes (2008, p.103) explora:

> A dialogicidade dos processos pressupõe, metodologicamente, a necessidade de compreender e melhor explorar as relações sujeito/objeto, individuo/contexto bem como as influências da sociedade, dos ambientes ou da comunidade sobre os sujeitos em processos de formação.

Assim, o princípio da dialogicidade não pode ser vista apenas como o ato de dialogar, mas de dialogar com o diferente, proporcionado relações que aparentemente não admitem diálogo. Esses princípios-bases buscam elucidar o desafio do "pensar complexo" procurando orientar o pensamento para o inesperado e o incerto, para o todo, para o não linear, para o conhecimento de que o efeito interfere na causa, para a complementariedade dos diferentes. Assim, rompem-se as barreiras disciplinares, saindo das concepções tradicionais.

3.3 TRANSDISCIPLINARIDADE

Quando se fala em rompimento de barreiras disciplinares, vários termos surgem, sendo necessário diferenciar alguns termos comuns que geram grande confusão, como multidisciplinaridade, pluridisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade. Japiassú (1976, apud BEHRENS, 2012) coloca que a multidisciplinaridade aproxima as disciplinas em torno de um tema, mas não existe a relação e nem a cooperação entre elas. A pluridisciplinaridade corresponde à justaposição de disciplinas com domínio de conhecimentos vizinhos, como a física e a matemática. Nicolescu (1999, p. 52) enriquece essa definição acrescentando que a "[...] pluridisciplinaridade diz respeito ao estudo de um objeto de uma mesma e única disciplina por várias disciplinas ao mesmo tempo"; por exemplo, o autor coloca a possibilidade de um quadro ser estudado pela história da arte, juntamente com a disciplina de história, geometria, física entre outras. A interdisciplinaridade é enriquecida com a interação das disciplinas, permitindo transferência de métodos de uma para outra. Nicolescu (1999) dá como exemplo a física nuclear e a medicina, na qual métodos de uma disciplina são utilizados no estudo da outra, implicando, segundo Japiassú (1976, apud BEHRENS, 2012), na relação e cooperação entre as disciplinas. Niscolescu (1999) ressalta que a multi, pluri e interdisciplinaridade ultrapassam as disciplinas aproximando os saberes, no entanto, a sua finalidade permanece na pesquisa disciplinar.

A transdisciplinaridade vai além, como coloca Nicolescu (1999, p.53), pois "[...] diz respeito ao que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento". Para compreendermos o significado da transdisciplinaridade, é necessário entender que ela não segue a lógica clássica e sim, a lógica do terceiro termo incluído. Como na física quântica os fenômenos não obedecem à lógica clássica, dada a possibilidade de a radiação se comportar como onda ou como partícula, dependendo de como se observa o fenômeno, ela permite a formulação de uma lógica

alternativa, chamada por Nicolescu (1999) de lógica do terceiro termo incluído. Santos (2009) ressalta que a lógica clássica é binária, possibilitando apenas dois valores de verdade: verdadeiro ou falso, fato que não ocorre na lógica do terceiro termo incluído, como verificamos na tabela a seguir.

Quadro 1 – Comparação entre a lógica clássica e a lógica do terceiro termo incluído:

Lógica clássica	**Lógica do terceiro termo incluído**
O axioma da identidade: A é A	O axioma da identidade: A é A
O axioma da não contradição: A não é não A	O axioma da não contradição: A não é não A
O axioma do terceiro excluído: Não existe um terceiro termo T que é ao mesmo tempo A e não A	O axioma do terceiro incluído: Existe um terceiro termo T que é ao mesmo tempo A e não A

Fonte: Nicolescu (1999, apud SANTOS, 2009, p.63).

A lógica clássica, de acordo com Santos (2009), tem permeado a mente humana e é considerada como um fundamento da própria estrutura da realidade, mas a mecânica quântica nos mostra que a natureza permite que exista a interação entre pares contraditórios. Assim, a diferença entre as lógicas está no terceiro axioma, no qual a lógica clássica não permite interação entre opostos, mas é possível na lógica do terceiro termo incluído. Santos (2009, p. 64) acrescenta:

> [...] na lógica clássica, não admite a interação entre os opostos (o que é e o que não é). Tendo por base a não contradição, leva a uma concepção disciplinar do conhecimento, vale dizer, à sua fragmentação, erigindo fronteiras rígidas e enclausurando-o num único nível de realidade. Nestes termos, opera-se com a dicotomia cartesiana sujeito-objeto. Valoriza a objetividade e não a contradição. O que leva como consequência, à crença a neutralidade do conhecimento.

O fato de a lógica clássica somente admitir dois valores de verdade nutriu a fragmentação e as fronteiras entre as disciplinas, dificultando o diálogo. Opondo-se a essa redução, Nicolescu (1999, p.30) propõe a existência de diferentes níveis de realidade, definindo como realidade: "[...] Entendo por realidade, em primeiro lugar, aquilo que resiste às nossas experiências, representações, descrições, imagens ou formalizações matemáticas". Assim, um nível de realidade, para Nicolescu (1999), é um conjunto de sistemas invariantes sob a ação de um número de leis gerais; por exemplo, as leis quânticas que regem as entidades quânticas são radicalmente diferentes das leis do mundo macrofísico. Dessa forma, o nível de

realidade é diferente, quando, passando de um ao outro, houver ruptura das leis e dos conceitos fundamentais. A descontinuidade que se manifesta no mundo quântico também se manifesta na estrutura dos níveis de realidade, mas isso não impede que os dois mundos coexistam e a existência humana é prova disso, já que o corpo humano tem ao mesmo tempo estrutura macrofísica e estrutura quântica (Nicolescu, 1999).

A partir do desenvolvimento da ideia dos *diferentes níveis de realidade*, da *lógica do terceiro termo incluído* e da *complexidade* Nicolescu (1999) determina o método transdisciplinar. Para o autor, o espaço entre os diversos níveis de realidade está repleto de possibilidades e isso diferencia a pesquisa disciplinar da pesquisa transdisciplinar. Nicolescu (1999, p.54) esclarece que a "[...] transdisciplinaridade se interessa pela dinâmica gerada pela ação de vários níveis de Realidade ao mesmo tempo". É importante ressaltar que a transdisciplinaridade passa obrigatoriamente pelo conhecimento disciplinar. Não se trata de trocar uma pela outra, mas de analisar a complementariedade entre as duas.

A abordagem transdisciplinar nas práticas pedagógicas é um desafio, pois tem que superar as dicotomias, o reducionismo do paradigma newtoniano-cartesiano e capitalismo que impregnam nossa educação, como aponta Behrens (2012, p.154):

> A lógica capitalista influencia de maneira contundente a educação e a proposição dos processos de ensinar e de aprender focalizados no ter, mas que requerem uma transposição imediata deste paradigma reducionista para uma nova visão de mundo transdisciplinar focalizados no ser, sob pena de comprometer de maneira irreversível ainda mais o universo como um todo.

A prática transdisciplinar não aceita as práticas meramente instrucionais e memorísticas. O conhecimento visto como pronto e acabado e o professor como detentor do conhecimento. Moraes (2012b) comenta que essa prática exige um processo criativo, pautada no diálogo entre estudantes e docentes, no qual o estudante participe da produção do seu conhecimento com autonomia e responsabilidade. Uma educação para a complexidade e para a transdisciplinaridade prioriza estratégias que valorizam os diversos espaços de aprendizagem, complementaridade de processos e interconexões. Para isso, é necessário ampliar os conceitos de ensino e aprendizagem, e repensar todo o ato educacional, passando a desenvolvê-lo em diferentes dimensões humanas, já que a realidade se modifica e é multidimensional, como aponta Moraes (2012b). Esse encaminhamento exige do docente, como coloca Behrens (2012), que o professor faça uma profunda reflexão sobre a docência e seu papel como profissional e como pessoa, para que ele possa interferir na educação dos cidadãos e produzir uma sociedade mais justa e humanitária.

4 FORMAÇÃO DOCENTE NO ENSINO SUPERIOR

Os desafios propostos pela chegada do século XXI têm exigido da sociedade mudanças e transformações. A chamada sociedade do conhecimento requer mudanças em todos os setores da vida, e com a educação não é diferente. Cada vez mais se exige no mundo de trabalho profissionais versáteis preparados para enfrentar problemas novos e situações adversas. Não só o mundo de trabalho, mas a própria natureza tem impelido a que os seres humanos sejam crescentemente mais criativos para enfrentar problemas graves como a crescente demanda por água e recursos energéticos, poluição, aquecimento global, entre outros.

É incontestável a necessidade de que tanto a educação básica como o ensino superior promovam uma educação e assegurem as condições aos estudantes para que estes se tornem cidadãos conscientes e profissionais qualificados para atuar em sua área no século XXI. A formação adequada dos docentes, tanto da educação básica quanto do nível superior, é condição prioritária para o desenvolvimento de uma educação de qualidade para uma sociedade com tantos desafios a enfrentar, já que os professores são membros fundamentais nas instituições de ensino. Mas, infelizmente, a educação que temos nas escolas e universidades ainda é em grande maioria pautada na mera reprodução fragmentada do conhecimento. O aluno assiste às aulas passivamente, é avaliado de forma única, em geral, exigindo a reprodução do conhecimento a que assistiu passivamente, e, muitas vezes, sem entendimento nenhum, pois o ensino é focalizado só por memorização dos conteúdos, que logo são esquecidos. E assim se perpetua um ciclo, pois muitos desses alunos acabam por tornar-se professores reproduzindo a mesma forma de ensino a que foram sujeitados.

Uma possibilidade de quebrar esse ciclo da reprodução do conhecimento é promover cursos de formação de professores, mediante os quais, além de o professor ter contato com novas metodologias de ensino que superem a reprodução e memorização, o futuro docente também seja levado a refletir sobre a sua prática pedagógica, pois somente com a reflexão madura e consciente poderemos ter esperança de alguma mudança. Essa mudança na postura do professor é uma necessidade da sociedade, que impõe a transformação da escola num centro de educação mais significativa, criativa, autônoma e humana, na qual o estudante seja o produtor do seu conhecimento. Nesse sentido, Behrens (2011, p.55) assinala:

> A ação pedagógica que leve a produção do conhecimento e que busque formar um sujeito crítico e inovador precisa enfocar o conhecimento como provisório e relativo,

> preocupando-se com a localização histórica da sua produção. Precisamos estimular a análise, a capacidade de compor e recompor dados, informações e argumentos.

Entretanto, nos cursos de licenciatura em Física ainda se observa uma formação extremamente voltada para a racionalidade técnica e um positivismo exacerbado, sem levar em consideração que o conhecimento está sempre em movimento.

4.1 FORMAÇÃO INICIAL

No Brasil, a formação para atuação dos docentes na educação básica é regida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) n.º 9.394/96, que coloca no artigo 62 os requisitos necessários para o exercício da docente da educação básica (BRASIL, 1996):

> Art. 62. A formação de docentes para atuar na educação básica far-se-á em nível superior, em curso de licenciatura, de graduação plena, em universidades e institutos superiores de educação, admitida, como formação mínima para o exercício do magistério na educação infantil e nos 5 (cinco) primeiros anos do ensino fundamental, a oferecida em nível médio na modalidade normal.

A legislação propõe a formação pedagógica para os professores da educação básica, seja pela licenciatura, seja pela formação de nível médio em magistério, no caso do ensino fundamental, para atuar nos primeiros anos. No caso dos professores do ensino superior, as exigências para o exercício da profissão estão no artigo 66 da LDBEN 9.394/96 (BRASIL, 1996):

> Art. 66. A preparação para o exercício do magistério superior far-se-á em nível de pós-graduação, prioritariamente em programas de mestrado e doutorado. Parágrafo único. O notório saber, reconhecido por universidade com curso de doutorado em área afim, poderá suprir a exigência de título acadêmico.

Na docência do ensino superior são os cursos *stricto sensu* que formam os professores, independente de existir formação pedagógica nesses cursos. Dessa forma, cada vez mais é valorizado nos processos de seleção para as instituições de ensino superior (IES) o fato de o professor ser um pesquisador com titulação de doutorado, especialista em um assunto, ficando para segundo plano uma formação voltada para a docência. Sobre esse aspecto, Zabalza (2004, p. 120) adverte:

> É fundamental que os professores de universidades pesquisem, mas isso não é funcional para o projeto de formação, no qual participam como formadores,

> deixando a docência à margem (esse *tempo perdido* entre sessões de trabalho no laboratório).

Esse mesmo autor coloca que os professores veem as exigências da pesquisa como algo distinto e, muitas vezes, oposto à dedicação à docência, com possibilidades de acabar com o mau atendimento, tanto à docência como à pesquisa. Pimenta e Anastasiou (2002, p.190) também argumentam nesse sentido:

> No entanto, verifica-se que ser um reconhecido pesquisador, produzindo acréscimos significativos aos quadros teóricos existentes, não é garantia da excelência no desempenho pedagógico. Sabemos que, como a pesquisa e a produção do conhecimento são objetivos das atividades de pós-graduação, os docentes, quando participam desses programas, sistematizam e desenvolvem habilidades próprias ao método de pesquisa.

Outra questão muito relevante que Zabalza (2004) nos traz é a tendência de a universidade estar direcionada para a especialização dos estudos e do perfil dos profissionais, tornando o professor cada vez mais especialista e também individualista. Isso dificulta as conexões horizontais entre as áreas disciplinares e cada professor tende a restringir suas atividades dentro da sua especialidade dificultando a implementação de projetos globais. Os professores universitários têm forte disposição a construir sua identidade e desenvolver seu trabalho de forma individual. Massem e Potman (apud ZABALZA, 2004, p. 118) definiram a universidade como "[...] uma *burocracia profissional,* a qual é constituída por especialistas que trabalham de maneira isolada, uma espécie de célula fechada e autônoma." Esse comportamento dificulta ações inovadoras que superem a ação individual, gerando forte resistência a tentativas de ruptura dessa tendência individualista (ZABALZA, 2004).

Mais um ponto ainda não superado é o senso comum que para ser um bom professor basta *saber* determinados conteúdos. Pimenta e Anastasiou (2002) acrescentam que é pressuposto que por dominar a área da disciplina o profissional tem competência automática para lecionar, não se cogitando que esse profissional talvez tenha dificuldades para *ensinar*. A propósito, podemos nos perguntar: o que faz um bom professor? O que significa ensinar bem ou formar bons alunos? Zabalza (2004) questiona o papel de um bom professor e alerta que somente ter um bom domínio dos conteúdos não garante uma docência relevante, pois adotar uma metodologia que oportunize explicar os conteúdos de forma clara, de maneira crítica, que envolvam as questões relativas ao ensino, ou seja, a preocupação com entendimento do aluno, questão relativa à aprendizagem, também é atribuição do bom professor. O autor coloca que no ensino universitário poucos professores se preocupam se os

alunos aprendem, eles acreditam que essa é uma responsabilidade do estudante. Mas, essa é uma visão incompleta, de acordo com Zabalza (2004, p. 123):

> Quando falamos sobre ensino, aludimos também o processo de aprendizagem: ensinar é administrar o processo completo de ensino-aprendizagem que se desenvolve em um contexto determinado, sobre certos conteúdos específicos, junto a um grupo de alunos com características particulares.

Assim, percebemos que ensinar significa "fazer aprender". Não se ensina se o outro não aprende, mas nas universidades o modelo academicista, que tende para o excesso dos conteúdos acaba por não atender às necessidades dos estudantes para uma aprendizagem significativa. Por outro lado, um paternalismo poderia dificultar que os alunos assumam a sua responsabilidade no processo de aprendizagem. A questão é delicada e exige o bom senso da aplicação da máxima "não oferecer menos apoio que o necessário nem mais que o suficiente" (ZABALZA, 2004).

4.2 PRÁTICA PEDAGÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA

O ato de ensinar faz parte do dia a dia de qualquer ser humano. Vaillant e Marcelo (2012) nos lembram que, consciente ou inconscientemente, em algum momento da vida, ensinamos algo a outras pessoas, e esse processo pode ocorrer de forma racional e programada, seguindo um método ou de forma intuitiva. De qualquer maneira que aconteça, ao praticarmos esse ensino deixamos marcas nas pessoas e isso não é exclusividade dos docentes. Assim, o processo de formação de professores começa muito antes dos estudantes iniciarem suas vidas acadêmicas, pois quando somos estudantes o simples de fato de observar nossos professores dando aula já promove aprendizagem por observação. Vaillant e Marcelo (2012, p.53) acrescentam:

> Isso ocorre com os futuros docentes. Trazem consigo uma série de crenças e imagens, baseadas em suas experiências prévias, que influem na forma como enfrentam a complexa tarefa da sala de aula. Eles realizam variadas aprendizagens "informais" em sua prolongada permanência em escolas e centros de educação média.

Os autores ainda colocam que as crenças desenvolvidas ao longo da vida estão subjacentes a qualquer tipo de conhecimento e que quanto mais antiga forem elas, mais difícil de mudá-las. Geralmente, não existe nos cursos de formação uma integração adequada entre o conhecimento proposicional dos formadores e o conhecimento experiencial do estudante, que

poderia ser feita por meio da utilização de estratégias metodológicas que permitissem a conexão entre os marcos conceituais e as pré-concepções dos estudantes. Pajares (1992, apud VAILLANT E MARCELO, 2012) foi um dos pesquisadores que mais contribui com a análise das crenças na educação. Suas pesquisas mostram que os alunos ingressam em cursos de formação para docentes com imagens pessoais a respeito do ensino e do que representa ser um "bom professor", sendo que essas imagens permanecem muitas vezes inalteradas ao longo da sua formação e acompanham o docente em suas práticas de ensino. Essas crenças pessoais atuam como filtros durante a formação dando sentido aos conhecimentos e às experiências, mas também podem atuar como barreiras, limitando as mudanças (FEIMAN-NEMSER, 2001, apud VAILLANT e MARCELO, 2012).

As crenças dos professores com base nos estudos de Pajares (1992, apud VAILLANT E MARCELO, 2012, p. 55) podem ser apresentadas no quadro que segue:

Quadro 2 – As crenças dos professores

Formam-se em tenra idade e tendem a perpetuar-se, superando contradições causadas pela razão, o tempo, a escola ou a experiência.	As subestruturas de crenças, como são as educativas, devem ser compreendidas em termos de conexões com as demais crenças do sistema.
Os indivíduos desenvolvem um sistema de crenças que se estrutura ao longo do processo de transmissão cultural.	Devido a sua natureza e origem, algumas crenças são mais indiscutíveis que outras.
Os sistemas de crenças têm uma função adaptativa ao ajudar o indivíduo a definir e compreender o mundo e a si mesmo.	Quanto mais antiga seja uma crença, mais difícil é mudá-la. As novas crenças são mais vulneráveis à mudança.
Conhecimento e crenças estão inter-relacionados, mas o caráter afetivo, avaliativo e episódico das crenças transforma-se em um filtro através do qual interpreta-se todo novo fenômeno.	A mudança de crenças nos adultos é um fenômeno muito raro. Os indivíduos tendem a manter crenças baseadas em conhecimento incompleto ou incorreto.

Fonte: VAILLANT, Denise; MARCELO, Carlos. Ensinando a Ensinar: as quatro etapas de uma aprendizagem (2012, p. 55).

Percebemos pela análise do quadro acima que as crenças que os professores têm a respeito do ensino desenvolvidas ao longo da vida são poderosas e podem influenciá-los de forma positiva ou negativa. No caso de essa influência ser negativa, a formação inicial tem o papel preponderante de promover a reflexão que almeja a mudança de crença, sendo esse um dos muitos papéis da formação inicial.

A formação inicial de professores enfrenta muitos problemas atuais e, entre estes, Gatti (2009) aponta que um deles é a desconexão entre as disciplinas pedagógicas e as específicas, gerando uma dicotomia entre essas duas frentes. Por não conseguir ver relação entre as duas, pela falta de reflexão do fazer pedagógico e pela força das crenças e dos valores desenvolvidos ao longo da vida acadêmica, o futuro docente acaba por reproduzir no ensino

aquilo que viu seu professor das disciplinas específicas fazer, não levando em conta novas possibilidades de ensino, o uso de metodologias inovadoras que ultrapassem a mera reprodução do conhecimento. Isso pode ser evidenciado pelo estudo de Camargo (2003, apud CORTELA E NARDI, 2008) quando afirma que as marcas deixadas nos futuros docentes pelos professores das disciplinas específicas são mais evidentes do que aquelas deixadas pelos docentes das disciplinas pedagógicas. "[...] eles podem 'aprender' a ministrar suas aulas utilizando-se diversas metodologias, mas ao executá-las, se utilizam das formas de ensino tradicional" (CORTELA e NARDI, 2008, p. 38). Nesse estudo feito por Cortela e Nardi (2008), com o objetivo de se analisar uma possível reestruturação curricular do curso de licenciatura em Física de uma Universidade Pública de São Paulo, verificou-se que a maioria dos docentes diz tentar propor mudanças utilizando diferentes recursos didáticos, diversos critérios de avaliação, entre outros aspectos. Esses docentes também colocam que apesar da aula "transmissionista", não acreditam que a aprendizagem ocorra dessa forma. No entanto, a análise dos dados da pesquisa leva a outra conclusão, como constatam Cortela e Nardi (2008, p. 48):

> No entanto, o quadro também revela que a maioria dos docentes ainda trabalha de forma bastante tradicional, servindo-se de metodologias observadas na época em que ainda eram alunos; empregando livros que utilizaram em suas graduações; usando dos mesmos critérios e instrumento de avaliação com que foram avaliados. É o velho modelo de ensino se repetindo; fazer como aprenderam a fazer. Ou seja, na ausência de alternativas que estejam incorporadas ao seu *saber fazer*, utilizando-se de práticas observadas quando ainda eram alunos, usando, inclusive, aqueles que criticaram.

Na continuidade da pesquisa sobre a reestruturação curricular do curso de licenciatura em Física, de uma Universidade Pública de São Paulo, Camargo e Nardi (2008) entrevistaram estudantes do curso de licenciatura em física questionando como estes viam o processo de reestruturação do curso. Os principais pontos colocados pelos estudantes foram a necessidade da implantação de disciplinas pedagógicas na qual essas disciplinas tivessem "[...] atividades que explicitassem a transposição didática e o "saber fazer" dos futuros professores" (CAMARGO E NARDI, 2008, p. 63). Isso reitera as palavras de Gatti (2009) sobre os problemas da formação e explica a falta de segurança e preparo para iniciar a vida docente que muitos estudantes colocaram. Apresentamos outros pontos importantes detectados nesse estudo:

Quadro 3 – Pontos abordados pelos estudantes de licenciatura em Física

Qualidade do corpo docente em suas diversas áreas de atuação e de pesquisa;
A deficiência de formação didático-pedagógica da maioria dos docentes que ministram disciplinas de conhecimentos específicos no curso de licenciatura;
A dicotomia teoria – prática nas disciplinas de Física (teoria/ laboratório);
Necessidade de aumento da carga horária das disciplinas de prática de ensino e estágio supervisionado;
A necessidade de contratação de docentes ligados ao ensino de Física para lecionar no curso de Física;
Maior atenção às disciplinas do departamento de Educação, principalmente a Prática de ensino e Estágio Supervisionado.

Fonte: Adaptado pela autora a partir de CAMARGO E NARDI (2008).

Dentre essas muitas considerações feitas pelos estudantes, ainda existe a importante colocação sobre a ênfase aos aspectos instrumentais da Física, o destaque para a resolução mecânica de exercícios em detrimento da formação conceitual. Camargo e Nardi (2008, p. 67) acrescentam à fala dos estudantes:

> Estes afirmam que muitas vezes os docentes adotam uma concepção sobre a relação ensino aprendizagem fundamentada em um processo que envolve exclusivamente a memorização e a fixação dos conteúdos ministrados. Dado o foco apenas em aspectos ligados à resolução dos exercícios passados na lousa, por meio de listas de exercícios e problemas fechados. Reclamavam da concepção de avaliação utilizada pelos docentes, principalmente aqueles que ministram as disciplinas de conhecimentos específicos: a qual se baseia em uma concepção que favorece a correlação mecânica entre os conteúdos de Física ministrados durante as aulas com os que os licenciandos devem responder as provas.

Por essas análises, percebemos que a desarticulação entre as disciplinas pedagógicas e as especificas é um grave problema, pois os docentes têm grande dificuldade em fazer a transposição didática do conteúdo específico em conhecimento pedagógico, restando para estes reproduzir o que viram como estudantes apoiando-se no ensino livresco, na avaliação meramente reprodutora e na continuidade de um ciclo que parece não ter fim. Em geral, é o livro na graduação de Física que dita a direção do ensino, determinando o que e como deve ser ensinando. Moreira (2000, p.95) faz uma importante ilação a esse respeito:

> Passemos ao ensino da graduação em Física. Aí parece que nunca sairemos do paradigma do livro. Em nosso ensino de graduação tanto nas disciplinas de Física

> Geral como nas avançadas, é o livro de texto que determina o nível do curso, a ementa, o programa, a sequencia das aulas, enfim, o plano de ensino da disciplina.

Isso pode ser percebido claramente se pegarmos o plano de ensino da disciplina de Física geral de qualquer curso de graduação e o compararmos com os capítulos dos livros didáticos adotados. A evolução dos livros de Física é descrita por Holbrow (1999, apud MOREIRA, 2000), que relata que um dos primeiros livros foi um o *Tratado de Física* de Adolphe Ganot (1868), um livro descritivo e enciclopedista. Essa vertente foi em parte superada por Milikan (1902, 1920), cuja proposta era a de que a atividade de laboratório deveria ser inserida no ensino de Física. Holbrow coloca que na década de 1940 surge o livro de Sears & Zemansky com um estilo mais atual e apresentação gráfica diferenciada. Em seguida surge o famoso Halliday & Hesnick que se tornou o patriarca, segundo palavras de Holbrow, de uma família de livros de Física que só aumenta desde a década de 1960. A família aumenta e o problema da Física introdutória continua, como critica Moreira (2000, p. 96):

> Esta família é grande e continua aumentando, mas o ensino da Física introdutória segue problemático e, provavelmente, persistirá assim, na medida em que nos mantivermos exclusivamente no paradigma do livro texto, como se faz há, pelo menos, 150 anos.

Diante dessa estrutura tradicional e transmissionista de ensino, parece só haver uma maneira de avaliar: verificando se o aluno consegue reproduzir ou não o que aprendeu. A estrutura do ensino é muito próxima da sequência: aulas teóricas com aporte do livro texto, resolução de listas de exercícios como um roteiro para o enfrentamento da avaliação. Na tão temida prova, os exercícios similares aos das listas se repetem e os alunos reproduzem muitas vezes sequências decoradas de resolução sem entendimento algum. No que diz respeito à avaliação, esta tem sido resistente às mudanças culturais, os alunos concentram-se em memorizar resoluções e estudar na véspera, pois geralmente não existe uma avaliação progressiva durante o curso da disciplina. Barros Filho (2002) faz uma análise crítica sobre as avaliações do rendimento dos alunos nos cursos de Física. Segundo esse autor (2002), a avaliação como é feita hoje tem raízes históricas na sociedade da Europa medieval. Para o estudo dos textos sagrados, escritos em latim, os monges europeus precisavam aprender a língua. Para essa aprendizagem os métodos de estudo utilizados eram originários do Império Romano e consistiam em perguntas e respostas que ajudavam na memorização da gramática e de outras informações. Após esse estudo, os estudantes faziam os exames que se baseavam

em recitar as respostas a determinadas questões. Como podemos verificar, as coisas não mudaram muito desde então. Até hoje a maioria dos professores faz testes que buscam respostas prontas e únicas; repostas que muitas vezes não fazem sentido para o estudante. Barros Filho (2002, p. 28) contextualiza esse processo:

> Um dos grandes problemas enfrentados por esse tipo de ensino sempre foi o de como conseguir a atenção dos alunos. Para isso, várias formas de punição foram usadas (e continuam até os dias atuais) como uma maneira de garantir a disciplina e a atenção dos estudantes durante as aulas. Nas escolas medievais a punição era uma rotina diária. Já com surgimento do humanismo, criou-se um sistema que premiava os melhores alunos da classe. Tal sistema dominou a educação ocidental durante o século XIX. Ainda hoje, existem escolas que distribuem medalhas para os "melhores alunos". Todavia, foi necessário estabelecer algumas regras capazes de identificar quem deveria ser premiado. Assim, criou-se um livro de pontos, ou de notas, o qual ficava guardado durante todo o ano acadêmico. Os pontos eram obtidos através do bom comportamento, ou eram perdidos quando o estudante errava, ou ainda, quando tinha um comportamento indesejável.

Esse sistema de atribuição de notas ou pontos incentivou um ambiente de concorrência entre os estudantes, provocando pressão e tentativas de burlar o sistema. É como se a nota expressasse precisamente o quanto cada estudante sabe. De acordo com Barros Filho (2002), o fato de no século XIX ter preponderado a crença na verdade e precisão absoluta constituiria um dos motivos pelo qual no Ocidente a adesão à avaliação por notas tenha sido tão grande. Isso foi tão amplamente aceito que poucos professores refletem sobre as implicações. Como definir que o aluno que tira 4,7 e reprova sabe menos que aquele que alcança 5,0 no exame final e é aprovado? O que representa 0,3 pontos de conhecimento?

Nesse cenário, os professores de física exigem nas provas resolução de exercícios padronizados para aplicação das equações e memorização de conhecimentos e os alunos buscam meios de obter sucesso, mesmo que seja por meios ilícitos, como a "cola", por exemplo, ou implorando que o professor considere "aquela questão", tentando negociar com ele. Barros Filho (2002, p. 28) faz uma pertinente colocação a esse respeito:

> É como se a nota fosse equivalente às transações comerciais, pois é negociada de uma "forma bancária" (Freire, 1997). Neste contexto, o professor "deposita" conteúdos escolares nos alunos e, nas avaliações, faz a suas retiradas da mesma forma que colocou, ou seja, cobrando nas avaliações a simples memorização das soluções de alguns exercícios padronizados. Estes passam a ser a que os estudantes encontram para realizar as tarefas, prestar atenção às aulas e estudar para as provas.

É importante não destituir a avaliação da sua importância como elemento que proporciona o retorno para o professor acerca da aprendizagem do estudante, mas a avaliação deveria servir para acompanhar o desenvolvimento dos estudantes, permitindo ajustes na ação

pedagógica, verificando se o objetivo pedagógico foi alcançado e possibilitando mudanças se necessário. Para tanto, seria preciso ter instrumentos mais diversificados de avaliação e um acordo com os estudantes, estabelecendo os objetivos e as "regras do jogo" de como estes serão avaliados (BARROS FILHO, 2002). Carvalho e Gil-Pérez (2009) indicam que a avaliação é um dos pontos no qual mais se faz necessária uma mudança didática com vistas a que se busque uma reflexão dos docentes a respeito "do que sempre se fez" em termos de avaliação. Esses autores, com a intenção de dar ênfase ao pensamento espontâneo de muitos docentes no momento da avaliação, propuseram em alguns cursos de formação que os docentes avaliassem uma atividade, dando a entender que a resolução era de um aluno "brilhante" ou de um aluno "medíocre". Em média o aluno "brilhante" tirava 2 pontos a mais na mesma resolução que o aluno "medíocre". Isso demonstra que a objetividade da avaliação pode ser questionada e que preconceitos da sociedade, em relação a um aluno que se acredita se menos favorecido intelectualmente ou as mulheres, por exemplo, podem influenciar nas concepções sobre avaliação. A partir dessa análise crítica da falsa objetividade da avaliação, Carvalho e Gil-Pérez (2009, p.59) colocam as características do "saber avaliar" com o professor se colocando ao lado do aluno e não à frente deles:

Quadro 4 – Características do "saber avaliar"

A.	Conceber e utilizar a avaliação como instrumento de aprendizagem que permita fornecer um *feedback* adequado para promover o avanço dos alunos. Como formador de pesquisadores iniciantes, o professor deve considerar-se como corresponsável pelos resultados que estes obtiverem; sua pergunta não pode ser "quem merece uma valorização positiva e quem não", mas "que auxílio precisa cada um para continuar avançando e alcançar os resultados desejados".
B.	Ampliar o conceito e a prática da avaliação ao conjunto de saberes, destrezas e atitudes que interessem ser contemplados na aprendizagem das Ciências, superando sua habitual limitação à memorização repetitiva de conteúdos conceituais.
C.	Introduzir formas de avaliação de sua própria tarefa docente (com participação dos alunos e outros professores) como instrumento de melhoria do ensino.

Fonte: CARVALHO, A. M. P.; GIL-PERÉZ, D. Formação de professores de ciências (2009, 59).

Dessa forma, buscar o rompimento com a habitual, fácil e rápida avaliação que rememora conceitos teóricos e sua aplicação é necessário para transformar a avaliação em instrumento de aprendizagem e não de tortura, como é atualmente na sua grande maioria. Carvalho e Gil-Pérez (2009) também citam o trabalho de McDermott (1990) sobre a formação atual dos professores de Física como a soma de um curso de conteúdos científicos com um curso sobre Educação. De maneira geral não existe uma inter-relação entre os dois cursos como, por exemplo, o departamento de Física oferecendo preparação docente aos estudantes e a formação científica do futuro docente acaba sendo a mesma que a do estudante que irá para

a indústria. A preparação docente, em geral, é do departamento de Educação. Essa dicotomia gera obstáculos para uma formação docente mais ampla. Os futuros docentes acabam por ver como única forma de ensinar a aula expositiva, na qual o aluno só recebe o conhecimento, mas não o constrói, baseando-se apenas em resolução de problemas padrão que não expõe situações novas e não previstas. A amplitude do currículo e o pouco tempo não permitem uma apropriação em profundidade dos conceitos, gerando conhecimento superficial. McDermott (1990 apud CARVALHO E GIL-PÉREZ 2009, p. 70) acrescenta:

> Se os métodos de ensino não são estudados no contexto que serão implementados, os professores não identificar os aspectos essenciais, nem adaptar estratégias instrucionais – que lhe foram apresentadas em termos abstratos – à sua matéria específica ou a novas situações.

Como podemos observar, a mera soma de um curso de preparação científica com um curso de preparação docente não terá sucesso na preparação dos docentes que a sociedade atual necessita que promovam a criatividade e autonomia nos estudantes. Para isso, de acordo com Carvalho e Gil-Pérez (2009), existe a necessidade de se estruturar currículos específicos para formação docente que proporcionem:

1. Sólida compreensão de conceitos fundamentais;
2. Habituem o futuro docente com os raciocínios que subjaz à construção dos conceitos;
3. Ajudem os futuros docentes a prever as dificuldades encontradas pelos estudantes;
4. Orientem os futuros docentes para que se expressem com clareza.

A estruturação cuidadosa que leve em conta esses itens, associada a uma formação reflexiva, promoverá uma formação mais coerente com as necessidades da sociedade.

A reflexão é uma atitude essencial para o acolhimento de uma visão complexa. A prática reflexiva valoriza a produção do conhecimento docente a partir da análise e da pesquisa da própria prática do docente. Quando o professor reflete sobre a ação, compreende as situações contextualizadas que o aluno traz para a aula. Assim, auxilia o discente a coordenar o saber cotidiano com o saber formal. Em decorrência da complexidade da sala de aula, da transitoriedade do conhecimento, das incertezas e as instabilidades da vida, os futuros docentes devem ser estimulados nos cursos de formação a refletir sobre a sua prática pedagógica. “O processo reflexivo não surge por acaso. Ele é o resultado de uma longa trajetória de formação que se estende pela vida, pois é uma maneira de se compreender a

própria vida em processo" (GHEDIN, 2006, p.147). O desenvolvimento de um pensamento complexo em mentes que foram formadas dentro de um paradigma de racionalidade técnica exige um extenso trabalho de reflexão a respeito da educação e das práticas adotadas. Ghedin (2006, p. 131) defende a proposta de formação reflexiva de Schön (1992), pois "[...] é inegável a sua contribuição para uma nova visão de formação e, porque não dizer, de um paradigma esquecido pelos centros de formação". O autor também reflete que o ser humano possui uma tendência à acomodação, a buscar a segurança e a certeza; daí a necessidade de um processo reflexivo – crítico – criativo para manter a tensão que possibilita a construção de novos horizontes, elementos essenciais para uma visão complexa do ensino.

4.3 TENDÊNCIAS DA FORMAÇÃO DOS DOCENTES DE FÍSICA

Para uma perspectiva do futuro do ensino de Física, faz-se necessário trazer as principais colocações de dois documentos oficiais que são referências para os profissionais da Física: as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física (DCCF) na graduação e os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN) no ensino médio.

As Diretrizes Curriculares para a os Cursos de Física chamam atenção para uma necessidade de currículo mais flexível para que os formados tenham mais alternativas. Os profissionais devem ter uma posição investigativa das formas do saber e fazer científico e tecnológico e ser habilitados para tratar as demandas de problemas novos e tradicionais. A sociedade da informação cria necessidade de novas funções e novos campos de atuação e isso exige uma formação ampla de profissionais versáteis. Dentro dessas necessidades, os DCCF definem quatro perfis específicos para os profissionais da Física (BRASIL, 2001, p 3):

> *Físico – pesquisador*: ocupa-se preferencialmente de pesquisa, básica ou aplicada, em universidades e centros de pesquisa. Esse é com certeza, o campo de atuação mais bem definido e o que tradicionalmente tem representado o perfil profissional idealizado na maior parte dos cursos de graduação que conduzem ao Bacharelado em Física.
> *Físico – educador*: dedica-se preferencialmente à formação e à disseminação do saber científico em diferentes instâncias sociais, seja através da atuação no ensino escolar formal, seja através de novas formas de educação científica, como vídeos, "software", ou outros meios de comunicação. Não se ateria ao perfil da atual Licenciatura em Física, que está orientada para o ensino médio formal.
> *Físico – tecnólogo*: dedica-se dominantemente ao desenvolvimento de equipamentos e processos, por exemplo, nas áreas de dispositivos opto-eletrônicos, eletro-acústicos, magnéticos, ou de outros transdutores, telecomunicações, acústica, termodinâmica de motores, metrologia, ciência dos materiais, microeletrônica e informática. Trabalha em geral de forma associada a engenheiros e outros profissionais, em microempresas, laboratórios especializados ou indústrias. Este

> perfil corresponderia ao esperado para o egresso de um Bacharelado em Física Aplicada.
> *Físico – interdisciplinar*: utiliza prioritariamente o instrumental (teórico e/ ou experimental) da Física em conexão com outras áreas do saber, como, por exemplo, Física Médica, Oceanografia Física, Meteorologia, Geofísica, Biofísica, Química, Física Ambiental, Comunicação, Economia, Administração e incontáveis outros campos. Em quaisquer dessas situações, o físico passa a atuar de forma conjunta e harmônica com especialistas de outras áreas, tais como químicos, médicos, matemáticos, biólogos, engenheiros e administradores (BRASIL, 2001, p. 3).

Com esses diferentes perfis, as DCCF estabelecem a estrutura do curso em módulos, sendo um núcleo comum a todas as modalidades de cursos, com disciplinas relativas à física geral, matemática, física clássica, física moderna e ciência como atividade humana e com aproximadamente 50% da carga horária, e módulos especializados nos quais serão dadas as orientações finais do curso. Dentre as competências gerais que o documento julga essencial a todos os perfis de profissionais, têm-se:

> 1. Dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
> 2. Descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;
> 3. Diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
> 4. Manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
> 5. Desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos (BRASIL, 2001, p. 4).

Podemos verificar que pelas competências desejadas os profissionais devem ter conhecimento técnico profundo e grande capacidade de solucionar uma ampla gama de problemas físicos. No caso das licenciaturas exigem-se habilidades específicas como:

> 1. O planejamento e o desenvolvimento de diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;
> 2. A elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais (BRASIL, 2001, p. 5).

No caso dessas habilidades específicas, apesar de o texto citar a necessidade de diferentes estratégias de aprendizagem, podemos constatar que o documento valoriza mais as habilidades técnicas do que a ação pedagógica, mesmo quando se refere à licenciatura em especial. Outro ponto importante que podemos destacar é a mudança curricular. Sobre esse aspecto, Moreira (2000, p. 97) adverte: "[...] A perspectiva para a graduação em Física é de

mudança curricular. Mudança urgente e significativa. Uma questão de sobrevivência, provavelmente".

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 1999) são referência para difundir a reforma curricular e orientar os docentes na busca de desenvolver novas competências no estudante do ensino médio, aproveitando a maturidade destes e desenvolvendo neles a consciência de suas responsabilidades e direitos. As competências apresentadas no documento são voltadas para um conhecimento contextualizado e que envolva a articulação interdisciplinar dos saberes de modo que estes sejam úteis na vida e no trabalho do estudante. Nos PCN também se discutem processos de ensino-aprendizagem, enfoques, metodologias que promovam um ensino voltado a um conhecimento que responda às necessidades da vida contemporânea e para a cidadania; um ensino que promova reflexão e capacidade de avaliação de riscos e de benefícios dos processos tecnológicos pelos estudantes, apontando claramente para a necessidade da convergência entre as diversas áreas do conhecimento. Assim, acompanhando-se essas proposições dos PCN, reitera-se a urgente necessidade de uma formação mais interdisciplinar, reflexiva, que mostrem aos futuros docentes seu papel na sala de aula e na sociedade.

4.3.1 Abordagens inovadoras no ensino de Física

Diante do cenário apresentado, principalmente pelos PCN torna-se imprescindível a inovação em todas as esferas do ensino. Da educação básica à superior, é preciso superar as crenças estabelecidas pelos modelos tradicionais da educação e buscar novas formas de relacionar ensino e aprendizagem. Os PCN trouxeram um discurso de um ensino pautado na contextualização, no desenvolvimento de metodologias que levem em conta a necessidade de atribuir ao conhecimento um significado. Assim, exploraremos algumas propostas de abordagens inovadoras no ensino de Física que acolhem a complexidade por promoverem uma compreensão do contexto em que o conhecimento se insere, além de instigar um pensamento crítico e a investigação das diversas possibilidades e contradições que envolvem a resolução de um problema. Percebemos que essas abordagens têm como ponto comum a aprendizagem baseada em temas, que geram no aluno a necessidade de apoderar-se de um conhecimento científico que ele ainda não tem e o estímulo à reflexão sobre situações que envolvem o conhecimento científico e a sociedade. Desta forma, pretende-se uma atitude ativa e participativa do estudante na busca pelo conhecimento necessário para a resolução da questão apresentada.

O ensino da Física é em grande parte baseado na resolução de problemas. Geralmente, o professor dá uma aula teórica apresentando conceitos e fórmulas, alguns demonstram experimentalmente o conteúdo sobre o qual estão apresentando, e na sequência passam a resolver exercícios padronizados sobre aquele assunto. O estudo é finalizado com uma lista de exercícios que o estudante leva para casa para fixar o conteúdo e o padrão de resolução dos exercícios, ou seja, a apropriação do conhecimento pelo aluno se faz pela resolução de problemas. Nesse sentido Khun (1998, p. 232) explora o tema:

> O conhecimento científico está fundado na teoria e nas regras; os problemas são fornecidos para que se alcance destreza daquelas. Todavia, tentei argumentar que esta localização do conteúdo cognitivo da ciência esta errada. O estudante que resolveu muitos problemas pode apenas ter ampliado sua facilidade para resolver outros mais. Mas, no início e por algum tempo, resolver problemas é aprender coisas relevantes a respeito da natureza. Na ausência de tais exemplares, as leis e teorias anteriormente aprendidas teriam pouco conteúdo empírico.

As colocações do autor nos permitem constatar que a resolução de problemas é importante à medida que aumenta o contexto empírico das leis e teorias, sendo, portanto necessário, mas, muitas vezes, o estudante está somente ampliando sua destreza. Delizoicov (2001) cita Gaston Bachelard como cientista-educador de destaque quando o tema é ensino-aprendizagem de ciências. Esse autor teve grande preocupação pedagógica sobre a formação do pensamento científico nos estudantes e é dele a compreensão que o conhecimento origina-se da busca de solução para os problemas. Sobre formular problemas Bachelard (1996, p.18) afirma:

> Em primeiro lugar, é preciso saber formular problemas. E, digam o que disserem, na vida científica os problemas não se formulam de modo espontâneo. É justamente esse *sentido do problema* que caracteriza o verdadeiro espirito científico, todo conhecimento é a resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é gratuito. Tudo é construído.

Bachelard deu aulas de Física e Química no início do século XX, período conturbado para a ciência devido a diversas descobertas na área da Física, como a relatividade e a Física quântica. Ele como professor teve de "retificar-se" a si próprio e a seus alunos dadas às novas descobertas da ciência. E esses "erros" deram origem ao termo *obstáculos epistemológicos*, que seriam barreiras para o desenvolvimento do pensamento e que deveriam ser rompidos, assim como teve de ser rompido, por exemplo, o conceito de espaço-tempo absolutos da física clássica (DELIZOICOV, 2001). O fato de o professor não reconhecer que o estudante chega à aula com conhecimentos empíricos e que não basta apresentar o conhecimento científico, mas

é preciso desconstruir as ideias pré-concebidas, é criticada pelo autor. Sobre isso, Bacherlard (1996, p.23) traz esta reflexão:

> Na educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão [...] Os professores de ciência imaginam que o espírito começa com uma aula, que sempre é possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto.

Para a superação dos *obstáculos epistemológicos*, Bachelard (1996) propõe uma catarse intelectual e afetiva que mude a visão da cultura científica de um saber estático e imutável para o saber dinâmico e aberto, que trabalhe o conhecimento prévio do aluno a fim de transformá-lo em um processo que Bachelard chama de "psicanálise".

Nessa busca da apreensão do conhecimento prévio do aluno pelo docente, para promover a mudança do conhecimento vulgar para o conhecimento científico, Delizoicov (2001) dá destaque à opção do uso da *problematização*. A problematização não exclui a resolução de problemas, mas aponta para o desenvolvimento de atividades que, por meio do diálogo entre estudante e professor, promove a apropriação do pensamento do aluno pelo docente, e assim o docente pode despertar no estudante as contradições e os limites do conhecimento do senso comum em relação ao conhecimento científico e o aluno ao confrontar os conhecimentos assimila o conhecimento científico.

Assim, problematizar para Delizoicov (2001), é escolher uma formulação adequada de problemas que permita a introdução de novos conceitos, leis e teorias da Física, de forma que sem a apropriação desses conhecimentos o problema não possa ser resolvido. Nas palavras de Delizoicov (2001, p. 132):

> Não se restringe, portanto, apenas a apresentação de problemas a serem resolvidos com a conceituação abordada nas aulas, uma vez que esta ainda não foi desenvolvida! São, ao contrário, problemas que devem ter o potencial de gerar no aluno a necessidade de apropriação de um conhecimento que ele ainda não tem e que ainda não foi apresentado pelo professor. É necessário que o problema apresentado tenha uma significação para o estudante, de modo a conscientizá-lo de que a sua solução exige um conhecimento que para ele é inédito.

Com certeza esse tipo de encaminhamento na aula exige do professor demandas diferenciadas em relação ao ensino tradicional, pois o docente perde o domínio quanto às dúvidas que venham a surgir na solução da problematização, pois esta é bem mais ampla do que os problemas padronizados das aulas tradicionais. Essa abordagem exige que o professor

trabalhe com o incerto, com o fato de muitas vezes o aluno questionar situações sobre as quais o próprio professor não havia pensado.

A problematização exige do professor uma nova postura, não mais de conhecedor absoluto da verdade, mas de investigador junto com o estudante. Delizoicov (2001) acrescenta que uma possibilidade seria articular a problematização, a História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. Revelar as circunstâncias, a formulação e a solução de problemas de Física que levaram à produção de modelos e teorias Físicas que se pretende ensinar, ajuda o estudante a contextualizar o conteúdo, a perceber as dificuldades encontradas na época e não a vê-lo simplesmente como leis e teorias.

O uso da problematização como eixo estruturador na prática pedagógica certamente é uma opção para o ensino de Física de que a sociedade contemporânea necessita. Snyders (1988 apud DELIZOICOV, 2001) propõe a utilização de *temas significativos* que renovem os conteúdos programáticos em uma dimensão crítica, que tenham a ver com o cotidiano dos alunos como, por exemplo, no caso das ciências a articulação de conteúdos que envolvem tecnologias e a discussão do tema *benefício-malefício* da mesma. Com a abordagem desses *temas significativos*, o professor pode buscar as explicações dos alunos para os fenômenos, estabelecendo os conhecimentos prévios e a partir destes direcionar a problematização do tema para a mudança da compreensão do aluno.

Nessa perspectiva, a *dialogicidade* torna-se elemento essencial na relação estudante-professor. Freire (1987) propõe uma *educação problematizadora*, na qual o estudante é sujeito da aprendizagem e participa na definição do conteúdo programático, contrapondo-se ao que ele chama de *educação bancária*, na qual o estudante é passivo e receptor e não tem poder sobre o conteúdo que lhe apresentado. O autor defende a utilização dos *temas geradores* que, identificados junto com os estudantes, serão os objetos de estudos, por meio do diálogo, na *educação problematizadora*. A análise desses temas geradores é feita por meio de um processo que Freire (1987) define como: *codificação, problematização* e *descodificação*. Na investigação as situações apresentam-se de forma codificada, apesar de ser parte de um todo. Para Delizoicov (1983, p. 87), a fase da codificação pode ser entendida como:

> Utilizando-se os vários canais de comunicação, as situações, as situações envolvidas nos temas geradores são apresentadas aos alunos de forma "codificada". Uma foto, um cartaz, um relato, etc., constituem o "código" que representa a situação. A codificação faz a mediação entre o contexto concreto e o teórico. É um "discurso" a ser lido por quem procura "decifrá-lo".

A partir dessa mediação entre o contexto concreto e o teórico e proposta a problematização, ocorre a apreensão pelo docente do significado do tema para o estudante e com isso busca-se a descodificação, a visão do todo por meio da discussão, sendo esse o momento do desenvolvimento do conteúdo programático e a assimilação pelo estudante da interpretação do conhecimento científico.

A compreensão deste processo de *codificação, problematização* e *descodificação* pode levar à organização de atividades didático-pedagógicas no ensino da Física, pois, apesar da proposta de Freire (1987) ser voltada para uma prática específica na educação de adultos nas etapas de alfabetização e pós-alfabetização, Delizoicov (1983) relata um projeto de ensino de Física na educação formal de crianças por meio do uso dos *temas geradores*.

Em relação ao processo de *codificação, problematização* e *descodificação,* Delizoicov (2001) os denomina de *momentos pedagógicos,* que são caracterizados como:

Quadro 5 – Problematização no ensino de Física

Problematização inicial	Apresentação de situações cotidianas do aluno e que requerem o desenvolvimento de modelos e teorias físicas para interpretá-los. Exploram-se os conhecimentos prévios dos alunos, a partir de questões propostas, inicialmente em grupos pequenos e futuramente com a classe toda. Neste momento o papel do professor é questionar o posicionamento dos alunos, alimentando a discussão entre eles e lançando dúvidas, provocando explicações contraditórias e localizando as limitações das respostas. É o momento de distanciar criticamente os alunos das suas interpretações e no qual ele sente necessidade da aquisição de novos conhecimentos, do enfrentamento do problema.
Organização do conhecimento	Estudo dos conhecimentos necessários à compreensão do tema. O professor desenvolve a conceituação física por meio de variadas atividades e neste ponto a resolução de problemas tradicionais pode ter função formativa para a apropriação de conhecimentos específicos.
Aplicação do conhecimento	Procura-se abordar sistematicamente o conhecimento agregado, de modo que estudante articule rotineiramente o conhecimento adquirido a situações reais e não somente a soluções matemáticas padronizadas. Valoriza-se o potencial explicativo e conscientizador das teorias físicas.

Fonte: Adaptado de DELIZOICOV (2001) pela autora.

A utilização das ideias apresentada por Delizoicov (2001) para o ensino da Física, baseada nas concepções de Freire (1987) a respeito da *problematização* e Bacherlard (1977 apud DELIZOICOV, 2001) em relação à mudança do conhecimento do senso comum para o científico, certamente exige mudanças na formação dos professores de física, para que estes estejam preparados para esse tipo de abordagem, para as incertezas das discussões e para o novo papel desempenhado por eles.

4.3.1.1 Abordagem C-T-S (Ciência, tecnologia e Sociedade)

O movimento ciência, tecnologia e sociedade (CTS), de acordo com Auler (2002), nasceu na década de 1970, fruto de um olhar mais crítico sobre a euforia causada pelo desenvolvimento tecnológico, cujos desdobramentos podem causar problemas, como a degradação do meio ambiente e uso da tecnologia para utilização em guerras como a do Vietnam. O autor acrescenta que obras como a de Thomas Kuhn em a Estrutura das Revoluções Científicas também influenciaram o nascimento do movimento por questionar a concepção tradicional de ciência, juntamente com vários movimentos sociais da época.

A influência da ciência sobre a sociedade é tão grande, como explicam Santos e Mortimer (2002), que a razão científica tornou-se autônoma e supervalorizada, como se a ciência fosse neutra e capaz de salvar a humanidade. Os autores também argumentam que o cientificismo tem uma função ideológica de dominação, pois contribui para desenvolvimento do capitalismo na medida em que fornece instrumentos para a dominação do homem sobre o homem. Neste sentido, Alves (apud SANTOS E MORTIMER, 2002, p. 2) acrescenta "[...] Ao invés de as necessidades humanas definirem as necessidades de produção – o que seriam a norma para uma sociedade verdadeiramente humana – são as necessidades de funcionamento do sistema que irão criar as 'falsas necessidades' de consumo". Esse fato gera um debate ético sobre como a ciência e a tecnologia influencia no meio ambiente e na sociedade.

Diante da necessidade de discutir essas questões, os currículos de ensino de ciências com ênfase em CTS têm como principal propósito preparar os estudantes, fazendo uma abordagem dos conteúdos científicos, relacionando-os ao contexto social, para permitirem aos estudantes uma análise crítica da utilização da ciência e tecnologia para uma educação que vise à cidadania. Assim, o CTS pode ser caracterizado como explicam Santos e Mortimer (2002, p. 3):

> [...] como o ensino do conteúdo de ciências no contexto autêntico do seu meio tecnológico e social, no qual os estudantes integram o conhecimento científico com a tecnologia e o mundo social de suas experiências do dia-a-dia. A proposta curricular de CTS corresponderia, portanto, a uma integração entre educação científica, tecnológica e social, em que os conteúdos científicos e tecnológicos são estudados juntamente com a discussão de seus aspectos históricos, éticos, políticos e sócio-econômicos.

O estudo da ciência e tecnologia, associado ao contexto de utilização deste conhecimento, é discutido em suas questões éticas e contribui para a construção de valores, de desenvolvimento do conhecimento e de habilidades. A alfabetização científica, promovida por essa abordagem, estimula a tomada de decisões responsáveis e a discussão dos fatores, envolvidos na utilização dos produtos da ciência, entre eles a tecnologia e das consequências para a sociedade e o planeta. Tudo isso contribui na formação de cidadãos críticos e envolvidos com os problemas da sociedade, como constatam Santos e Mortimer (2002, p.5):

> As pessoas, por exemplo, lidam diariamente com dezenas de produtos químicos e têm que decidir qual devem consumir e como fazê-lo. Essa decisão poderia ser tomada levando-se em conta não só a eficiência dos produtos para os fins que se desejam, mas também os seus efeitos sobre a saúde, os seus efeitos ambientais, o seu valor econômico, as questões éticas relacionadas a sua produção e comercialização. Por exemplo, poderia ser considerado pelo cidadão, na hora de consumir determinado produto, se, na sua produção, é usada mão-de-obra infantil ou se os trabalhadores são explorados de maneira desumana; se, em alguma fase, da produção ao descarte, o produto agride o ambiente; se ele é objeto de contrabando ou de outra contravenção, etc. Certamente o cidadão não tem acesso a todas essas informações, mas refletir sobre tais questões significa mudar a postura em relação ao consumo de mercadorias, pois, em geral, na maioria das vezes, a decisão entre consumir um ou outro produto é tomada em função de sua aparência e qualidade, e quase nunca são considerados os aspectos sociais, ambientais e éticos envolvidos na sua produção. Considerações de tal ordem poderiam, por exemplo, resultar na diminuição, a longo prazo, do consumo de embalagens descartáveis, de produtos que agridem a camada de ozônio, etc., forçando uma reformulação drástica nos processos de fabricação.

Na perspectiva do ensino com ênfase curricular, a abordagem CTS propicia ao estudante participação ativa na investigação científica, na obtenção de informações para solução de problemas e principalmente na tomada de decisões. Solomon (1988, apud SANTOS E MORTIMER, 2002) ressalta a necessidade de na abordagem CTS apontar o caráter provisório das teorias científicas, possibilitando aos estudantes a visualização de mais alternativas para resolução de problemas, pois quando o conhecimento é visto como pronto e acabado os estudantes têm dificuldades de aceitar outras possibilidades de resolução. Devem-se vincular ao estudo da ciência questões políticas, sociológicas históricas e econômicas. A tecnologia não pode ser reduzida ao aspecto técnico, sendo necessário conhecer a ideologia da

cultura na qual ela se insere, evidenciando aos estudantes o poder de influência que eles têm como cidadãos e consumidores (SANTOS E MORTIMER, 2002).

Em relação às estratégias de ensino, Aikenhead (1994, apud SANTOS E MORTIMER, 2002, p.12) estrutura os passos da abordagem em CTS:

> (1) introdução de um problema social;
> (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social;
> (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida;
> (4) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado;
> (5) discussão da questão social original.

O estudo abordado de acordo com essa sequência introduz o problema social e favorece a discussão dos fatores envolvidos na utilização da tecnologia e nas consequências para a sociedade. Outras estratégias que podem ser utilizadas, colocadas pelo autor, são: palestras, sessões de discussão, jogos de simulação e desempenho de papeis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupo, entre outros.

Essa abordagem vai além do simples ensino da ciência, pois se preocupa em promover a reflexão sobre a sua utilização e o impacto sobre o planeta e as pessoas, discutindo questões sobre consumo, impacto ambiental, concepção de cidadania dentro de um contexto sócio-econômico e cultural. Claramente, essa abordagem se insere nos preceitos da complexidade, cuja proposta leva em consideração as incertezas do conhecimento e da vida na formação de pessoas conscientes do impacto das suas escolhas na vida, na sociedade e no planeta.

4.3.1.2 Abordagem por ensino por projetos

O ensino por projetos, apesar de ser considerado inovador, já foi apresentado por John Dewey na década de 1920. Dewey, de acordo com Behrens (2008), via a escola como um local de desenvolvimento de alunos para a resolução de problemas do seu ambiente físico e social. O ensino por projetos, como coloca Hernández (1998), contempla uma aprendizagem que favorece a globalização do conhecimento, facilita a organização do conhecimento e do tempo didático, abrindo possibilidade de desenvolver "[...] a complexidade, a visão de totalidade, a conexão das diversas áreas do conhecimento, o espírito crítico reflexivo, a busca da formação para a cidadania e a recuperação do posicionamento ético" (BEHRENS, 2008, p.41). Neste sentido Hernández (1998, p.47) pondera:

> É, portanto, o tema ou o problema o que reclama a convergência de conhecimentos. Sua função articuladora é a de estabelecer relações compreensivas, que possibilitem

> novas convergências geradoras. É, definitivamente, mais do que uma atitude interdisciplinar ou transdisciplinar, uma posição que pretende promover o desenvolvimento de um conhecimento relacional como atitude compreensiva das complexidades do próprio conhecimento humano.

Na perspectiva do ensino por projetos os conteúdos deixam de ser um fim em si mesmo e passam a ser parte de um contexto maior, de uma situação problema, ganhando significado a partir das experiências dos estudantes. Essa forma de trabalho deixa a rigidez da sequência de conteúdos de lado e valoriza o *aprender a aprender*. De acordo com Espíndola e Moreira (2006, p. 15) os projetos didáticos facilitam a construção do conhecimento, pois:

> - organizar as atividades didáticas, tendo como princípio incluir de forma incisiva o aluno no processo de aprendizagem, com este método diferenciado ele é um elemento chave neste processo;
> - auxiliar na criação de diferentes estratégias de organização dos conhecimentos escolares na estrutura cognitiva do aluno, no tratamento da informação e na relação entre os diferentes conteúdos em torno de problemas;
> - oportunizar ao aluno maior inter-relação entre os conteúdos escolares e as situações problema do cotidiano;
> - tornar o aluno um sujeito atuante no seu processo de aprendizagem e não mais um mero espectador, aquele indivíduo que recebe as informações de alguém ou algo.

Desta forma, a metodologia de ensino por projetos supera a acúmulo de conhecimentos e prioriza a aprendizagem significativa, tornando o estudante co-responsável pela aprendizagem, e o conhecimento contemplado por diversos pontos de vista, como coloca Behrens (2008). A aprendizagem significativa torna-se rica na medida em que envolve aplicações no mundo em que o estudante vive e leva em consideração as suas experiências. Desta forma, trabalhar em projetos que digam respeito à realidade do estudante é enriquecedor por promover a ancoragem do novo conhecimento aos conhecimentos pré-existentes, dando oportunidade de uma evolução do conhecimento, pois de acordo com Bachelard (1996, p.29) o "[...] O espírito científico deve formar-se enquanto se reforma". A investigação individual e coletiva mediada pelo professor permite ao aluno, como coloca Behrens (2008), participar, investigar, pesquisar, refletir e produzir seu conhecimento, na busca do *aprender a aprender*. A importância desta investigação é ressaltada por Saraiva (2004, p. 175):

> Como uma rede ou teia, os conhecimentos individuais e do grupo, durante os projetos de trabalho, vão-se ampliando, pois não estão presos a respostas dogmáticas e, sim, a diferentes conteúdos necessários para resolver o problema. Nessa diversidade de informações, as quais têm acesso, eles terão que escolher aquelas que

> melhor se ajustam às suas necessidades, o que significa que o espaço de debate, discussão, busca, cooperação, troca de pontos de vista, criatividade estarão presentes o tempo todo, levando o grupo a aprender a aprender e a aprender com o outro.

Nesta perspectiva de aprendizagem, uma das preocupações é a utilização do tempo. Saraiva (2004) reflete que em tempos de "mudanças interplanetárias" a escola não tem mais como ensinar tudo aos alunos. Portanto, o importante é desenvolver nos estudantes as habilidades que lhe permitam procurar as respostas para os problemas que enfrenta e estar sempre aprendendo.

Existem várias caracterizações para o trabalho por projetos. Destacamos a proposta de Behrens (2013, p.116) que apresenta as seguintes fases de desenvolvimento: (a) apresentação e discussão do projeto; (b) problematização do tema; (c) contextualização; (d) aulas teóricas exploratórias; (e) pesquisa individual; (f) produção individual; (g) discussão coletiva, crítica e reflexiva; (h) produção coletiva; (i) produção final; (j) avaliação coletiva do projeto.

A autora reflete sobre a importância da conscientização do estudante em relação as suas responsabilidades individuais e coletivas para o bom andamento do projeto e acrescenta que a utilização de um contrato didático, também chamado de plano de organização didática, contribui para o entendimento do estudante sobre a sua responsabilidade e a proposta de trabalho. Esse contrato abrange a descrição dos encontros semanais e a bibliografia indicada. O professor deve estar aberto ao diálogo e às sugestões propostas pelos estudantes para possíveis alterações no contrato. A utilização do contrato permite uma organização do estudante e dos grupos de trabalho, fazendo-os perceber que a abordagem é um trabalho sério e que exige comprometimento.

4.3.1.3 *Peer instruction* - instrução pelos colegas (Ipc)

Como vimos anteriormente, geralmente as abordagens inovadoras pautadas no paradigma da complexidade trazem uma concepção de aprendizagem baseada em temas, projetos ou problematizações. Essas abordagens não descartam momentos nos quais os estudantes devem se apropriar dos conteúdos científicos. As metodologias ativas de ensino são técnicas que propõem a superação da simples transmissão do conteúdo pelos professores, que priorizam repetição e memorização, no momento em que os conteúdos científicos são apresentados aos estudantes, de modo a promover a participação ativa, a autonomia, a colaboração entre pares e a criatividade na apropriação do conteúdo científico.

Com a proposta de melhorar a qualidade da aprendizagem dos seus estudantes, o físico e professor Eric Mazur, da Universidade de Harvard (EUA), vem desenvolvendo desde a década de 1990 uma metodologia inovadora de ensino chamada de *Peer Instruction*, traduzida como Instrução pelos colegas (IpC). A proposta de Mazur, apesar de ser uma técnica, poderia acolher alguns pressupostos do pensamento complexo, visto que promove a autonomia dos estudantes ao propor que estes estudem antes da aula os conteúdos e o foco da docência passa a ser o da aprendizagem do aluno por meio da colaboração entre os pares. Em entrevista dada à revista Gazeta da Física, uma revista científica de Portugal, o físico relata que ensinava da maneira expositiva tradicional e sempre acreditou que tinha sucesso, pois seus alunos eram bem classificados em exames e ele era bem avaliado pelos alunos. Ao ler um artigo de um colega da Califórnia que mostrava o mau desempenho de alunos em resolução de testes fáceis, após cursar a disciplina, ele resolveu aplicar os testes aos seus alunos e surpreendeu-se quando uma aluna perguntou: "Prof. Mazur, como é que respondo a estas perguntas? De acordo com o que você ensinou ou de acordo com aquilo que penso?" (MAZUR, 2003, p. 20). Para Mazur (2003), esses mesmos alunos resolviam testes muito mais complexos que envolviam derivações e integrações, mas estavam tendo dificuldades em resolver simples questões conceituais do tipo: "Se um caminhão colide com um carro, a força exercida pelo caminhão sobre o carro e maior, menor ou igual à força do carro sobre o caminhão?". Mazur (2003, p. 20) reflete que atualmente as aulas de ciência são meramente transferência de informação, como podemos constatar no trecho abaixo:

> Devo salientar dois pontos. O primeiro é que a educação é mais do que transferência de informação, é um processo em que desenvolvemos um modelo mental para assimilar essa informação. Mas numa aula convencional não há tempo para pensar, espera-se que essa assimilação seja feita após a aula. O segundo ponto tem a ver com as tecnologias da informação. Não estou falando de computadores, mas da invenção de Gutemberg, há quinhentos anos.

Quando fala da "invenção de Gutemberg", o autor se refere aos livros, propondo que esses devem ser lidos antes de o aluno ir para a aula. Assim nasceu a proposta para que o aluno estude em casa e o tempo da aula seja usado para discussão promovendo uma aprendizagem com base no "[...] questionamento para que os alunos passem mais tempo em classe pensando e discutindo ideias sobre o conteúdo, do que passivamente assistindo exposições orais por parte dos professores" (ARAUJO e MAZUR, 2013, p. 362).

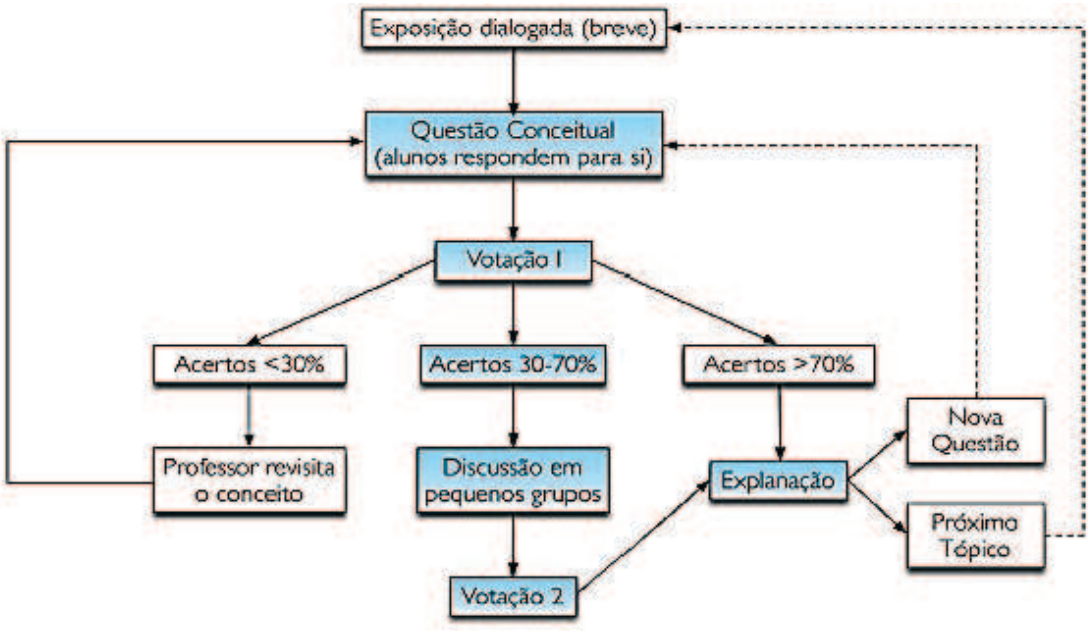
O método, de acordo com Araujo e Mazur (2013), consiste no estudo prévio de materiais fornecido pelo professor e quando em sala esse professor faz uma breve exposição

do conteúdo. Em seguida, ele apresenta uma questão conceitual, que não pode ser resolvida por fórmulas e os alunos individualmente respondem à questão, por meio da apresentação de cartões com a resposta ou *clickers* (figura 5) escolhendo entre as alternativas A, B e C. Na sequência, a votação é aberta e, baseado na quantidade das respostas corretas, o professor segue a seguinte conduta:

1. Se mais de 70% da classe acertou, o professor explica a questão e retoma a exposição de um novo conceito apresentando uma nova questão conceitual;
2. Se os acertos ficaram entre 30% e 70%, o professor pede que os alunos que deram respostas diferentes se reúnam em pequenos grupos de dois a cinco alunos para que uns tentem convencer aos outros porque sua resposta é correta, e após isso eles respondem novamente às perguntas;
3. Se o acerto inicial for inferior a 30%, o professor deve reexplicar o conceito e lançar outra questão sobre o mesmo conceito.

Em geral, o nível de acerto melhora após a discussão entre os alunos, pois, de acordo com Mazur (2003), o aluno que entendeu a pergunta e o conceito é mais persuasivo, conseguindo explicar a questão melhor que o próprio professor para os colegas.

Figura 2 – Diagrama que ilustra o método IpC:



Fonte: ARAUJO e MAZUR (2003, p. 370).

Figura 3 – Exemplos do cartão e do *clickers*:



Fonte: ARAUJO e MAZUR (2003, p. 368).

O ponto fundamental do *Peer Instruction* é o estímulo à interação entre os colegas, que promove o diálogo e a autonomia do aluno estudar previamente os conteúdos. Araujo e Mazur (2013) acrescentam que se o professor der aulas expositivas tradicionais e usar a votação com cartões ou *clickers* sem estimular a interação está negligenciando o passo mais importante do método, uma vez que a riqueza da técnica está na capacidade de convencimento e argumentação do estudante que compreendeu o assunto em relação ao colega que não entendeu, o que compreendeu, muitas vezes, é mais persuasivo que o próprio professor na explicação. Também é importante o professor tomar consciência do seu novo papel com o uso desta metodologia. O professor Mazur (2003) relata que ficou magoado quando, depois de implementada a metodologia, os alunos escrevem nas avaliações: "O Prof. Mazur não nos ensina nada! Temos de ser nós a descobrir", mas que ao refletir sobre o que é ensinar percebeu que " [...] Ensinar é apenas ajudar a aprender e é esse o meu papel enquanto professor" (MAZUR, 2003, p. 21).

4.3.1.4 Mapas conceituais

A utilização de mapas conceituais como técnica de ensino e aprendizagem foi proposta por Joseph Novak e colaboradores na década de 70 na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. As ideias de Novak (apud MARRIOTT e TORRES, 2014) apoiavam-se no pensamento de Ausubel que preconizava que o desenvolvimento de novos conhecimentos é uma construção relacionada com conceitos pré-existentes da estrutura cognitiva do estudante. Assim, a aprendizagem significativa acontece quando o aluno relaciona e compreende as ligações entre os conceitos novos e os antigos. Neste sentido, Moreira e Masini (1982, p.11) acrescenta que para Ausubel a aprendizagem significativa acontece quando o estudante consegue relacionar o novo conceito a um aspecto expressivo da estrutura de conhecimento do aprendiz. Assim, o processo "[...] de assimilação de conceitos, em outras palavras, envolve

a relação, de modo "substantivo" e "não arbitrário", de ideias relevantes estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz". A pesquisa de Novak, como explicam Marriott e Torres (2014), consistiu em ensinar conceitos de ciência para 121 crianças de 6 a 8 anos, passando a monitorar o desenvolvimento cognitivo dessas crianças e comparando com o desenvolvimento de crianças que não tiveram esses ensinamentos. Na análise do desenvolvimento Novak criou uma técnica para registrar a evolução do conhecimento ao longo do tempo e percebeu que conceitos ligados de maneira significativa frequentemente eram mais relevantes e de melhor qualidade. Essa técnica consistia em representar a transcrição das entrevistas com as crianças em um mapa de conceitos. Quanto mais significativos eram os conceitos para as crianças, mais ligações cruzadas e criativas ocorriam, o que não acontecia quando o conhecimento era memorizado.

Na busca por uma definição de mapas conceituais, ou mapas de conceitos, Moreira (1998, p.1) explica que os mapas são diagramas indicando relações entre conceitos, mas que não devem ser confundidos com diagramas de fluxo e organogramas, visto que não existe sucessão temporal ou de poder e hierarquia organizacional, caracterizando-se por relações entre conceitos e significados

> Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais, se for o caso. Isso também os diferencia das redes semânticas que não necessariamente se organizam por níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos. Mapas conceituais também não devem ser confundidos com mapas mentais que são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente. Não devem, igualmente, ser confundidos com quadros sinópticos que são diagramas classificatórios. Mapas conceituais não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los.

Como coloca Moreira (1998), mapas conceituais são diagramas de significados conceituais que hierarquizam conceitos relacionando-os entre si. Marriott e Torres (2014, p. 177) acrescentam que para o estudante relacionar os conceitos é necessário refletir, analisar e buscar informações, como por exemplo, "[...] se o conceito A é "decorrente" ou "gerador" do conceito B e se o conceito C deve ser ligado ao conceito A ou B etc." Neste processo o estudante estabelece uma relação significativa entre os conceitos, por meio da utilização de palavras de ligação como verbos conjugados ou locução verbal, palavras, frases de ligação ou preposição. É neste processo que o aluno compreende os conceitos, a hierarquia entre eles e transforma informação em conhecimento (MARRIOTT E TORRES, 2014). Neste sentido

Moreira (1998) reflete que é importante que os mapas sejam explicados por quem os faz, pois ao explicá-los, o estudante externaliza significados.

Para a montagem do mapa conceitual, Marriott e Torres (2014, p.182) sugerem alguns procedimentos para a sua organização como: (a) identificar o conceito principal do problema e dirigido por esse estabelecer outros conceitos pertinentes à questão, sendo que esses conceitos devem conter no máximo três palavras; (b) organizar os conceitos seguindo uma hierarquia do geral para o específico, desenvolvendo-os com uma lógica semântica a partir do conceito principal; (c) unir os conceitos de dois em dois por meio de uma linha com uma palavra de ligação que estabeleça uma relação significativa entre eles; (d) trabalhar na estrutura e hierarquia do mapa e, se necessário, excluir ou renomear alguns conceitos; (e) o mapa pode ser melhorado a medida que surgem novas ideias e novos conhecimento, pois o mapa reflete o conhecimento da data que foi criado; (f) o fluxo normal de leitura do mapa é do centro para as extremidades e de cima para baixo, caso a leitura seja diferente faça setas para indicar o fluxo correto.

No caso de utilizar um mapa já construído para novos conceitos, pode-se pedir aos estudantes que acrescentem conceitos ao mapa existente, pois essa é a principal ideia da utilização dos mapas, usar o conhecimento existente como ancoragem de um novo conhecimento, promovendo a integração entre eles. Desta forma, percebemos que o mapa é uma técnica poderosa, que ultrapassa a mera reprodução do conhecimento, pois promove a participação ativa dos estudantes, que pode ser utilizada em diversos contextos, possibilitando uma visão amplificada do conhecimento em questão e as diversas relações envolvidas. A utilização dessa técnica pode promover a interação entre os pares, pois estimula a discussão em torno dos conceitos e das relações que unem esses conceitos e exige leitura atenta, questionamentos e descobertas (MARRIOTT E TORRES, 2014).

5 CAMINHOS DA PESQUISA: METODOLOGIA E INSTRUMENTOS

Dada a complexidade do objeto de estudo apresentada nesta dissertação, a pesquisa foi desenvolvida por meio de um estudo qualitativo. A pesquisa qualitativa é um tipo de pesquisa que não tem como foco principal quantificar fatos e fenômenos, pois seu rigor está na pertinência das explicações, ainda que estas não sejam definitivas. Para Flick (2009b), a comunicação entre o pesquisador e os participantes faz parte da produção do conhecimento e as subjetividades destes contribuem para o processo da pesquisa, pois as suas reflexões, observações de campo e impressões convertem-se em dados e tornam-se parte da interpretação do estudo. Esta modalidade de pesquisa "[...] parte da noção da construção social das realidades em estudo, está interessada nas perspectivas dos participantes, em suas práticas do dia a dia e em seu conhecimento cotidiano relativo à questão de estudo" (FLICK, 2009, p.16). De acordo com Bogdan e Biklen (apud LUDKE e ANDRÉ, 1986), a pesquisa qualitativa tem como fonte de dados direta o ambiente natural, sendo considerada naturalística, envolvendo dados descritivos e enfatizando mais o processo e menos o produto, preocupando-se em demonstrar a visão dos participantes. Flick (2009b, p. 21) acrescenta que na pesquisa qualitativa o objeto de estudo é analisado: "[...] em sua complexidade e totalidade em seu contexto diário. Portanto, os campos de estudo não são situações artificiais em laboratório, mas as práticas e interações dos sujeitos na vida cotidiana".

A abordagem utilizada nesta pesquisa qualitativa é o estudo de caso, pois este mostra-se o mais adequado em função do enfoque sobre um acontecimento contemporâneo no contexto da vida real. Nesse sentido, busca respostas para questões "como" e "porque", sendo que quase não se tem controle sobre os eventos. A riqueza dos fenômenos e da amplitude do contexto da vida real traz muitas variáveis de interesse (YIN, 2010). Ludke e André (1986, p.18) elencam as principais características do estudo de caso:

> 1. Os estudos de caso visam à descoberta;
> 2. Os estudos de caso enfatizam a "interpretação de dados";
> 3. Os estudos de caso buscam retratar a realidade de forma completa e profunda;
> 4. Os estudos de caso usam uma variedade de fontes de informação;
> 5. Os estudos de caso revelam experiências vicárias e permitem generalizações naturalísticas;
> 6. Estudos de caso procuram representar os diferentes e as vezes conflitantes presentes numa situação social;
> 7. Os relatos do estudo de caso utilizam uma linguagem e uma forma mais acessível do que os outros relatórios de pesquisa.

Dessa forma, o estudo de caso permite entender um fenômeno em sua profundidade, englobando as condições do contexto que são importantes para o estudo (YIN, 2010).

Essas particularidades tornam o estudo qualitativo com a abordagem de estudo de caso indicado para o objetivo desta pesquisa na área educacional, diante da problematização da pesquisa que procura identificar: Como se caracteriza a concepção pedagógica dos professores que atuam nos cursos de licenciatura em Física, e qual o conhecimento dos docentes a respeito da visão inovadora do paradigma da complexidade e seus desdobramentos?

Uma vez definida a natureza metodológica do estudo, escolheu-se como instrumento para a coleta dos dados a entrevista realizada com professores que ministram aulas em cursos de licenciatura de Física em universidades da cidade de Curitiba. A entrevista é um dos principais métodos de coleta de dados na pesquisa qualitativa e, segundo Lüdke e André (1986), é uma das principais técnicas de pesquisa nas ciências sociais e ao contrário de outros instrumentos de pesquisa, a entrevista cria uma relação de reciprocidade entre o entrevistado e o entrevistador, principalmente nas entrevistas não totalmente estruturadas, na qual o entrevistado discorre sobre um assunto proposto. A entrevista tem vantagem sobre outras técnicas, pois permite o imediato acesso à informação desejada, além de correções e esclarecimentos, se necessário. A entrevista não estruturada permite a abordagens de temas complexos e o aprofundamento de questões se comparado com outras técnicas. Nesta pesquisa se optou pela entrevista episódica, pois neste modelo de entrevista se busca uma narrativa relacionada a circunstâncias mais concretas. A esse respeito, Flick (2008, p.128) esclarece: "[...] A entrevista episódica abre espaço às subjetividades e interpretações do entrevistado no contexto das narrativas situacionais; ela não as reduz e classifica imediatamente, mas ao invés disso descobre o contexto de sentido em que ela é narrada".

Na entrevista episódica deve-se dar liberdade suficiente para o entrevistado relatar episódios, combinando perguntas que tenham como respostas narrativas mais focalizadas na problemática, com perguntas que busquem respostas mais amplas, e que venham ao encontro dos nossos objetivos.

Como objetivo principal nesta pesquisa, pretende-se: Analisar, à luz do paradigma da complexidade, as concepções que caracterizam a Física e o ensino da Física, a partir das impressões dos professores sobre o paradigma da complexidade, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis implicações na prática pedagógica no ensino superior.

Como objetivos específicos, pretendem-se: a) Pesquisar as concepções que caracterizam o ensino da Física junto aos docentes participantes; b) Investigar o

posicionamento dos professores que atuam na Licenciatura de Física sobre os paradigmas inovadores na formação dos profissionais; c) Buscar o posicionamento dos professores que atuam na licenciatura de Física sobre metodologias inovadoras ancoradas no paradigma da complexidade; d) Caracterizar as ações docentes que sustentam a formação dos licenciandos em Física sobre o pensamento complexo e a influência na atuação deste profissional; e) Traçar um cenário com os eixos norteadores para a ação docente no paradigma da complexidade que apoia a formação dos futuros docentes de Física em uma visão complexa.

Participaram desta pesquisa nove professores que ministram atualmente ou ministraram aulas no curso de Licenciatura em Física de uma universidade particular de Curitiba. As disciplinas ministradas por esses professores no curso de Licenciatura em Física são: Física Básica 1, 2, 3 e 4, Tópicos de Física Moderna, Física Básica Experimental 1, 2, 3 e 4, Prática Profissional, Mecânica Clássica, Metodologia do Ensino da Física, Eletromagnetismo, Termodinâmica e Projeto final de monografia.

No projeto escrito para o desenvolvimento desta pesquisa, pretendia-se inicialmente entrevistar professores que ministravam aulas nos cursos de Licenciatura em Física das três principais universidades em Curitiba que têm em seu quadro de cursos a licenciatura em Física. A pesquisadora entrou em contato por e-mail com os coordenadores do curso de Licenciatura em Física de duas universidades. Os dois coordenadores responderam esse primeiro e-mail, um deles já agendando um encontro para que a pesquisadora tivesse a oportunidade de apresentar a sua proposta de pesquisa. Nessa reunião, o coordenador se prontificou a conversar com os professores verificando aqueles que teriam interesse em participar da pesquisa e retornando por e-mail a lista de contatos dos professores que aceitaram participar, fato que não ocorreu. O segundo coordenador respondeu que receberia a pesquisadora entrando em contato futuramente, pois na época do primeiro contato ele estava muito ocupado. Também não houve contato posterior do coordenador. Na terceira universidade, a pesquisadora conseguiu falar pessoalmente com o coordenador e este permitiu que os professores fossem procurados diretamente pela pesquisadora para verificar a disposição deles em participar da pesquisa e agendar as entrevistas. Isso facilitou o acesso aos professores, que sendo contatados diretamente se prontificaram a responder à entrevista.

Os professores participantes da pesquisa não terão suas identidades reveladas, pois a pesquisa está ancorada em princípios éticos de anonimato próprio do processo de pesquisa, sendo assim eles serão identificado coma letra “P”, seguido de um número de acordo com a ordem em que foram feitas as entrevistas. Na tabela a seguir, segue o perfil dos participantes.

Quadro 6 – Professores participantes da pesquisa

Professor	Formação				Sexo	Idade	Tempo de atuação
	Graduação	Especialização	Mestrado	Doutorado			
P-1	Bacharelado em Física	Não	Sim – Física Aplicada	Sim – Física Aplicada	F	44	Entre 05 e 10 anos
P-2	Bacharelado em Física	Não	Sim – Física Aplicada	Sim – Física Aplicada	M	43	Entre 15 e 20 anos
P3	Licenciatura em Física e Matemática	Sim	Sim Educação	Não	M	48	Entre 05 e 10 anos
P4	Bacharelado em Física	Não	Sim – Física Aplicada	Sim – Física Aplicada	M	53	Entre 15 e 20 anos
P5	Licenciatura em Física	Não	Sim – Física Aplicada	Sim – Física Aplicada	F	34	Entre 05 e 10 anos
P6	Licenciatura em Física e Matemática	Sim	Sim Educação	Cursando – História da ciência	M	47	Entre 10 e 15 anos
P7	Licenciatura em Física	Não	Sim Tecnologia	Não	M	29	Entre 03 e 05 anos
P8	Licenciatura em Física	Não	Sim – Física Aplicada	Não	M	32	Entre 03 e 05 anos
P9	Licenciatura em Matemática	Sim	Sim – Educação	Não	M	49	Entre 20 e 25 anos

Fonte: A pesquisadora (2015).

Participaram da pesquisa professores de ambos os sexos, com idade entre 29 e 53 anos. A experiência na docência varia bastante, tendo professores com mais de 20 anos de experiências e alguns com um tempo em torno de três anos de experiência. No que se refere à titulação, todos os professores são bacharéis ou licenciados em física, com exceção de um que é licenciado em matemática; três professores têm especialização, todos têm mestrado e quatro professores têm doutorado. Um dos professores é doutorando em História da Ciência.

A instituição na qual a pesquisa foi realizada é privada, sendo uma das maiores universidades do Estado do Paraná, com diversos *campi* no estado; o *campus* no qual ocorreu a pesquisa está localizado na cidade de Curitiba.

5.1 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Os principais dados e informações referentes à pesquisa foram obtidos a partir da realização de entrevistas episódicas com nove professores do curso de Licenciatura em Física de uma instituição privada em Curitiba. As entrevistas foram iniciadas com a entrega do termo de consentimento livre e esclarecido que apresenta o objetivo da pesquisa e os referentes aos direitos de uso das informações concedidas (apêndice A). Em seguida apresentou-se o questionário de identificação do participante da pesquisa (apêndice B), que se tratava de breve questionário no qual se objetivou a obtenção dos dados pessoais e sobre a formação do professor, bem como o tempo em que atua no ensino superior.

Os instrumentos foram estruturados a partir de grupos de informações e temas que se pretendiam investigar. Algumas questões eram compostas, isto é, formadas por uma questão principal, com a qual se pretendia uma exploração preliminar, e questões complementares, ou de apoio, nos casos, por exemplo, de o entrevistado não compreender plenamente a questão ou, ainda, desviar-se da pergunta.

O roteiro das entrevistas realizadas com os professores (apêndice C) do curso de Licenciatura foi estruturado com o objetivo geral de identificar as concepções que caracterizam o ensino da Física, investigando se existem contribuições do paradigma da complexidade na formação dos licenciandos a partir das impressões dos professores sobre estes conceitos, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis aplicações na prática pedagógica.

5.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

O tratamento e a interpretação dos dados, tendo em vista a natureza subjetiva da pesquisa, foram realizados utilizando a análise de conteúdo descrita por Bardin (2000). Para essa autora, a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas, não se tratando de um único instrumento, sendo marcado por diversidade de formas e adaptado a um extenso campo de aplicação. Para Bardin (2000, p. 95 e 102), existem três fases, descritas a seguir, para a análise do conteúdo:

1. Pré-análise – é a fase de organização, correspondendo a um período de intuições e leituras, na qual cabe a escolha dos documentos analisados, das formulações das hipóteses e dos respectivos objetivos e da elaboração de indicadores que baseiem a interpretação final dos resultados;

2. Exploração dos materiais – consiste na etapa mais longa da análise de conteúdo na qual é feita uma administração sistemática, constitui-se da etapa de codificação do qual faz parte o recorte, a enumeração e a classificação em função das regras formuladas antecipadamente;

3. Tratamento das informações – constitui a última fase da análise de conteúdo. Dessa etapa fazem parte a síntese, seleção, inferências e interpretação dos resultados.

A maioria dos procedimentos de análise ocorre em redor de um processo de categorização, que é uma operação de classificação dos elementos que constituem um conjunto diferenciado, a partir de critérios previamente definidos. Bardin (2000, p. 117) define: "[...] As categorias são rubricas ou classes, as quais se reúnem um grupo de elemento (unidades de registro, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efectuado em razão dos caracteres comuns desse elemento".

Assim, a categorização tão cotidiana em nossas vidas permite a passagem dos dados brutos para dados organizados, investigando o que um grupo de elementos tem em comum com os outros (Bardin, 2000). Para análise das entrevistas, foram selecionadas quatro categorias, a seguir:

1. Iniciação na vida acadêmica e trajetória profissional

Essa categoria se refere à formação do professor e os motivos que o levaram a escolher essa profissão. Buscou-se, nesta pergunta, além de conhecer melhor o professor, já investigar possíveis origens da concepção pedagógica do professor. Cunha (2014), Nóvoa (1992) e Vaillant e Marcelo (2012) são autores que acreditam que o percurso profissional e a história de vida dos docentes são essenciais para compreender como esses profissionais lidam com as questões cotidianas da docência. Outro objetivo de se iniciar com essa pergunta foi o de diminuir uma possível tensão e nervosismo ao entrevistado, o que pode ocorrer até mesmo pelo fato de a entrevista ser gravada, iniciando com uma pergunta que "ele saberia responder" e criando uma atmosfera de reciprocidade entre o entrevistado e o entrevistador (LUDKE E ANDRÉ, 1986).

2. *Concepção pedagógica no ensino de física*

O objetivo desta categoria é investigar qual a concepção pedagógica do professor, principalmente baseado na análise de como o professor atua em sala de aula, seus métodos e técnicas, recursos utilizados e como o professor visualiza o seu papel e do aluno em sala de aula.

3. *Física quântica, natureza e paradigma da complexidade*

Nesta categoria buscou-se observar o posicionamento do professor a respeito da Física quântica e relatividade, como o docente percebe a relação da Física contemporânea com o modo como se observa a natureza e a realidade, procurando relacionar a Física moderna como referencial epistemológico para o paradigma da complexidade. Também procurou-se investigar o possível conhecimento do professor a respeito do paradigma da complexidade.

4. *Paradigma da complexidade e sua influência em metodologias inovadoras*

Relacionada com a categoria anterior, analisa-se nesta última categoria o posicionamento dos docentes em relação às metodologias inovadoras e possíveis ações voltadas para um pensamento complexo, ações que podem ser independentes de o docente conhecer o paradigma da complexidade.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os roteiros elaborados para a entrevista (apêndice C) continham 10 questões, contemplando quatro principais categorias, chamadas de grupos. No 1° grupo, a questão 1 e a 2 objetivaram criar um clima de espontaneidade e leveza na entrevista permitindo que o professor falasse um pouco da sua trajetória profissional e já investigando indícios das concepções do professor; no 2° grupo, as questões 3, 4 e 5 buscaram informações sobre como o professor atua em sala de aula, seus métodos e estratégias, como ele vê o processo de ensinar e aprender, a fim de identificar a concepção pedagógica do professor; no 3° grupo, as questões 6 e 7 visaram à investigação do posicionamento do professor em relação à física quântica e a natureza e o nível de conhecimento do professor quanto aos paradigmas inovadores da educação; no 4° grupo, as questões 8, 9 e 10 pretenderam caracterizar as ações docentes voltadas à utilização de abordagens inovadoras norteadas pelo pensamento complexo.

Categoria 1 - *Iniciação na vida acadêmica e trajetória profissional*

O propósito de iniciar as entrevistas pedindo aos professores que relatassem suas trajetórias profissionais e o motivo que os levou a se tornar professor não teve somente o objetivo de compreender os caminhos tomados por estes profissionais, mas também o de diminuir uma possível tensão dos entrevistados com a entrevista ou com a gravação do áudio.

Mesmos professores acostumados a falar em público, ficam um pouco desconfortáveis com o fato de estarem sendo gravados ao falar. Por isso, houve um permanente cuidado de manter um clima de informalidade durante a entrevista. Outro motivo para iniciar pelo questionamento sobre a trajetória do professor é que a partir da breve história de vida do professor é possível perceber alguns pontos que ajudam a compreender a ação do professor em sala de aula. Nóvoa (1992) comenta a respeito da importância do percurso de vida profissional e da influência das características pessoais na ação pedagógica dos professores. Cunha (2014) acrescenta que valores e crenças que o docente elaborou ao longo da vida, baseado em suas vivencias, dão contorno ao seu desempenho e podem dar indícios da opção do docente por um tipo de prática. Ao indagar *a respeito da trajetória profissional e o que o levou a tornar-se professor, foi* possível levantar as seguintes contribuições:

> P1 – [...] Eu tinha interesse na astronomia que é o que as crianças mais têm acesso na física e não é monótono, não é chato [...] Mas nunca pensando em ser professora, sempre pensando na pesquisa, porque é o que te envolve, mas a pesquisa no Brasil é feita em instituições de ensino, então uma vez que você faz mestrado e doutorado e quer dar continuidade a pesquisa você acaba se vinculando a uma instituição de ensino superior que mantém laboratórios... [...] Eu acho que para a maioria das pessoas que fazem a física voltada para o bacharelado é a parte da pesquisa, acho que para poucas pessoas elas entram nessa de mestrado e doutorado se não estiverem pensando em pesquisa [...] você se insere em uma comunidade que está atrás de desenvolvimento científico, mas que isso não vale nada se você não repassar, esse conhecimento gerado tem que ser perpetuado, não pode ser esquecido...
>
> P2 – Na verdade quando entrei para a graduação eu tinha intuito de ser pesquisador, eu pensei: "não vou dar aula, né..." você veja que o meu sonho se concretizou... rsrs... quando eu me formei, foi por necessidade que eu comecei a dar aula, daí eu vi que eu gostava de dar aula, dai pensei: bom, então eu vou me dedicar a carreira de professor universitário, não queria dar aula para o ensino médio, então me dediquei a carreira de professor universitário e daí fui fazer doutorado e estou aí até hoje...
>
> P4 – Quando eu decidi fazer a graduação eu tinha uma convicção muito forte e ainda tenho que a pesquisa na área de física era o meu perfil, [...] É uma identidade muito forte e a pesquisa também está ligada a atividade acadêmica. A atividade docente é uma consequência. Você faz pesquisa para quê? Para construir conhecimento. Pra quem? Para a sociedade...

Nos relatos acima podemos perceber que estes docentes procuravam a pesquisa em Física. Estes três professores são bacharéis, com mestrado e doutorado em Física, portanto, sem formação pedagógica, e não tinham a intenção inicial de ser professor, mas pesquisador. Como no Brasil a pesquisa ocorre predominantemente dentro das instituições de ensino, esses pesquisadores acabam se vinculando à docência para poder praticar a pesquisa. No discurso destes três professores, verificamos uma situação muito comum nas universidades, visto que atualmente o sistema de seleção dos professores nas universidades é pautado nos méritos da

pesquisa. Zalbaza (2004) comenta sobre a dialética entre pesquisa e docência e o peso de cada uma no progresso do docente universitário. A ideia de que o investimento em pesquisa acaba revertendo-se na qualificação da docência, nem sempre ocorre. O autor observa que a pesquisa é importante, mas que os professores não podem deixar a docência à margem da pesquisa, pois o professor vive a dedicação à pesquisa como algo distinto e, às vezes, oposto à exigência da docência. Zabalza (2004) ainda complementa que é possível ser um bom professor sem ser um pesquisador ativo. Pimenta e Anastasiou (2002, p.190) também contribuem:

> No entanto, verifica-se que ser um reconhecido pesquisador, produzindo acréscimos significativos aos quadros teóricos existentes, não é garantia da excelência no desempenho pedagógico. Sabemos que, como a pesquisa e a produção do conhecimento são objetivos das atividades de pós-graduação, os docentes, quando participam desses programas, sistematizam e desenvolvem habilidades próprias ao método de pesquisa.

Nesse sentido, Reuchlin (apud ZABALZA, 2004, p. 121) descreve a situação francesa "[...] A melhor estratégia para fazer uma carreira profissional rápida na universidade consiste, de maneira paradoxal, em esquecer-se dos alunos o mais que se possa dedicar-se, de corpo e alma, às pesquisas que poderão ser publicadas". Assim, podemos argumentar que a qualificação dada pela pesquisa nem sempre resulta nos melhores docentes em sala de aula e no desenvolvimento de um ensino universitário de qualidade.

Dois dos professores iniciaram na docência enquanto cursavam engenharia:

> P3 – Bom, inicialmente eu ingressei no curso de engenharia química da Universidade Federal e fiz metade do curso e neste período comecei a ministrar aulas também, foi ai onde em mudei a minha opção profissional indo para a Licenciatura, eu deixei o curso de engenharia química e ingressei nos cursos de Física da federal e de matemática da PUC, fiz paralelamente...

> P9 – Meu primeiro curso de graduação foi em engenharia mecânica na federal de Santa Catarina. Eu fui morar fora, distante de casa e morava em uma republica e em frente a minha casa morava uma diretora de escola pública e ela bateu na nossa porta e perguntou qual dos engenheiros gostaria de ministrar aulas para o segundo ano do ensino médio de física. Como a minha família é tradicionalmente de professores, a primeira escola que eu dei aula aqui no Paraná, uma escola municipal tinha o nome da minha avó, então tinha aquela coisa de tradição eu acabei aceitando o convite e isso aconteceu quando eu tinha 16 anos quando eu ingressei na universidade e aí tudo começou... E isso virou uma espécie de vício e eu nunca mais sai da sala de aula [...] Depois eu voltei para Curitiba para cuidar dos negócios do meu pai e fiquei uns 2 anos fazendo isso, mas continuei dando aula em curso supletivo inclusive, mas sem ter qualquer formação para isso, só com o que eu já tinha aprendido e com o curso de engenharia [...] Depois que eu vim para cá e o meu pai retomou os negócios dele eu resolvi voltar para a universidade para realmente exercer a profissão. Dai eu vim fazer o curso de licenciatura...

Esses professores iniciaram cursos superiores na área da engenharia e acabaram dando aula durante essa graduação, sendo que desistiram de seus cursos para seguirem a carreira docente. Fato muito comum, alunos de engenharia que iniciam a carreira na docência devido ao déficit de professores, principalmente na área de Física, situação vivida igualmente por esta pesquisadora. Também verificamos a questão da tradição familiar quando o professor P9 relata que sua família era tradicionalmente de professores e que ele iniciou na carreira docente muito jovem, com apenas 16 anos adquirindo experiência inicialmente no ensino médio.

Os docentes P5, P7 e P8 argumentaram que iniciaram o curso de licenciatura por se interessarem pela área de estudo:

> P5 – [...] eu sempre tive afinidade na área de matemática, não tinha ainda a noção de física, então eu já tinha essa ideia de estudar essa área de exatas. Gostava de biologia que também tem o raciocínio lógico e no ensino médio eu fui me definindo por essa área ou era matemática ou era física. Aí eu passei primeiro na matemática, fiz o curso graduação de matemática, mas a matemática não respondia algumas ansiedades que eu tinha em relação ao conhecimento da ciência, dai eu fui para física porque a física esta mais associada a aplicação dos conhecimentos em outras áreas do que a matemática, isso que me levou mais para a área de física...
>
> P7 - A minha família tradicionalmente é de profissionais da saúde como dentista, médico, veterinário e tudo mais. Eu ia para essa área, mas eu sempre fui inclinado para a área de exatas. Eu sempre gostei de conhecer um pouco a mais sobre a natureza, digamos que eu optei pela física por causa disso, por afinidade.
>
> P8 – Meu pai me levou no cinema para assistir de Volta para o Futuro e eu era criança e sai do cinema falando para o meu pai: o que aquele cara de branco fazia... e ele falou: ele é cientista... então eu falei: quando eu crescer eu quero ser cientista... e depois eu descobri que isso era física e fui estudar física no curso superior, mas eu não sabia que eu ia ser professor...

Dentre os professores entrevistados somente o P5 tinha convicção que seria docente:

> P5 – Eu vou tentar resumir. Escolher ser professora eu escolhi há muito tempo atrás. Então quando eu decidi fazer o curso de física eu tinha em mente que eu ia atuar no ensino médio depois de terminar a graduação, então essa trajetória estava pronta na minha cabeça. Só que ao final da graduação eu tive uma experiência no ensino médio e talvez por falta de prática e maturidade, eu tinha 19 anos na época eu fui substituir uma professora no ensino médio fiquei três meses e isso me assustou tanto que eu acabei indo fazer mestrado na área de física aplicada [...] Não tive grandes experiências como professora, com exceção da disciplina de estágio da docência, mas que foram uma ou duas aulinhas na graduação não deu para sentir muito bem qual era essa história toda. Então eu me formei em 2010 no doutorado, crise número 3, não aguentava mais essa vida de bolsista e apareceu o processo seletivo aqui [...] só que os primeiros seis meses no ensino superior também foram traumatizantes, porque esse tempo todo vivendo nesse mundo paralelo, vivendo só a pesquisa, se você está dentro de um laboratório é muito diferente de encarar mesmo a realidade de ensinar... porque eu sempre gostei muito das aulas particulares, porque eu adoro ensinar, então essa coisa de professor já estava desde que eu escolhi fazer o curso, aí

> tive esse tempo interrompido só na pesquisa, mas também passado esses seis meses acho que foi um pouquinho de experiência mesmo, hoje eu adoro dar aula, eu sou muito feliz em sala.

Essa professora relatou que teve um choque quando iniciou sua carreira docente. Ela relata que a iniciação da docência no ensino médio foi traumática e isso a levou a fazer mestrado e doutorado em Física aplicada com o intuído de seguir na pesquisa. Ela conta ainda que, ao voltar à universidade para dar aulas para a graduação, o sentimento de impotência se repetiu. A esse respeito Tardif (2002, p.82) coloca:

> Ora, esse processo está ligado também à socialização profissional do professor e ao que muitos chamam de "choque realidade", "choque de transição" ou ainda "choque-cultural", noções que remetem ao confronto inicial com a dura e complexa realidade do exercício da profissão, à desilusão e ao desencanto dos primeiros tempos de profissão e, de maneira geral, à transição da vida de estudante para a vida mais exigente de trabalho.

Políticas de apoio aos professores iniciantes são relatadas por André (2012). Segundo a autora nos anos iniciais, ocorre a maior taxa de evasão da profissão, constatação que justifica a demanda por esse tipo de política. O chamado "choque de realidade" é o período crucial, no qual os docentes ensinam e aprendem a ensinar ao mesmo tempo. O período é delicado e exige a adoção de medidas que facilitem a transição de estudantes a professores, uma vez que são grandes os desafios enfrentados pelos professores iniciantes. A professora P5 relata que no mestrado e doutorado vive-se dentro de um laboratório e a experiência em estágios de docência é muito breve, o que não dá a real dimensão do que é trabalhar em uma sala de aula. Mais uma vez nos deparamos com o paradoxo de se valorizar a pesquisa no currículo dos professores quando selecionados em detrimento de experiências na docência e no ensino.

Ao analisar a fala dos docentes, constatamos que P1, P2 e P4 são bacharéis em Física, com mestrado e doutorado em Física aplicada e pretendiam fazer pesquisa em Física, porém exercem como atividade principal a docência; P3 e P9 eram estudantes de outros cursos e iniciaram a docência provisoriamente para se manterem, financeiramente, enquanto estudantes em outros cursos e acabaram optando por cursar a licenciatura e tornar-se professor. Porém, já com experiência no ensino médio. P6, P7 e P8 relataram fazer a licenciatura por afinidade com a área, mas não necessariamente pensando em ser professor e P5 foi o único que iniciou a vida acadêmica pensando em ser professor.

Categoria 2 - *Concepção pedagógica no ensino de física*

Para a investigação da concepção pedagógica, procuramos inicialmente explorar como o professor atua em sala de aula, quais seus métodos, principais recursos utilizados e como o professor vê o seu papel e do aluno no processo de ensino e aprendizagem. Optou-se por essa estratégia de investigação porque o termo "concepção pedagógica" poderia inicialmente assustar alguns docentes, principalmente aqueles que não tinham formação pedagógica, como os bacharéis em Física com mestrado e doutorado em Física aplicada. Depois que se instigou o professor a falar dos seus métodos e técnicas e do que ele valoriza na relação entre ensino e aprendizagem é que perguntamos se o professor saberia dizer qual a sua concepção pedagógica. Essa estratégia se mostrou adequada quando verificamos que mesmo o professor tendo falado a respeito de como atua em sala de aula, alguns tiveram dificuldade em definir uma "concepção pedagógica", mostrando que alguns não têm clareza do seu significado. Neste ponto é conveniente refletirmos sobre o significado do termo concepção pedagógica. A concepção pode ser entendida como a maneira como se compreende algo, pelos princípios que regem determinada visão de mundo ou no nosso caso da educação. Assim, concepção pedagógica pode ser vista como as diferentes maneiras pelas quais a educação é compreendida, teorizada e praticada (SAVIANI, 2006). Assim, ao questioná-los *em relação à maneira como conduzem a aula,* seus métodos predominantes, estamos buscando entender como a educação é praticada. Neste sentido obtivemos as seguintes contribuições:

> P1 – As aulas são basicamente o que a gente chama de "cuspe e giz", são aulas de quadro. Apesar de todo mundo dizer que esse é um método antigo de se fazer, eu vejo de uma forma diferente porque para ensinar alguém à física que não seja filosofia, uma coisa só de pensar e imaginar, você precisa da matemática e você precisa dominar esse desenvolvimento. Então se eu fosse optar por *power point* como muita gente tem feito, acho que isso é entediante para o aluno porque ele pensa: se eu posso ler agora eu posso ler depois... Em uma aula dessas você não mostra caminhos, você passa muito pelo que o livro passa que é: daqui você chega ali, então o desenvolvimento intermediário você faz em casa. Então esse é o momento que você mostra da onde sai e tem a possibilidade de mostrar o acompanhamento matemático, o que não pode estar desvinculado, pois a parte matemática tem que ser feita no quadro porque o aluno consegue acompanhar todo o desenvolvimento, da onde você está saindo, porque você está fazendo algumas considerações, porque você vai usar determinada equação, porque você vai usar determinada grandeza e não outra, pensando na solução do problema em si e aí você começa o desenvolvimento sempre pela análise do que a matemática está te dizendo a cada passo e uma análise de resultado depois. Então eu acho que esse é o objetivo geral, pelo menos no nível universitário, vincular o conhecimento a uma descrição possível de ser reproduzida ou aplicada em várias outras situações [...] Mas tem uma coisa que eu peço sempre é que eles façam uma leitura do capitulo que vai ser estudado e façam um resumo com os tópicos que serão estudados para que eles

vejam isso antecipadamente em casa por conta própria e a hora que eu trago para o quadro o assunto eles já viram, então fica mais fácil construir sob aquele conhecimento, por mais que seja mínimo aquele conhecimento prévio que foi adquirido recentemente e ai eu posso explorar muito mais, senti uma melhora grande, inclusive já encontrei alunos que me dizem: professora eu aprendi a ler antes, por que eu percebi que eu aprendo mais e mais rápido, claro não são todos geralmente são os mais interessados... outra coisa, esse resumo tem que ser escrito a mão, pois ele escrevendo lentamente palavra por palavra porque é o escrever mesmo, é o processo de você perceber o significado da coisa e exige concentração também...

P2 – Majoritariamente expositiva, a tradicional [...] utilizo o quadro negro e também agora, cada vez mais a projeção.

P3 – Na universidade eu tenho utilizado de uma forma mais predominante aulas expositivas, uso bastante o data show, uso bastante o recurso do *power point*, mas o que mais eu busco utilizar são sites, artigos, documentários, simuladores eu uso bastante para os alunos de licenciatura [...] a algumas situações que nós trabalhamos com experimentos, inclusive o próprio aluno é motivado em algumas atividades na disciplina de prática profissional a desenvolver atividades que envolvam experimentos [...] nas minhas aulas de prática profissional eu busco fazer com que o aluno se envolva mais com os recursos tecnológicos do que eu mesmo porque a intenção é fazer com que eles de alguma forma se envolvam com a prática profissional...[...] Com os alunos da licenciatura eu tenho buscado uma forma diferenciada de produzir um ensino com mais significado, procurando fazer com que o aluno possa ter uma atitude investigativa [...] É por meio da pesquisa que na verdade está contemplada pela problematização, porque quando você busca resolver uma ação investigativa você também parte através de um problema, então é a mesma linguagem. Nesse aspecto eu vi que alguns resultados interessantes apareceram quando eu coloquei o aluno diante de uma situação em que ele é protagonista...

P4 – [...] Já trabalhei com várias, mas a mais frequente é aula expositiva [...] Quando a turma é pequena é mais fácil utilizar metodologias ativas onde o estudante vai buscar o conhecimento. Em vez de você ficar expondo, você passa rapidamente o conteúdo, faz uma discussão do conteúdo e desenvolve temas com a turma. Isso depende também do tempo que você tem com a turma, depende do perfil do estudante, se ele trabalha, as vezes não tem tempo de fazer as atividades em casa... [...] Predominante é expositiva com a participação da turma, porque aquela aula onde só o professor fala é horrível. Horrível para o professor e para os alunos. A gente tem que ter um feedback...

P5 – No início em 2010, 2011 eu fiquei um pouco presa... a carga horária dos cursos de física é bem reduzido em termos de carga horária para cumprir a ementa. Então tomando como exemplo os professores que eu encontrei aqui, a maneira como eles conduziam a aula é no *power point*, na ferramenta de apresentação de slides. Então toda a física básica e física moderna eu tenho preparado em *power point*. Só que com o passar do tempo eu fui percebendo que não é uma estratégia muito feliz [...] Então eu utilizo mais como ferramenta de auxílio e sempre resolvo os exercícios no quadro. Mas eu tenho percebido que eu fui sentido essa necessidade de usar mais quadro também, então eu fui aos poucos usando menos, as vezes o projetor está lá e as vezes eu já passei as coisas no quadro e a imagem ficou congelada... E eu pergunto para os alunos: e aí pessoal, o que vocês estão preferindo, aula no quadro é melhor? Geralmente eles falam que a aula no quadro é melhor. O tempo de escrita talvez e eles vão acompanhando e eles sentem uma interação maior quando o professor está mais no quadro [...] Basicamente é isso, 90% é uma aula expositiva dialogada, eu tento puxar os alunos na conversa, interagir...

P6 – [...] eu nunca gosto de colocar os temas prontos e acabados, eu gosto de colocar uma pergunta ou com uma indagação, por exemplo, por que os objetos caem? E eu estimulo os alunos, principalmente os da prática profissional a fazer isso, porque se

você chegar na aula e falar: hoje nós vamos estudar força gravitacional, não tem sentido muito para o aluno, ele não é levado a participar da aula, então eu procuro montar a minha estratégia de abordagem do assunto que leve o aluno a participar da aula para entender os fenômenos físicos e não para memorizar [...] se a gente impor um conceito ele até vai aceitar enquanto estiver na universidade, depois ele volta a cair no senso comum, que aquilo não faz parte do cotidiano dele e ele não aceita aquilo como um conceito que ele vai usar [...] Aula expositiva, seria quadro e giz e eu trabalho com simuladores da física... [...] A aula expositiva tem um percentual maior, eu não uso quase os retroprojetores na aula, mais para mostrar algum simulador mesmo. Uma grande parte da aula é expositiva mesmo, eu uso o *power point*, mas é muito pouco se comparado com o tanto de aula que eu dou. O que eu procuro diversificar são as metodologias que eu vou usar em cada aula... no começo eu digo: moçada isso aqui é uma atividade de aprendizagem e eu não estou matando aula, viu? Isso que é aula, vocês vão fazendo e quem tiver dúvidas, venha na minha mesa que eu vou tirar dúvidas, porque no começo eles falam: "Mas professor você não vai dar aula?" E eu falo: é, eu estou dando aula, é que é uma outra abordagem...

P7 - No ensino médio as minhas aulas são mais fenomenológicas, são mais voltadas para o fenômeno, um rigor matemático menor [...] Na universidade é mais matematizado, mais focado na teoria em si e não no fenômeno que vai produzir a teoria em si, em geral a gente já parte para as generalizações, para as análises e para as deduções, então entra uma carga matemática muito maior, é muito mais tecnicista e muito menos contextualizado [...] Então no colégio é bem mais contextualizado no cotidiano, contextualização mais histórica, mais econômica, tentado deixar claro sempre que a ciência na que a gente estuda é sempre voltada para objetivos reais voltados para uma economia capitalista [...] Já aqui na universidade a gente perde essa carga em virtude do programa ser muito mais extenso, muito mais denso, então é uma aula muito mais técnica, recursos empobrecidos, quantidade menor de recursos em geral é quadro, é oratória e imaginação e abstração do aluno [...] Na universidade é quadro e giz, predominante [...] Então eu alterno momentos de resolução de exercícios, em geral eu projeto os exercícios, a projeção de alguma coisa para romper a monotonia da aula no quadro, simuladores em alguns assuntos... Mas 80% é aula expositiva no quadro, seja para exposição ou resolução de exercícios...

P8 – [...] eu procuro mesclar algumas coisas.. Eu uso mais nas aulas mais tradicionais, que ai eu procuro mesclar o uso de quadro com *power point* até porque os alunos reclamam bastante do uso do *power point*, então eu evito fazer o uso só do *power point*. Eu conto muito com o uso dos alunos de dispositivos de computação móvel, em uma turma de 30 pelos uns 5 vão ter acesso a internet, então muitos problemas que eu coloco pra eles, eu já coloco que ele vão me ajudar na sala, tanto em problemas que eu preciso da densidade de alguma coisa e eu peço, alguém acha o resultado disso para mim [...] Simulador eu uso as vezes, quando se trata de um tema muito abstrato as vezes MHS as pessoas não entendem aqueles gráficos, eles gostam disso.

P9 – A gente infelizmente nem sempre consegue fazer aquilo que acredita. Nós tivemos uma formação que foi praticamente para a maioria do pessoal da minha época e quem veio depois de formação de aula expositiva. Só que era aquela aula expositiva não dialogada. Eu tento fazer a minha aula de forma que instigue o aluno a pensar sobre aquilo que eu estou falando, nem sempre ele tem coragem de dialogar. Bom é quando você tem uma aula dialogada na qual o aluno te pergunta e você tem coisas pra colocar pra ele. Então eu tento estimular o aluno a fazer com que eles busquem [...] Eu diria assim: quadro negro é dominante, mas principalmente o quadro negro no que diz respeito ao discurso. Eu acredito muito nessa questão da comunicação pela fala, pela expressão, expressão corporal o fato de você olhar nos olhos do aluno e tentar mostrar pra ele, tentar fazer com que ele perceba aquilo que você esta querendo explicar para ele. Eu acho que o recurso visual que você utiliza se o quadro negro ou o projetor não faz diferença. A questão é como você comunica isso. Então uma transparência não deve ser lida ela deve ser

> transmitida. Eu não gosto, por exemplo, de usar uma transparência em que eu coloque a resolução do exercício. Eu posso usar uma transparência no caso da física para ilustrar a questão visual quando a gente fala de questões que envolvem campo elétrico e campo magnético que são coisas que não se vê. O aluno tem uma dificuldade de abstração muito grande, então para você gerar essa abstração a ilustração vai falar muito mais que as mil palavras que eu possa dizer, mas elas duas associadas é que fazem o conjunto. Eu mostrando a ilustração e fazendo o comentário e tentando usar o poder da fala para chegar até ele é o segredo que eu acredito que tem dado certo nesses últimos anos. Eu nunca tive problemas de excesso de reprovações, nunca tive problemas de reclamação de aluno por falta compreensão. É claro que tem o aluno que tem mais dificuldade o que tem menos dificuldade, tem reprovação é natural que tenha, mas a gente sempre procura tudo para minimizar, tentado esclarecer das mais diversas formas possíveis.

Podemos perceber que as aulas expositivas utilizando o quadro negro ou com auxílio de recursos como *power point*, mas ainda assim expositivas, são predominante entre os professores. Pimenta e Anastasiou (2002) observam que as concepções e práticas tradicionais trazidas pelos jesuítas, que foram referência para o ensino em todos os níveis de escolaridade, persistem com mais intensidade no ensino superior. Ao aluno cabe assistir à aula expositiva do professor e reproduzir a fala deste quanto solicitado na avaliação; ao professor cabe expor o conteúdo de forma clara e manter o aluno atento. Verificamos no discurso dos professores que os próprios alunos rejeitam ferramentas como o *power point,* como relata a professora P5, que no início da carreira utilizava o *power point* em quase todas as aulas, mas que percebeu que essa não era uma "estratégia feliz" e que os alunos preferem aula no quadro, informação reforçada pelo professor P7 ao afirmar que os alunos não "gostam de *power point*". Os professores relatam que preferem o uso deste recurso para apresentar figuras ou simulações que são difíceis para o aluno imaginar, devido a dificuldade de abstração. O professor P6 comenta que é comum propor atividades de aprendizagem, para que os estudantes resolvam em sala. Orienta os alunos que o procurem para tirar as possíveis dúvidas na sua mesa. Entretanto, tal comportamento nos permite pensar que realmente não existe um processo de mediação, pois o docente não acompanha as atividades e fica esperando as dúvidas dos estudantes, os quais chegam a interpretar que não está havendo aula. Essas atividades são importantes, mas é necessário que o docente envolva-se na atividade junto com o estudante, reivindicando iniciativa do estudante, mas colocando-se em uma posição de parceiro na aprendizagem.

Quanto ao *papel do professor e do aluno no ensino e na aprendizagem*, os professores fizeram as seguintes colocações:

> P4 – O trabalho de aprendizagem é do aluno, o professor é um facilitador, ele está ali para tornar o conhecimento acessível a partir da realidade do estado atual do

> conhecimento do aluno. O papel do professor é orientador e não tutor do conhecimento. Atualmente a gente observa e é uma coisa difícil de lidar, mas os alunos que a gente recebe vê o professor como responsável pelo sucesso e pelo fracasso dele na aprendizagem e uma tarefa inicial nossa no curso de licenciatura é mudar esse posicionamento. É tornar o aluno construtor do seu conhecimento, corresponsável pelo seu sucesso.

O professor P4 ressalta o papel de protagonista do estudante na sua aprendizagem e do professor como facilitador, relatando a dificuldade encontrada atualmente devido ao fato de o estudante colocar o professor como responsável pelo seu sucesso ou fracasso. Os professores P7 e P9 enfatizam a importância do diálogo no processo de ensino aprendizagem. Valorizar a coletividade e a voz do aluno é um importante passo na construção do conhecimento. Freire (1987, p. 47) destaca a importância da dialogia:

> Para o educador-educando, dialógico, problematizador, o conteúdo programático da educação não é uma doação ou imposição – um conjunto de informes a ser depositado nos educandos, mas a revolução organizada, sistematizada e acrescentada ao povo, daqueles elementos que este lhe entregou de forma desestruturada.

No comentário do professor P7 podemos constatar traços das palavras de Freire, no que refere-se a dialogia e problematização:

> P7 - Eu acho que para ambos a dialogia é absolutamente importante, essa relação existe entre o aprender e o ensinar. Que aprende não só aprende, ensina e quem ensina não só ensina aprende também. Então essa duplicidade do caminho entre o aprender e o ensinar é vital. Por mais que a aula seja técnica e que ela esteja focada em uma linha de raciocínio e o aluno só vai adquirir aquele conhecimento, só vai assimilar, ter autoridade sobre aquilo que ele está visualizando se ele for interlocutor ao passo que ele pode questionar o professor, que ele vai questionar o professor que ele tem essa paridade com o professor, então ele tem que estar caminhando junto [...] Então para o aluno preponderantemente o papel de questionador nessa discussão. Questionar. O professor também tem de problematizar, mas o aluno tem uma função mais vital ainda porque se ele se coloca na posição passiva... [...] O aluno do universitário tem um papel absolutamente importante que é o fora de sala de aula. É impossível um aluno se tornar um profissional só com o curso que lhe é ofertado dentro das quatros paredes de uma sala de aula ou dentro dos laboratórios. Ele tem que se formar, ele tem que agregar esse processo dialógico de ensinar e aprender fora da sala de aula, em casa, lendo, seja nos estágios, nas palestras... o processo de construção do conhecimento não pode ser empobrecido, limitado a sala de aula.

O professor P7 destaca a importância de o aluno ser questionador e deixar a posição passiva, pois um curso superior não pode ser feito somente entre as quatro paredes da sala. É necessária a participação ativa em vários segmentos, participando de palestras, congressos, fazendo estágio, entre outras atividades. Esse pensamento está de acordo com o pensamento do professor P8, como vemos abaixo:

> P8 - Eu acho que o aluno é muito reativo e não proativo, ele reage, quando a coisa está complicada ele reage e estuda, quando ele não esta entendendo ele reage, mas eu não vejo o aluno sendo proativo, antecipando algumas coisas, lendo um pouco antes, pois ele já sabe o que vai ter naquela aula, então eu acho que o papel do aluno para que a relação ensino aprendizagem seja eficiente, ele deveria ser mais ativo [...] eu acho que o professor deve ser menos conteudista e mais um motivador e um mediador e o aluno precisa ser proativo. Agora se o aluno é reativo e o professor é mediador isso gera um problema muito grande porque o professor vai esperar que os alunos vão atrás de alguma coisa e ele não vão e o resultado disso vem na primeira avaliação e ai você tem que equilibrar as coisas, então eu prefiro não pensar: professor mediador x professor tradicional, eu prefiro pensar em qual é o grau de mediação que eu consigo atribuir a minha aula, qual é o grau de proatividade que eu consigo motivar o meu aluno a ter e eu acho que quanto maior é o grau de proatividade do aluno, maior é o grau de mediação que o professor consegue fazer, mas isso é meio felling, tem que ir adaptando isso de acordo com os alunos. O que eu acho importante é que não dá para pensar nessas coisas separadas, na minha visão eu não posso entrar em sala convicto que sou um mediador porque se do outro lado eu tiver um aluno reativo isso não vai funcionar, então eu tenho que estar pronto para ajustar o meu nível de atuação de acordo com o nível de atuação do aluno.

O professor P9 também ressalta a importância da parceria entre professor e aluno no processo de ensino e aprendizagem e discute a questão do professor como mediador. Questiona, também, o fato de o estudante muitas vezes não ter iniciativa. Essas ideias corroboram com a percepção do professor P8, quando o docente cita que o aluno atual é muito reativo, somente reagindo ao que lhe é colocado, mas não tendo uma postura ativa perante a produção do seu conhecimento.

> P9 - [...] eu vejo o papel do aluno e do professor como parceiros no desenvolvimento do aprendizado. O professor tem que ser aquela pessoa que tenta mostrar o caminho. Fala-se muito que o professor só mostra o caminho o aluno que tem que trilhar, mas se a gente ficar esperando a vontade do aluno, nos dias de hoje isso não acontece. Então a gente tem que além de tudo conquistar a amizade deles, não aquela amizade que vale fora da sala de aula, mas aquela amizade lá dentro que ele tem a confiança em você principalmente e por isso você tem que ter correção nas tuas atitudes, você tem que ser aquela pessoa que quando promete que vai colocar uma lista de exercícios você tem que por, não pode por uma ou duas semanas depois, você não pode deixar o aluno na mão. Se você conquista essa confiança ele passa a ver você como algo inspirador e a partir dai fica mais fácil essa relação para passar a informação.

A visão dos docentes, segundo Pimenta e Anastasiou (2002), sobre os alunos com que trabalham geralmente não é positiva. Elas citam o resultado de uma pesquisa com docentes do ensino superior, na qual esses docentes listam os principais problemas percebidos por eles em relação a seus alunos. Entre os principais pontos que Pimenta e Anastasiou (2002, p. 230) assinalaram, estão:

> - Falta de interesse, de motivação ou de comprometimento com a própria aprendizagem;

> - Passividade; individualismo. Interesse na nota e em passar de ano e/ou obter diploma;
> - Falta de disciplina, hábitos de estudo insuficientes;
> -Nível de conhecimento ou pré-requisitos insuficientes para acompanhar a graduação;
> - Dificuldade de interpretação, redação e leitura;
> - Dificuldade de raciocínio, falta de criticidade;
> - Alta heterogeneidade em cada classe e diversidade de maturidade geral;
> - Falta de tempo para estudar, com pouco contato extra-classe;
> - Aluno trabalhador.

Essa é a visão do professor pautada principalmente no desempenho do estudante. Mas é necessário pensar a respeito dos fatores que levam os alunos a esses comportamentos. Chauí (apud PIMENTA E ANASTASIOU 2002, p.229) acrescenta:

> Os alunos vêm sendo submetidos a processos de ensino que consideram a ciência pronta e acabada, à espera de aplicação. Assim, condicionados, abdicam da necessidade de pensar e de desentranhar o sentido de uma experiência nova ou de uma ação por fazer, sendo reforçados na repetição de modelos abstratos e na aplicação mecânica desses modelos sob a forma de estratégias variadas.

Assim, entendemos que não basta colocar a culpa no aluno pela passividade, visto que este estudante é parte de um sistema que durante anos privilegiou o aluno que sentava obedientemente e escutava o professor falar a respeito das verdades absolutas sobre a ciência e outros temas. Alunos que centralizaram seus esforços nos últimos anos da educação básica em memorização e reprodução de exercícios para realização do vestibular em turmas numerosas, com pouco estimulo a criticidade (PIMENTA E ANASTASIOU, 2002). Percebemos, assim, a necessidade de o professor ser preparado para receber esse aluno na universidade e conscientizá-lo do seu papel de produtor do seu conhecimento. Outro ponto de vista colocado por Jesus (2002) e que em parte pode explicar a falta de comprometimento dos estudantes é uma característica da sociedade atual: o imediatismo e o consumismo.

Assim como a sociedade atual consome rapidamente todo tipo de produto, o conhecimento também tem sido visto como um produto. O aluno estuda o que aprende "passivamente", faz prova (consumindo o produto) e após isso esquece o conteúdo. A responsabilidade do aluno com a sua aprendizagem é pequena. A atitude imediatista e consumista da sociedade atual é transferida para a vida acadêmica e a motivação dos estudantes acaba sendo para curto prazo, para realização de exames e não há longo prazo para retenção do conhecimento. Esse tipo de conduta agrega outro problema que é o insucesso funcional. Jesus (2002, p. 115) coloca que muitas vezes os docentes culpam os docentes de anos letivos anteriores de não terem preparado os alunos ou terem facilitados a aprovação:

> O discurso de muitos professores traduz esse tipo de responsabilização, verificando-se que os professores do Ensino Superior responsabilizam os do Secundário pelas lacunas que os alunos apresentam quando chegam a Universidade, os do Secundário responsabilizam os do Básico e estes o do Pré-Escolar, encontrando-se os pais na base desta pirâmide de responsabilização sucessiva. Os pais, por seu turno, responsabilizam os "genes" porque é frequente considerarem que o filho "já nasceu assim, nunca gostou de estudar".

Esse discurso demonstra que a falta de comprometimento do aluno é um problema grave que envolve escola, a sociedade e a família. Sobre essa questão, o professor P9 faz uma colocação parecida com a do autor, mas mudando o foco e estabelecendo que o Ensino Superior tem que buscar quebrar essa lógica, melhorando a formação dada aos futuros docentes:

> P9 - Muitos falam que o problema do ensino é que os alunos chegam muito fracos a universidade e aí você diz: não o aluno do ensino médio está ruim porque o ensino fundamental está uma droga e você começa a fazer uma regressão que você vai parar lá na barriga da sua mãe [...] um grande problema que eu via em sala de aula estava justamente no fato de como a formação da licenciatura estava se degradando. Os cursos de licenciatura foram reduzindo o tempo de formação e eu acho que eles tinham que ser os mais longos, a profissão é extremamente desvalorizada e quem procura os cursos quer imediatismo, quer se formar o mais rápido possível e a formação não é completa. Nós colocamos essa pessoa no mercado, essa pessoa vai ensinar o nosso futuro aluno, então nós não podemos querer colher um fruto muito bom... enquanto a gente não tiver o pensamento reverso que a gente tem que melhorar a nossa licenciatura, ela tem que ser muito mais forte, precisa ter um aluno da física com um conhecimento em física muito maior que o da engenharia, precisar ter alunos da matemática com conhecimento em matemática maior que o aluno da engenharia e hoje não é o que acontece e não importa se a universidade é pública ou particular o que você tem é justamente ao contrário, você tem o aluno da licenciatura com o conhecimento técnico da sua disciplina muito menor que o da engenharia, porque? Porque essa disparidade? Um curso de licenciatura em 3 ou 4 anos? Um curso de engenharia em 5 anos? Tá explicado. Então precisa a base ser mais fundamentada. Então eu não vejo perspectiva. Não vai ser o método que vai salvar.

O professor P9 questiona o tempo do curso da licenciatura, demostrando que ele acredita que uma formação mais curta desfavorece a apropriação do conhecimento em relação a outros profissionais, como os estudantes da engenharia por exemplo. O perfil de formação do professor P9, formado em engenharia antes de licenciado, pode justificar a sua fala, visto que a sua experiência docente iniciou-se quando ele era aluno de engenharia e começou a dar aulas para o ensino médio. Consequentemente, pôde comprovar que a sua formação em engenharia lhe deu mais subsídios em conhecimento do que o curso de licenciatura.

Assim, podemos verificar que existe uma grande complexidade na formação dos docentes de natureza multifatorial dentro os quais estão o tempo de formação, os valores

sociais dos estudantes, o envolvimento da família como suporte de estudo e cursos de formação não adequados às necessidades vigentes na sociedade.

Retomando a temática, ao indagar diretamente: *Qual a concepção pedagógica que caracterizaria a sua ação docente*, obtivemos as seguintes contribuições:

> P1 – Eu sou tradicional sem dúvida, por que de inovação...
> P2 – Tradicional. Toda vez que eu tento inovar a coisa não funciona, não dá certo.
> P4 – Tradicional aberto a inovação.
> P9 - Se eu fosse me classificar eu diria que eu sou muito mais tradicional que qualquer outra coisa e eu não vejo nenhum problema em dizer que eu sou tradicional [...] eu diria que a minha preocupação é criar um ambiente [...] eu acredito que o ambiente faz a situação, eu tenho uma preocupação com isso. Em termos específicos do aspecto metodológico eu acho que não importa se você é tradicional ou da vanguarda, se ele está usando um *PBL*[1], se está utilizando o ensino por pares ou se ele está no quadro negro resolvendo exercícios do modelo mais tradicional a questão é que ele tem que assumir esse papel e tem que fazer bem feito. Eu sempre disse isso para os alunos da licenciatura da matemática e da física, não tem problema você seguir essa sua linha de conduta, mas siga de maneira correta, faça isso acreditando e gostando do que você faz, pois se você fizer isso você vai ser reconhecido porque eu acho que tem espaço para todos.

Nesses depoimentos constatamos que quatro professores se declaram tradicionais, sendo que o P4 se considera aberto a inovações e o P9 que, apesar de se declarar tradicional, demonstra que o mais importante é criar um ambiente em sala de aula que propicie a aprendizagem, não importando a metodologia. É oportuno neste ponto refletirmos a respeito do significado de ser tradicional. Behrens (2011, p.41) caracteriza como uma abordagem tradicional, também chamada de conservadora, a prática que valoriza "[...] a reprodução, a repetição e a uma visão mecanicista da prática educativa". Esta concepção é pautada na reprodução do conhecimento para a formação intelectual e é centrada no professor, cuja tarefa é transmitir os conhecimentos acumulados pela humanidade. Cabe aos alunos assimilar os conteúdos que lhes são transmitidos, memorizá-los e reproduzi-los em provas que valorizam soluções padronizadas (BEHRENS, 2011). Sobre isso, a autora reflete que salvo algumas exceções, ao percorrer os corredores das universidades, a constatação é que o paradigma tradicional nunca se afastou das salas de aula.

O docente P9 se considera inovador e três professores se declaram dentro de uma concepção crítica, com destaque para o P7, que declarou ter uma visão crítica, mas, ao descrever sua aula no ensino superior, coloca:

[1] PBL - *Problem Based Learning* refere-se a uma abordagem de ensino originado no Canadá na década de 60. O PBL é essencialmente um método de ensino-aprendizagem que utiliza problemas reais ou simulados para motivar a aprendizagem de teorias e habilidades baseada na problematização (ESCRIVÃO FILHO e RIBEIRO, 2009).

> P7 - Na universidade é mais matematizado, mais focado na teoria em si e não no fenômeno que vai produzir a teoria em si, em geral a gente já parte para as generalizações, para as análises e para as deduções, então entra uma carga matemática muito maior, é muito mais tecnicista e muito menos contextualizado...

Com isso, demonstra uma contradição entre sua prática pedagógica e sua concepção de ensino, que idealiza como segue no relato abaixo:

> P7 – Na forma como eu idealizo a educação é de uma visão **c**rítica, uma visão historicizada, uma visão histórico-crítica digamos assim, em que o aluno consiga significar aquilo que ele está confrontando com aquilo que está permeando a vida dele de uma forma mais ampla. [...] de nada adianta o aluno saber de cor e salteado as leis de Newton, se ele não consegue compreender o contexto histórico em que essas leis foram concebidas e desenvolvidas, ele tem que ter a noção além dessas teorias daquilo que essas teorias vão representar em termos de mudanças significativas para a humanidade, que você tinha uma linha de raciocínio, um paradigma, uma visão de mundo antes e uma visão de mundo depois de Newton, Descartes, Galileu, isto é, a visão de que a ciência precisa permitir o aluno localizar-se quanto sujeito no tempo e no espaço, localizar temporalmente o que está acontecendo e onde ele está e onde essa ciência pode levá-lo de uma lado para o outro. Eu acho que isso é fundamental para nós professores dessas ciências que são conhecidas como ciências duras [...] então a criticidade tem que estar permeante e muitas vezes a gente faz o contrário engolidos pela pressa, pela necessidade de vencer o conteúdo, por condicionantes do sistema de ensino, seja ele universitário ou médio a gente acaba deixando de lado aquilo que é "menos importante" para os nossos objetivos que é fazer o aluno passar no vestibular ou aprender física para projetar por exemplo uma estrutura.

Podemos verificar que no final do relato ele justifica a ação pedagógica tradicional, apesar de demonstrar que acredita em outra forma de ensino, pois existem "condicionantes do sistema de ensino" que impedem a atuação da maneira como se acredita, obrigando o professor a agir de determinada maneira devido ao currículo que deve ser comprido e ao sistema avaliativo que se impõe, como vestibular e Enem para o ensino médio e Enade para o ensino superior. Nesse sentido, Moreira (2013) reflete sobre as políticas e práticas curriculares, criticando a "cultura da *performatividade*", assim denominada por Stephen Ball (2003). Por *performatividade* Ball (2003 apud MOREIRA, 2013) entende como uma cultura ou modo de regulamentação que se vale de avaliações e julgamentos para controlar e hierarquizar. Moreira (2013) defende o desenvolvimento de práticas curriculares que ponderem e até mesmo superem a políticas oficiais e que essas práticas promovam o fortalecimento do docente em prol da sua autonomia e criatividade. A cultura da *performatividade* pode desestabilizar e criar sentimentos de insegurança ficando muito distante do ideal de autonomia e autoconfiança necessárias para o fortalecimento do profissionalismo docente. Moreira (2013, p.70) acrescenta:

> A ênfase no controle, no desempenho como medida da produtividade, no resultado "satisfatório" e em uma avaliação que evidencie o alcance de metas previamente definidas, próprias desse enfoque, não contribui para fomentar práticas pedagógicas centradas na autonomia do professor.

O professor P3 cita a importância de posicionar para os licenciandos a sua concepção pedagógica para que estes percebam a importância de apoiar a sua prática pedagógica em uma concepção pedagógica, colocando-se em uma concepção crítica, assim como os professores P6 e P7:

> P3 – Eu me coloco como um atuante mais nas abordagens críticas, não tradicionais, embora em algum momento use elementos tradicionais, mas a concepção não é tradicional, a gente até se posiciona de uma forma crítica em relação a esse aspecto fazendo com que eles possam perceber que existem abordagens, encaminhamentos, concepções educacionais em que eles precisam se apoiar para desenvolver a sua prática pedagógica.

> P6 - Gosto de pensar que você está ali para desenvolver um senso crítico e cujo suporte é de uma abordagem mais crítica, mas eu não gosto de colocar, você é Weberiano ou Marxista não, eu acho que as teorias de aprendizagem, as teorias pedagógicas vão dar sustentação...

De acordo com Libâneo (1999), uma concepção pedagógica crítico-social dos conteúdos ou histórico-crítica atribui à escola o papel social e político da socialização do saber sistematizado. Assim, os processos pedagógicos-didáticos estabelecem ligações entre as práticas socioculturais dos alunos e o conhecimento científico, de modo a compor o saber elaborado que auxilie a compreensão das realidades sociais, propiciando a atuação dos cidadãos na transformação social. Libâneo (1999) reforça "[...] o processo de transmissão/assimilação se dá pela relação dialética entre os conteúdos culturais sistematizados e a experiência social concreta trazida pelo aluno". Essa concepção corrobora com as abordagens inovadoras apoiadas na complexidade descritas no capitulo anterior, o ensino por meio da problematização e dialogia, CTS e o ensino por projetos, visto que essas abordagens propõem contextualizar os temas de estudo na realidade do estudante, abordando questões éticas que envolvem o estudo além do conhecimento científico.

Na colocação dos professores, P5 e P8, podemos concluir que existe uma confusão na diferenciação de termos como concepção, metodologias e recursos. A concepção não é percebida como a forma que o docente compreende a prática pedagógica e a educação e sim como a utilização de metodologias e recursos, sem um embasamento epistemológico, como podemos constatar pelas seguintes falas:

> P5 - Eu teria que dar uma lida a respeito para poder te dizer... eu vou ser bem sincera, não sei se isso tem um nome, não sei a metodologia que eu uso tem uma linha, provavelmente tenha no sentido motivacional e investigativo... não sei, eu vou aplicando conforme eu vou sentindo em sala de aula e realmente não sei te dizer...
>
> P8 – Eu posso dizer que eu sou mais inovador, nos temos algumas teorias de aprendizagem como a teoria da aprendizagem significativa que é muito legal e tem várias vertentes [...] Voltando a questão das concepções pedagógicas existem alguns artigos que eu acabo lendo, mas eu acho que as vezes quando a gente estuda um pouco de ensino de física parece que existe uma tendência "olha aqui nós ensinamos usando a metodologia por aprendizagem significativa ou a teoria da mediação" e dai parece que você esquece as outras porque você tem que seguir uma linha... Eu prefiro até pelo perfil inovador pensar que eu posso misturar todas as linhas e vai sair alguma coisa boa que talvez não tenha nome, mas enquanto metodologia pode funcionar.

Esse fato demonstra que muitos docentes exercem a docência sem estar apoiado em uma concepção pedagógica clara e sem o entendimento do que seja um recurso ou metodologia, muitas vezes reproduzindo o que viveram como alunos, o que não significa que não sejam bons docentes, mas falta-lhes uma reflexão da sua prática pedagógica.

Após a observação dos discursos, podemos ressaltar os seguintes achados: os professores que relataram terem iniciado a carreira, pensando em serem pesquisadores como o P1, P2 e P4, são os que se mostram mais tradicionais no ensino. O professor P1 é entre todos o que se comporta de modo mais tradicional, pois claramente vê o papel do professor como transmissor e não como mediador. Podemos perceber pela descrição da sua aula que é predominantemente "cuspe e giz" na qual ele valoriza a demonstração do desenvolvimento dos conteúdos. Quando cita opções de inovação, ele declara "[...] Quais as opções de inovação? *power point* não é estimulante" demonstrando que ele confunde recurso com abordagem inovadora e também "[...] outra inovação é a internet, mas aí ele não precisam de mim..." demonstrando não acreditar no papel mediador que o professor possa exercer. O professor P2, que também tinha como intuito a pesquisa, assume-se tradicional e relata que quando tentou inovar não foi bem sucedido. O professor P4 é o que se mostra mais aberto à inovação, mas também se declara tradicional. Porém, seu discurso é contraditório no que se refere a sua prática pedagógica e no como enxerga o papel do aluno e professor na relação ensino e aprendizagem . Neste ponto poderíamos refletir se a falta de uma formação pedagógica, visto que todos são bacharéis em Física e com mestrado e doutorado em Física aplicada, contribuiu para uma concepção tradicional do ensino. Os docentes P3, P6 e P7, licenciados em Física, se colocam dentro das concepções críticas. O professor P3 mostra coerência neste sentido, pois relata que tem promovido com seus alunos de licenciatura a iniciativa da problematização e investigação por temas, abordagens que acolhem a

complexidade. O professor P7 demonstra ter muita clareza em relação a sua concepção de educação. Apesar de acreditar em uma concepção crítica da educação acaba sendo tradicional, argumenta que existem "condicionantes do sistema de ensino" que dificultam a docência do modo como ele acredita.

Categoria 3 – Física quântica, natureza e paradigma da complexidade

O paradigma da complexidade, também denominado inovador ou emergente, propõe uma nova visão da educação e da sociedade e tem como um dos seus referenciais epistemológicos a Física quântica. Contrariamente ao paradigma tradicional, que ancorado na redução proposta por Descartes e nas ideias de Newton sobre causalidade, propõe um ensino fragmentado, linear, reprodutor e mecânico, o paradigma da complexidade traz a ideia da totalidade, do conhecimento em rede, não desprezando as incertezas e a complexidade das relações. A esse respeito, Behrens (2007, p. 445) acrescenta:

> O paradigma da complexidade busca a superação da lógica linear e atende a uma nova concepção que tem como eixo articulador a totalidade e a interconexão. O paradigma da complexidade começa a semear uma nova visão de homem, de sociedade e de mundo.

Na categoria 3, quando questionamos: *Se a física quântica e a relatividade mudaram a maneira de observar a natureza*? Procuramos descobrir qual o perspectiva do professor sobre as mudanças que a descoberta da Física quântica e da relatividade trouxeram para a visão da realidade e se eles consideravam essa nova física como o rompimento de um modelo. Como a Física quântica é um dos referenciais epistemológicos do paradigma da complexidade, esse entendimento é fundamental para compreensão desse paradigma. As respostas foram em direção a diversos pontos de vista, mas a maioria dos professores concorda que sim, que a Física quântica muda a forma de ver a natureza. Somente o professor P1 é contundente ao afirmar que não acredita nesta mudança de visão. Ele acredita que a Física quântica é um modelo que se aplica ao mundo do microscópico e o mundo que vemos é vivemos é o mundo clássico, como contatamos no relato:

> P1 – Não. Não pelo simples fato que apesar de estarmos imersos no mundo quântico o mundo macroscópico é clássico. A quântica está associada a *quantuns* que tem um tamanho muito pequeno. Então por mais que o mundo clássico seja consequência desse mundo quântico é o tamanho, é a ordem de grandeza desse mundo que está vinculado ao que é clássico e o que é quântico, então eu não vejo como a não ser as pessoas que estão envolvidas no processo de desenvolvimento científico que pensam

> de maneira quântica [...] tenho uma colocação em relação a física quântica no sentido que em outras áreas as pessoas falam em física quântica, mas para físico é um modelo, não tem implicação, não tem interpretação, não tem um pensamento diferente, porque é um modelo, assim como o modelo clássico era válido em uma época, o modelo quântico não exclui o clássico, então é o modelo que descreve o que a gente observa, então para físico não existe uma interpretação filosófica para isso....

No relato do professor P1, podemos observar uma visão tradicional e objetiva do conhecimento, demonstrando grande racionalidade técnica na qual o conhecimento serve a um objetivo, não tendo interpretações filosóficas, corroborando com a concepção pedagógica tradicional que este docente demonstrou na categoria anterior. Northrop (1999), no capítulo introdutório que escreveu no livro Física e Filosofia, de Heisenberg, aborda a questão da importância da Física contemporânea na reformulação da concepção do homem e da sua relação com o mundo, afetando até mesmo a percepção que o homem tem de controlar seu destino. Segundo o autor "[...] Em nenhum ponto da Física isso é tão flagrante quanto no princípio da indeterminação da mecânica quântica, descoberto pelo autor deste livro e que, comumente leva o seu nome" (NORTHROP, 1999, p. 9). Esse tema da incerteza e indeterminação como mudança profunda é um dos pontos mais citados pelos professores que acreditam que as descobertas trouxeram mudanças na visão de mundo, como podemos acompanhar nos depoimentos abaixo:

> P3 – Quando você usa esse conhecimento ou possui esse conhecimento e a partir disso busca um olhar para a realidade ele é diferente. Não tenho dúvida alguma que a relatividade e a mecânica quântica modificaram essa percepção da realidade...
>
> P4 - Certamente, com muita intensidade inclusive. O ponto principal era o determinismo e se você tivesse instrumentos você poderia medir uma grandeza com precisão infinitamente grande e com a mecânica quântica isso mudou, a gente não tem acesso a medidas arbitrariamente precisas, então tem um princípio de incerteza intrínseco na natureza. A natureza é incerta e isso é mudança na forma de perceber a natureza muito profunda [...].
>
> P6 - A mecânica quântica deu uma nova perspectiva de indagar os fenômenos que estavam acontecendo, então neste aspecto sem dúvida você mudou de paradigma, o Thomas Kuhn fala houve uma ruptura em relação ao que você tinha da mecânica clássica e isso vai influenciar a sociedade, não tem como não falar nisso, não tem como não ver, nós vivemos na sociedade do indeterminismo [...].
>
> P9 - a partir do instante em que a teoria da relatividade e a física quântica apareceram as certezas foram transformadas em incertezas, parafraseando o principio da incerteza de Heisenberg. Eu acho que tudo ficou diferente [...].

O professor P4 chama atenção para a caraterística que ele julga como principal transformação, que é a mudança de uma visão determinística para uma visão da incerteza que é uma característica intrínseca da natureza. Esse pensamento é compartilhado com o professor

P6, que reconhece as mudanças produzidas na sociedade devido à evolução da ciência. Nesse sentido, Northrop (1999) argumenta ser impossível fazer uso da tecnologia que a Física moderna proporciona sem alterar costumes e valores tradicionais da sociedade. Morin (2000) acrescenta que a incerteza faz parte da história humana. O desenvolvimento da ciência na época da revolução científica levou o homem a acreditar em um mundo certo e determinado. Mas o século XX foi decisivo para que essa crença viesse abaixo e a constatação que na ciência como na sociedade verifica-se que o desenvolvimento modifica, desorganiza e reorganiza o sistema. Morin (2000, 81) adverte: "[...] É preciso aprender a enfrentar a incerteza, já que vivemos em uma época de mudanças em que os valores são ambivalentes, em que tudo é ligado. É por isso que a educação do futuro deve se voltar para as incertezas ligadas ao conhecimento". Assim, percebemos que a incerteza comprovada por Heisenberg trouxe a necessidade de se introduzir atitude filosófica na educação e na sociedade. O professor P7 é o que mais reflete sobre a perspectiva da concepção de ciência influenciar na concepção de educação e do conhecimento das diversas áreas:

> P7 - Elas mudam a maneira de ver a realidade daqueles que tem conhecimento da teoria. Eu diria que é muito cedo para nos avaliarmos nas outras profissões, nas outras áreas mais distantes das ciências da química, da física, talvez da matemática que tem uma relação muito intrínseca com a física quântica. Para as outra áreas eu ainda sou receoso de afirmar que essas mudanças são significativas, por exemplo, um curso de medicina é cartesiano, se a gente analisar a grade é cartesiano, assim como um curso de engenharia. Todos eles estão pautados em cima de uma matriz é linear, plana, unidirecional no sentido que você sai de uma ponta e vai caminhando para outra extremidade. Então a quântica é significativa em termos de mudança de mundo para as áreas mais afins da mecânica quântica, mas para outras áreas eu não vejo mudanças significativas. Talvez para as áreas como educação, psicologia que se permitiram entrar e conhecer um pouco mais, resgatar e conhecer epistemologicamente outras formas de agregar na construção do conhecimento essas teorias que nada mais são que teorias que revelam o que é o universo, o que é matéria, o que é a natureza [...] é interessante que o estudo da física é mais cartesiano que o estudo de outras áreas como a educação, a psicologia...

Na ponderação do professor P7 observamos uma colocação importante: ele reflete sobre o fato do ensino de Física ser tradicional comparado a outras áreas do conhecimento como a educação e a psicologia que "[...] permitiram entrar e conhecer um pouco mais, resgatar e conhecer epistemologicamente outras formas de agregar na construção do conhecimento" (P.7) ao contrário da própria Física, cujo ensino é mais cartesiano. Podemos entender essas colocações, visto que, apesar de a maioria dos docentes afirmarem que realmente a Física moderna muda a forma de se observar o mundo e a realidade, as suas concepções pedagógicas são tradicionais, ou seja, uma concepção de ciência evoluída não implica necessariamente uma concepção de educação contemporânea.

Os professores P5 e P8 ressaltam a necessidade uma análise crítica sobre o que se escreve sobre Física quântica. Eles colocam que o termo "Física quântica" é muito atrativo, pelo fato de referir-se a algo que não pode ser visto, e esse fato gera metáforas e analogias indevidas e o uso indiscriminado do termo, como segue nos depoimentos abaixo:

> P5 - Olha com certeza sim [...] E é um termo muito atrativo porque a física quântica não é observada no dia a dia, então é aquilo que fica no mistério, aquilo que está dentro do átomo, então mudou a forma de ver a realidade? Eu acho que sim, a filosofia trata muito disso, dessa conexão com as descobertas físicas também...
>
> P8 - Eu acredito que sim. Certamente foi um momento em que se achava que estava tudo descoberto que não tinha mais nada para fazer era só refinar valores de constantes como disse Kelvin... [...] o impacto na sociedade eu vejo mais com consequências negativas do que positivas por um problema de má exploração desse tema porque quando você faz a transposição didática do conhecimento acadêmico para levar para o conhecimento escolar ou para a sociedade em geral, você vai cometer equívocos e fazer simplificações, isso é normal, mas a revolução da física quântica ou o que se diz de física quântica hoje gerou muitos livros não qualificados [...] a informação qualificada chega muito pouco a sociedade.

O professor P2 visualiza a mudança pela perspectiva do conhecimento científico voltado para a pesquisa, como podemos observar:

> P2- Mudaram completamente e ainda estão mudando. A física quântica está em pleno desenvolvimento, resultados novos que estão saindo a todo o momento [...] O pessoal da relatividade anda meio ressabiado com as últimas descobertas e não consegue compatibilizar a relatividade com quântica, teoria cosmológica com a parte de microscopia, a parte microscópica quântica, continua sendo meio incompatível, mas são duas áreas que mudaram completamente a visão de universo.

Podemos relacionar o perfil pesquisador do professor P2 pelo relato acima, visto que a sua reposta é pela ótica da pesquisa em Física e não da possível influência deste conhecimento na educação e na sociedade.

Ainda na categoria 3, quando questionados com a pergunta: *Você já teve alguma experiência, na qual tenha tido contato com o Paradigma da Complexidade?* Somente dois professores demonstram já ter contato com esse paradigma. Abaixo os comentários dos professores que já tiveram contato com o paradigma da complexidade:

> P5 - No ano de 2012 eu trabalhei no núcleo pedagógico e eu lembro que o pessoal trazia muito isso nas discussões, essa teoria da complexidade, então eu já devo ter lido, eu já li com certeza alguma coisa, discutimos algumas questões, mas está superficial na minha cabeça ainda, não vou conseguir dizer muitos detalhes... mas já ouvi falar sim.
>
> P7 - O contato que eu tive com a teoria da complexidade é no colégio que adota essa linha epistemológica, exatamente em uma tentativa de ampliar os métodos educacionais de ensino e de aprendizagem que tem a mesma visão de conhecimento

> que os professores tem sobre o conhecimento, sobre o saber de forma geral. Então o contato que eu tenho é o contato de leitura de cunho pedagógico no colégio. [...] são reuniões de cunho mais pedagógico e epistemológico, análise da nossa ciência, desenvolvimento da ciência, uma análise de contexto, uma análise de habilidades que o aluno deve desenvolver ao longo do processo e daí entra como pano de fundo discussões de cunho mais pedagógico e substancialmente a base, a matriz é a teoria da complexidade.

O professor P5 comenta que já teve contato, mas que o tema é superficial para ele, demonstrando que é necessário um contato mais profundo e contínuo com o tema para se apropriar e refletir sobre o paradigma da complexidade. Behrens (2007, p. 441) chama a atenção para o fato que "pequenos e poucos encontros não subsidiam o preparo e a mudança da prática pedagógica", referindo-se às instituições que promovem palestras e cursos, mas que poucos se comprometem com o desenvolvimento contínuo dos professores, acreditando que ações isoladas serão suficientes. O professor P7 é o único que relata ter tido um contato mais consistente com o paradigma da complexidade, por meio de estudos pedagógicos que o colégio no qual ele atua no ensino médio promove. Muito pertinente a colocação que ele faz quando reflete que o currículo do curso de Física não contempla temas importantes sobre teoria da complexidade, sistemas caóticos e não lineares, como segue: "Ao passo de que essa teoria não é estudada na graduação, não há na ementa, ao menos quando eu fiz o curso de Física. Nada da teoria da complexidade na licenciatura, nada de sistemas caóticos e nada de sistemas não lineares nas cadeiras do curso de Física" (P.7). Como afirma o participante, o curso de Física não vem preparando seus alunos para discussões importantes sobre uma nova compreensão científica da vida baseada na evolução da Física contemporânea.

Embora afirme não conhecer o paradigma da complexidade, o professor P4 conseguiu relacioná-lo de forma muito coerente com seus conhecimentos. Relacionou o sistema complexo as multivariáveis e constatou que a humanidade e a educação são multidimensionais e, portanto, complexas, como segue abaixo:

> P4 - Não, eu não conheço a teoria da complexidade. Meu sistema de estudo no mestrado era bastante complexo, multivariado. Eu imagino o seguinte: nos textos que eu li que falam de sistemas complexos, eu imagino um sistema complexo como multivariado. Os sistemas reais, humanos são todos multivariados. A teoria do caos trata muito bem essa situação, dentro do caos, dentro do complexo existe ordem e a gente busca essa ordem, eu imagino no aspecto educacional, humano, político e biológico eu imagino que a teoria da complexidade funcione muito bem...

No mais, podemos perceber pelos relatos que a maioria dos professores não tem referenciais da complexidade:

> P2 – Não, nunca tive contato.

> P3 – Não, eu não tive contato. Não tenho uma boa leitura do que seja esse paradigma.
> P8 - Não, li muito vagamente e não saberia nem explicar isso para alguém, só sei que existe.
> P9 - É provável que isso tenha ocorrido mesmo sem a gente identificar. É aquela coisa de no dia a dia você ter situações do processo de ensino tradicional em que esse tipo de situação tenha se colocado e você não dá conta...

Pelos relatos acima, podemos perceber que o tema complexidade e suas implicações na vida e na sociedade ainda são desconhecidos de grande parte dos professores de Física entrevistados, apesar de toda a influência da Física neste tema, como coloca o professor P7, em outras áreas do conhecimento, como, por exemplo, a economia, a psicologia entre outras incorporam com mais facilidade a complexidade do que a própria Física.

Destacam-se os discursos dos docentes P3, P4, P6 e P9 nos quais existe a percepção que a Física moderna mudou a forma de se observar a realidade, alterando a visão determinística da natureza para uma visão incerta como coloca P6 "Vivemos na sociedade do indeterminismo". No entanto, essa de concepção de ciência não se relaciona à concepção pedagógica dos docentes. Constatamos que, mesmo com uma concepção de ciência em evolução, visto que a Física moderna alterou os paradigmas da ciência e os docentes se mostram conscientes deste fato, não existe uma mudança significativa na forma como se pensa a educação, com predomínio de abordagens tradicionais, mesmo pelos docentes que não consideram ter uma concepção pedagógica tradicional. O professor P1 é o único que demonstrar ver a Física quântica como um modelo, sem interpretações filosóficas que possam influenciar as pessoas não envolvidas em um processo de pesquisa nesta área e o professor P5 tem uma perspectiva de mudança, porém voltada para a influência nas pesquisas, ou seja, não existe uma relação com educação e sociedade. Os docentes P5 e P8 questionam o uso indevido do termo "quântico" por pessoas leigas.

Em relação ao tema da complexidade, professor P4 esforça-se para interpretá-lo, relacionando-o com seus conhecimentos, sendo coerente nas relações que estabeleceu. O docente P5 teve um breve contato, portanto não o assimilou de forma significativa e o docente P7 é o que demonstra ter maior clareza sobre o tema. Os outros participantes não conheciam nada a respeito do tema.

Categoria 4 – *Paradigma da complexidade e sua influência em metodologias inovadoras*

Nesta categoria procuramos investigar se algumas metodologias que os professores têm proposto promovem uma aprendizagem voltada para a produção do conhecimento,

mesmo que estes não tenham conhecimento sobre o paradigma da complexidade. A substituição das metodologias tradicionais de ensino que envolve a simples memorização e reprodução por metodologias inovadoras que promovam a participação ativa dos estudantes na prática pedagógica tem sido um desafio em todos os níveis da escola, mas no Ensino superior é maior ainda. Pimenta e Anastasiou (2002) acrescentam que é no Ensino Superior que as concepções tradicionais trazidas pelos jesuítas mais persistem.

Primeiramente procuramos investigar: *Qual o conceito dos professores sobre o significado de uma metodologia inovadora.* Quando questionados em relação ao que entendem por metodologias inovadoras, a maioria dos professores respondeu que entende por metodologia inovadora a produção do conhecimento pelos estudantes, como identificamos nos depoimentos:

> P6 - Inovador seria que o aluno participasse mais da produção do conhecimento dele e não dependesse tanto da minha participação pra que isso aconteça. Isso é uma herança que nós temos de gerações passadas, aonde o aluno espera que você entregue tudo para ele pronto e que ele vai aprender desse jeito [...] Na realidade eu estou aqui só para dar algumas dicas da aprendizagem e quando ele percebe que ele consegue fazer essa aprendizagem com você ou sem você ele consegue caminhar por conta própria, e você consegue um dos objetivos que é a aprendizagem, outro objetivo é discutir os fenômenos fisicos, outro objetivo é que ele seja um cidadão ético na sociedade, então todos esses objetivos estão por trás da minha aula [...] a maior inovação é essa, mostrar para ele que é o agente da aprendizagem e que ele não depende de ninguém para essa aprendizagem.
>
> P7 - Exatamente aquela que faz o aluno pensar e ser mais autônomo porque o nosso ensino ainda é um ensino voltado para o professor na posição de transmissor do conhecimento. De forma categórica eu diria que a maioria dos professores e do processo como um todo que é um processo que acaba levando essa relação ensino aprendizagem – ensino voltado para o professor – aprendizagem para o aluno, uma relação dicotômica, quando deveria se dialógica [...] O ensino hoje é absolutamente fordista. Aluno entra e sai – entra e sai –senta ali - conteúdo – conteúdo... Essa é a visão tradicional. O que eu vejo de inovador são estratégias que dão mais tempo ao aluno, mais liberdade ao aluno com currículos cada vez mais flexíveis em que o aluno constrói seu próprio currículo [...] Nesse sentido eu vejo assim o ensino ou educação inovadora dando mais liberdade ao aluno.
>
> P4 - [...] quando existe uma orientação que leva a uma aprendizagem autônoma, essa ideia é inovadora, ela quebra um paradigma tradicional onde a maior parte dos professores utilizam métodos de aula expositiva.

Constatamos nestes depoimentos que a ideia de inovador remete à produção de conhecimento pelo próprio aluno. Apesar desta visão dos docentes, Cunha (2014) coloca que é raro encontrar docentes voltados ao desenvolvimento das habilidades intelectuais nos estudantes. Segundo a autora, os docentes apresentam bons esquemas do conteúdo, mas não conhecem procedimentos para ajudar o aluno a chegar ao seu próprio mapeamento de aprendizagem. Para o professor P8 inovar é produzir aprendizagem eficiente, porém ele exalta

os motivos pelos quais os professores optam pelo ensino tradicional, entre outros, seriam: porque não há um ambiente que motive; porque a inovação demanda um tempo, inclusive fora de aula e não existe reconhecimento das iniciativas que deram certo, mas existe a cobrança quando uma inciativa dá errada. Isso faz com que a maioria dos professores opte pelo tradicional que é bem aceito pelos estudantes e mais seguro para professores, como destacamos no depoimento:

> P8 – [...] é difícil definir o que é inovador, a implementação de métodos que levem a uma aprendizagem mais eficiente talvez [...] O que eu tenho percebido que é muito difícil você dar aula no curso superior como você gostaria, porque demanda muito tempo, você recebe relativamente pouco por isso, te toma um tempo muito grande fora de sala, então eu acho que esse é um dos fatores que acaba fazendo com que os professores optem sempre pelo tradicional porque se você quer inventar moda toda hora, isso demanda bastante tempo [...] Um ponto importante quando a gente fala em metodologias inovadoras é que a premissa para inovar é você poder errar porque não existe inovação sem erro. Eu vejo que países com autos índices de inovação tratam erro como aprendizado e países com baixo índice de inovação tratam o erro com punição e no Brasil a gente tem um pouco essa visão, se o professor erra e não só o professor é em qualquer área, mas o professor é pior, se ele tenta inovar na atividade docente é pior porque se você está na escola e faz algo inovador e dá certo alguém te dá um tapinha nas costas e fala parabéns, legal, se der errado vão te chamar em uma salinha e dizer mais uma você está na rua, então não há incentivo na inovação, não há um ambiente que te estimule a inovação porque custa muito, demanda tempo e você não retorno, não a um programa de meritocracia para premiar esse tipo de atividade, eu não digo nem financeiramente, não há um respaldo. Eu acho que isso explica muito a metodologia tradicional adotada pela maioria, o professor tem dos dois lados ou vou inventar moda ou vou fazer o tradicional, se eu inventar moda e der certo eu vou ganhar um tapinha nas costas... então na hora de analisar o ganho e os riscos ele acaba optando pelo tradicional que é mais seguro.

Percebemos também que para os professores P1 e P5, que se mostram mais tradicionais, não está claro o significado e a importância de uma metodologia inovadora. O professor P5 afirma usar a experimentação como inovação em sala de aula:

> P5 –[...] nada melhor que a experimentação para que o aluno produza o seu conhecimento de fato, então quando o aluno chega para fazer a aula de física experimental, acho que esse é o momento de trabalhar diferente, de não trabalhar o roteiro pronto ditando faça isso faça aquilo... deixar que o aluno investigue primeiro as possibilidades que ele tem em mãos para que depois ele descreva o processo e isso é uma descoberta muito legal [...] Na última aula que eu tive foi uma experiência muito interessante, o aluno participou como espectador, mas a atividade era investigativa, então o fenômeno é demonstrado sem explicação sobre como e porque aquilo acontece e geralmente são experimentos contra intuitivo, então o fato de você ligar uma turbina e a bolinha ficar flutuando e ela não está em baixo de nada, aquilo fica como mágica deixa os alunos eufóricos e o engraçado é que essa atividade foi proposta como facultativa e todo mundo quer fazer, todos querem investigar aquilo, então eu acho que é legal, se você consegue essa coceirinha no aluno, essa vontade...

O professor P5 coloca a experimentação como uma forma de produção do conhecimento, ressaltando a possibilidade de não usar roteiros prontos e assim ampliar a participação do estudante no processo. Essa opção é interessante, visto que o laboratório pode ser uma prática tão expositiva e demonstrativa quanto o quadro negro, funcionando apenas como recurso de demonstração. Neste sentido Gil-Perez (1986, apud GIANI, 2011) identifica o empirismo-indutivismo como a mais comum concepção da natureza e da metodologia científica de professores e alunos em relação ao potencial pedagógico das experimentações. Para esse autor, essa é uma visão simplista, visto que no empirismo-indutivismo a ciência é vista como neutra e composta de verdades inquestionáveis, estando à espera de ser descoberta. Assim, a experimentação serve para as teorias serem comprovadas por meio da observação e coleta de dados empíricos. Portanto, a atividade experimental assume um papel meramente ilustrativo, sendo tão conservadora quanto a exposição de conteúdos no ensino tradicional. O docente P5 questiona a necessidade de inovar, como verificamos a seguir:

> P5 - uma das coisas que eu penso e tem sido discutido é o quão importante é inovar. Porque se inovar foi um dia utilizar um *power point* mostrando figuras prontas, equações e animações e hoje os alunos sentem que aula no quadro eles se interessam mais, a interatividade é maior, eu não sei até que ponto a metodologia com esse termo inovador seria melhor ou pior... por que ainda a tradicional, não sei se a geração que ainda vem e já é uma geração que você luta com *tablet*, com *iphone*, com tudo em sala de aula, mas mesmo assim quando você está no quadro escrevendo parece que é melhor... e eles falam porque eu pergunto: *power point*? "Não estamos cansados de *power point*..." Então o termo inovador, eu tento a medida do possível levar para a sala, por exemplo, fazer uma experimento na aula teórica ao meu ponto de vista pode ser inovador, não conheço outros... Eu sei que tem o *flipped classroom* a sala de aula invertida, mas não tentei nenhum desses por enquanto e também eu me questiono até que ponto essa inovação vai mudar alguma coisa ou é necessária que se tenha algo inovador ou o que é inovador...

Perspectiva compartilhada pelo professor P1 que questiona o que é inovação

> P1 - Eu ainda não consigo entender o que é inovador, de verdade... Eu ouço muito sobre o que é inovador, porque o uso de técnicas, tecnologias diferentes, mas pra mim não chega a ser inovação. Talvez inovação seria mudar a maneira como se ensina alguma coisa, mas até que isso aconteça tem que passar por avaliações, ou seja, ela tem que ser testada e se mostrar válida e até o momento não apareceu uma proposta que para o contexto da física seja adequada.

Quando questionados: *Em relação ao uso de metodologias inovadoras e as possibilidades de usá-las em sala de aula,* o professor P1 colocou as dificuldades para implementação de metodologias inovadoras, como a quantidade de alunos por sala e o tempo necessário para aplicação destas metodologias.

> P1 – Produção de conhecimento demanda tempo, primeiro ponto. [...] seria muito mais proveitoso se trabalhássemos nessa tendência de desenvolver o pensamento e o conhecimento, mas para isso demanda tempo, não dá para fazer com grandes grupos porque você precisa de dedicação àquela pessoa, acompanhar aquela pessoa e quando você vê que ela está saindo do caminho você faz perguntas que trazem ela de volta para o caminho, se você deixar dispersar ela não chega, então precisa de orientação imediata.

No depoimento do professor P1, aparece a questão do tempo para utilização de abordagens inovadoras que promovam a produção do conhecimento. Nesse sentido, Behrens (2013, p.76) ressalta a importância de o docente conscientizar-se "[...] de que não pode absorver todo o universo de informações e passar essas informações para os alunos." O universo de informações ampliou-se muito e o foco da ação docente precisa "[...] *passar do ensinar* para *enfocar o aprender* e, principalmente, o *aprender a aprender*" (ibidem, p.76). A autora cita o "Relatório para Unesco da Comissão Internacional da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI", coordenado por Jacques Delors *et al.* (1998), que, segundo Behrens (2013), aponta a necessidade da aprendizagem ao longo da vida, como consequência da sociedade do conhecimento que exige uma educação assentada sobre os pilares: "[...] *aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a viver juntos;* e *aprender a ser"* (BEHRENS, 2013, p. 85). Sendo assim, é um desafio aos docentes e aos estudantes a superação deste pensamento que o professor tem que "dar todo o conteúdo". O professor deve mostrar caminhos, mas os estudantes têm de valorizar a autonomia, *aprender a buscar, aprender a conhecer*.

Outro ponto comentado pelo professor P1 são algumas experiências que são apresentadas aos professores como casos de sucesso, mas muitas vezes são situações muito específicas, difíceis de serem reproduzidas em sala, seja pela quantidade de alunos, seja pelo interesse destes pela aprendizagem:

> P1 - Eu fiz o curso do professor Moreira, que fala da teoria da aprendizagem significativa. Qual é a experiência dele? É trabalhar com grupos pequenos e voluntários, isso significa gente que está interessada, já seriam os bons alunos que temos em sala de aula e você pode atender individualmente cada um, então você lança um problema e eles discutem e procuram um meio de resolver [...]

Esse mesmo professor ainda coloca que, na sua concepção, algumas metodologias consideradas "inovadoras" são tradicionais, pois não libertam o aluno da "passividade":

> P1 - A sala de aula invertida pra mim continua sendo tradicional... Se o aluno vai para casa e faz um resumo o efeito não é o mesmo que ele assistir um vídeo? Ou seja, se o aluno tem o conhecimento prévio a princípio você pode explorar mais,

> você pode pular etapas e não precisa ensinar tudo detalhadamente porque ele já viu muitas coisas, então você parte do princípio que ele tem um pré-conhecimento e aí você aprofunda. Eu acho que é a mesma coisa praticamente, você só tem uma tecnologia envolvida... Nosso aluno agora tem dificuldade de leitura... porque que o aluno aprende melhor vendo um vídeo do que lendo? Porque o nosso aluno não sabe mais ler, não sabe interpretar, não sabe pesquisar o que é importante porque ele não tem essa prática, não tem o hábito, então é mais fácil que alguém esteja lá na frente falando o que ele deve saber [...] Eu não sei o que dá para fazer, mas eu sei o que não dá para fazer: ensinar por qualquer método gente desinteressada, e as pessoas desinteressadas chegam geralmente com falta de conhecimentos prévios, por que dai tudo fica difícil. Então em termos de inovação nesse momento tem que volta lá atrás e tem que melhorar a educação básica. Não adianta querer mudar cabeça de velho ...rsrs...

No depoimento acima, podemos perceber certa desesperança do professor na falta de interesse e na falta de preparo dos alunos, sentimento compartilhado com o professor P2, quanto este relata suas tentativas de utilizar metodologias inovadoras:

> P2 - As vezes eu tento, principalmente em relação a parte prática [...] Eu tentei o ensino cooperativo, não deu certo [...] Aquele *PBL* eu também tentei. Lançava um problema e se virem né... não dá certo, os alunos não vão, para o aluno fazer *PBL* o aluno já tem que ter um preparo [...] eles não sabiam nem por onde começar. Eu falava: "gente vocês tem que estudar, tem que pegar o livro, tem que pesquisar"... e eles: "professor, o senhor não ensinou isso, como que a gente vai fazer se vocês não deu aula disso..." e eu argumentava: "Justamente vocês tem que pesquisar, tem que ler..." e os alunos: "A mas eu não consigo, eu tenho que ter aula..." [...] Então qualquer coisa que eu tente fazer os alunos reclamam, eles preferem aparentemente aula tradicional. Se você começa a sair daquilo começa a gerar conflito...

Nesse depoimento podemos constatar que muitas vezes os próprios alunos não aceitam bem as metodologias inovadoras, pois estes tiveram no mínimo 12 anos anteriores de uma vida escolar baseado no ensino tradicional. Com efeito, Cunha (2014) destaca que os docentes que trabalham na perspectiva da reprodução do conhecimento são considerados os "bons professores" pelos estudantes. Para eles esta é a maneira "certa" de dar aula e outros métodos que o professor proponha são "enrolação", ou o professor está com "preguiça" de dar aulas ou ainda "não sabe o conteúdo". O professor P7 também levanta essa problemática:

> P7 - É possível, a gente estuda, a gente tenta, é necessário ser audaz, ter coragem de implementar e superar os rótulos que precisam ser vencidos e que o professor tem quando propõe atividades em que ele coloca o aluno em atividades de grupo para discutir situações problemas, não é por que o professor está com preguiça de dar aula ou que o professor não sabe o conteúdo. O aluno muitas vezes não percebe que são essas as estratégias que fazem com que o professor tenha mais trabalho, que o professor tem que ir individualmente aos grupos, que ele ganha uma visão mais individualizada do aluno e coletiva da equipe. O laboratório de física privilegia isso. O laboratório é um ambiente riquíssimo porque ali você vê cada qual com as suas habilidades, suas potencialidades e dificuldades, porque você sai da sala de aula e você passa por eles, fala com eles e você esta discutindo, está olhando no olho, ele está falando, você ouve e o espaço fica muito mais rico, está dialogia aflora e desenvolve...

O professor P7 cita o laboratório de Física como um ambiente cheio de possibilidades, pois facilita a dialogia, a troca de ideias, é um ambiente que favorece que o aluno crie hipóteses a respeito de fenômenos dos quais desconhece as causas e a partir dessas hipóteses possa investigar o fenômeno.

Os professores P6, P8 e P9 relatam a maneira como propuseram o uso de metodologias que requer a criatividade do estudante na utilização do conteúdo para resolução de problemas. O professor P8 descreve uma atividade que ele denomina "uma espécie de *PBL*", envolvendo um tema de Física II, o MHS, modelagem e estimativas:

> P8 – [...] eu procuro mesclar algumas coisas... se eu tenho um programa de física eu escolho alguns tópicos que eu vou dar aula de forma tradicional por que eu não vou ter tempo [...] outros tópicos eu procuro fazer alguma metodologia diferente, por exemplo na física 2 eu gosto de trabalhar pelo menos uma vez na disciplina com... não sei se tenho um nome para trabalhar essa metodologia tá, mas ela é parecida com os *PBL*... eu chego na sala, imagino que seja uma grande empresa multinacional e ai eu divido em equipes, que são equipes de engenharia eu dou para cada um deles um problema, que é um problema de engenharia, por exemplo um dos problemas para uma equipe é o cara tem que atender uma fabricante de tênis e a fabricante de tênis precisa testar a durabilidade e pra isso eles vão fazer uma máquina que fica imitando o pisar do tênis só que nessa máquina precisa-se projetar a frequência com que o pé vai passar, para isso um modelo que seja capaz de descrever o andar de uma pessoa e desafio dessa equipe é desenvolver esse modelo. Então eles já tiveram aula de MHS e a aula de MHS eu dei de forma tradicional, conteúdo no quadro, aula expositiva, algumas notas de aula *power point* no máximo isso e depois da aula MHS eu venho com essa propostas e ai os alunos tem duas aulas, eu insisto muito na questão de modelar o problema fisicamente então tem uma pessoa andando, o que é aquilo, como você vai descrever... e eu vou fazendo uma espécie de mediação no caminho deles, ajudando eles a filtrar as coisas porque eles começam com coisas muito mirabolantes que vai inventar uma máquina, que não sei o que, que vai para o espaço, que filma... e eu tento trazer a coisa para uma coisa mais simples, mais práticas e dentro das perguntas que eu faço é: quantas pessoas você acha que eu preciso envolver para conseguir essa medida? Quanto tempo vai custar e quanto de dinheiro vai custar e tudo isso são respostas estimadas e aí eu percebo que os alunos têm uma grande dificuldade em lidar com coisas, com problema que não é tipo: o enunciado diz que a massa é tanto, o L é tanto e agora calcule isso, porque eu não dou informação nenhuma é uma pessoa andando e daí durante a mediação eles são levados a modelar a perna humana como um pêndulo físico e aí descrever um modelo de período de pêndulo físico.

Um dos pontos percebidos na prática mencionada pelo P8 é a autonomia dada para a resolução da problematização. Permitir a autonomia do estudante é um princípio de uma prática inovadora, manifestando-se pelo incentivo ao levantamento de hipóteses e para solução de problemas trazidos (CUNHA, 2014). O professor P6 expressa ter ações em sala que ultrapassam as práticas tradicionais, procurando expor na disciplina de prática profissional a importância da interdisciplinaridade, não apenas falando sobre o assunto, mas propondo atividades que fazem com que o aluno vivencie a prática. Assim, percebemos ações

que, mesmo isoladas, condizem com uma abertura para uma prática voltada para a complexidade, apesar de este professor relatar não ter conhecimento o respeito do paradigma da complexidade:

> P6 - Na prática profissional eu tenho feito várias metodologias diferenciadas, por exemplo, na semana passada eu pedi para eles fazerem uma atividade que é desenvolver uma sequência didática [...] envolvendo a nossa área do conhecimento que é as ciências da natureza, então tinha que ter uma atividade que envolvesse física, química e biologia. Então alguns alunos propuseram a radiação, tranquilo, radiação relaciona-se com aquecimento, pode gerar câncer de pele e aí eles começaram a fazer e tinham que costurar isso daí e quando chega na metodologia, eles escrevem o que entendem por metodologia, mas eu não estava interessado nesta atividade, na realidade o que eu estava fazendo era que eles trabalhassem o tempo todo e eu vou mostrar para ele que ele não precisa ter grandes recursos e grandes ferramentas para mobilizar ele para a aprendizagem [...] cada um pegou um conceito da física e tinha que unir as três aéreas do conhecimento porque é isso que nós vamos encontrar na sala de aula, então sem ele conseguir discutir o planejamento dele com o professor de biologia ou o de química, a físico química por exemplo, a gente vai discutir os gráficos, mudança de estado físico, mudança de pressão, a professora de química discute ao mesmo tempo, porque que vocês fazem duas discussões diferentes e com enfoques completamente diferentes, então eu procurei mostrar pra eles que eles podem fazer isso e devem fazer isso quando estiverem com seus parceiros na escolas, tentar se aproximar do colega e conversar.

Nessa perspectiva, podemos constatar a ação da ideia do *aprender a aprender*, promovendo a apropriação do conhecimento por meio de reflexão sobre problemas reais que serão enfrentados em sala de aula e na relação com outras disciplinas.

Verificando um descompasso entre a disciplina Física III que ministrava e o conhecimento dos estudantes que se mostrava adiantado, o professor P9 propôs o ensino por projeto, associando cinco disciplinas na construção de uma interface de comunicação com o computador, demostrando claramente que, apesar de se considerar um docente tradicional percebe a necessidade dos alunos e traz concepções de um novo paradigma para a produção do conhecimento. O ensino por projetos acolhe os ideais do paradigma da complexidade e, de acordo com Behrens (2008, p.42), "[...] busca a pluralidade de caminhos e respostas" exigindo capacidade de se compreender e escolher as possíveis soluções para a questão proposta. Apesar de o relato desta aplicação de projeto ser referente a disciplina de Física de uma turma de engenharia e não de licenciatura em Física, foco deste estudo, constatamos neste docente, sinais de um pensamento complexo e de uma busca de significado para a aprendizagem, no sentido de *aprender a aprender*, como confirmamos neste relato do professor 9:

> P9 - Em alguns casos você procura diversificar essa metodologia com o *PBL* por exemplo. Ao longo de anos, ainda em 94 eu assumi uma turma de Física 3 da engenharia da computação e a turma não tinha estimulo nenhum para ir para o laboratório. Eles iam para o laboratório para replicar coisas que eles já tinha feito

> com um nível muito superior. Eles iam, por exemplo, fazer experimentos com resistência elétrica usando lâmpadas quando na verdade eles já estavam montando circuitos elétricos no laboratório deles, então havia um descompasso. Então eu propus o ensino por projeto, isso acabou se transformando no curso então ainda em 96 em um projeto integrador [...] O projeto congregava 5 disciplinas do curso e trazia essa ideia de que o aluno fizesse algo que estivesse ligado ao curso dele. Mas especificamente no caso da computação o primeiro projeto que a gente propunha era que o aluno desenvolvesse uma interface de comunicação com o computador que controle qualquer tipo de movimento. A física entrava com a ideia do movimento e as outras disciplinas com a programação, a interface de comunicação com a parte da eletrônica, sistemas digitais e outras coisas ligadas especificamente a disciplina e o projeto acabou trazendo uma fonte riquíssima de informação.

O professor P3 reflete a relevância de os cursos de licenciatura debruçarem-se sobre o ensino de metodologias inovadoras aos seus alunos, pois a Física ensinada na educação básica está muito pobre de significado e ressalta que os cursos de licenciatura e de formação continuada preparem os estudantes para o ensino por meio da problematização:

> P3 - Essa é uma questão que as próprias licenciaturas precisam se debruçar pra discutir e compreender melhor porque é isso que está ecoando na escola básica, o ensino de física está muito pobre de significado, está muito pobre de se perceber a relação dele com o dia a dia do aluno, por conta disso a aprendizagem fica bastante a desejar e isso na verdade é resultado de uma falta de encaminhamento e de metodologia que traga uma aprendizagem com significado e um ensino que tenha utilidade para o aluno e conhecimentos atualizados [...] Eu como professor do estado que trabalho com formação de professores, a gente está preocupado com essa questão de buscar um ensino que tenha essas características, que seja interessante para o aluno, que não seja uma física apenas matematizada. [...] Eu creio que, por exemplo, o uso da história da ciência, da filosofia da ciência, mas uma das que tem me chamado atenção é você desenvolver um ensino com um aspecto que não reflita aquele processo tradicional que o professor traz o conteúdo, o professor apresenta o conceito, o professor faz o exercícios, o professor faz na sequência uma algoritmo de avaliação. Então vira uma coisa mecânica e esse é o ensino que tem mais estado presente nas salas de aula há muito tempo. Tem que se quebrar essa lógica e impor uma outra lógica que tenha o interesse do aluno atendido, porque se o professor tem o interesse em ensinar e aquilo não é do interesse do aluno, não alcança nenhuma objetividade no ensino e uma das sugestões eu a gente percebe mais frequente nas pesquisas e na literatura é o ensino por meio de problematizações. Essa é uma possibilidade bastante rica e que cada vez mais esta sendo percebida pela escola de você fazer um ensino que proporcione um aluno a questionar dadas situações problemáticas, que o professor pode colocar como um desafio para o aluno, não questões de calcule, quanto vale, qual é a força, qual é a aceleração, mas problemas que podem ser elaborados a partir do dia a dia dele, daquilo que a gente chama de prática social, então na verdade, uma possibilidade é o professor pensar em uma situação envolvendo o dia a dia do aluno e que nessa situação ele desperte um problema e que assim ele coloque isso diante do aluno na sala de aula, como resolver uma questão em que ele se vê envolvido no processo.

O professor P3 crítica o ensino matematizado da Física e coloca a importância de o aluno ser desafiado, não no sentido de apenas resolver exercícios, mas de buscar solução para resolução de problemas do dia a dia, que acrescentem um conhecimento útil para as suas vidas, em uma chamada prática social, coincidindo com as ideias das abordagens que têm

características voltadas para a complexidade citadas nos capítulo anterior, abordagens que são condizentes com os preceitos do paradigma da complexidade. No entanto, apesar de acreditar na problematização como opção de abordagem, ele cita que essa abordagem quase não se encontra nos cursos de licenciatura:

> P3- [...] Por outro lado a gente percebe que isso não está presente na escola. O professor não tem essa formação, essa compreensão, então é importante que os cursos de formação continuada possam propiciar isso para o professor e mais que isso a própria licenciatura. As licenciaturas precisam acordar para os aspectos problemáticos do ensino da escola e um dos grandes aspectos certamente é essa dai. Então a problematização é bem interessante, para tornar o ensino interessante, significativo e produzir aprendizagem.

Quando questionado se usa metodologias inovadoras dentro desta perspectiva P3 relata:

> P3 - Com os alunos da licenciatura eu tenho buscado uma forma diferenciada de produzir um ensino com mais significado, procurando fazer com que o aluno possa ter uma atitude investigativa, no sentido de buscar mais conhecimento, mais informação sobre o que está sendo trabalhado e nesse aspecto ao fazer essa ação investigativa ele possa estar produzindo seu próprio material, isso tem trazido resultado interessantes porque é outra possibilidade de você dar ao processo de ensino um engajamento diferenciado. É por meio da pesquisa que na verdade está contemplada pela problematização, porque quando você busca resolver uma ação investigativa você também parte através de um problema, então é a mesma linguagem. Nesse aspecto eu vi que alguns resultados interessantes apareceram quando eu coloquei o aluno diante de uma situação em que ele é protagonista, então ele produz material, produz aquele conhecimento que ele pesquisa e se apropria do conhecimento porque é natural, se ele produz, ele se apropria e eu percebo que os resultados são muito interessantes e o aluno gosta, pois ele entende o que está fazendo e ele sabe porque e para que está fazendo e isso faz toda a diferença para ele.

No depoimento, o professor P3 relata que propõe atividades investigativas para os estudantes, com o intuito de problematizar situações, para que o estudante tenha produção própria, demonstrando uma abertura para o uso de uma abordagem amparada na complexidade, ainda que ao relatar o desenvolvimento da sua prática em sala de aula tenha colocado: "Na universidade eu tenho utilizado de uma forma mais predominante aulas expositivas, uso bastante o *data show*, uso bastante o recurso do *power point*" (P.3).

De maneira geral, quando os docentes pensam sobre metodologias inovadoras, a principal imagem das metodologias é que estas permitam que os estudantes sejam autônomos e produzam o seu conhecimento. Essa ideia é compartilhada pelos professores P4, P6 e P7. O docente P8 vê inovação como a utilização de práticas que levem a uma aprendizagem mais eficiente que as tradicionais, pensamento compartilhado com P3 e o professor P2 acredita que

inovação é tudo que sai da aula expositiva. Os professores P1 e P5 alegam não ter clareza do que é inovador e questionam a necessidade de inovar.

Em relação às iniciativas relatadas, observamos que vários docentes têm proposto aos estudantes novas metodologias em situações específicas. Ainda parecem tímidas as propostas de inovação, visto que todos relataram que na maior parte do tempo trabalham na perspectiva da aula expositiva. Destacam-se na perspectiva das abordagens voltadas para a complexidade o relato do professor P3 que procura desenvolver nos futuros docentes a ideia da investigação voltada para a problematização; o P9 que coloca a proposta do ensino por projetos integrando várias disciplinas e o P8 que propõe em alguns conteúdos uma metodologia que ele denomina "parecida com um *PBL".* O professor P6 cita que produz com alunos da disciplina de prática pedagógica algumas iniciativas que incentivam os estudantes a trabalhar de forma interdisciplinar superando a disciplinaridade.

Ao fazer uma retrospectiva das categorias analisadas, percebemos que todos os docentes participantes, na maior parte do tempo, trabalham na perspectiva de reproduzir o conhecimento, para que os alunos observem, memorizem, reproduzam e resolvam problemas. Mostram-se baseados em modelos apresentados de forma expositiva aos estudantes, quer seja por meio do quadro e giz, quer seja por meio de *power point.* Algumas iniciativas de abordagens norteadas pela complexidade têm sido realizadas como descrevemos no parágrafo acima. Ao investigar as concepções, surgiram duas categorias principais: as tradicionais, predominantemente citada pelos docentes que são bacharéis e as críticas, citadas pelos licenciados, porém, observando os relatos da prática pedagógica, todos se encaixam nos tradicionais, inclusive um docente que se considera inovador e outro que não se coloca em concepção alguma. Em a relação à Física Moderna, a grande maioria a vê como um divisor de água na ciência, mas não relaciona as mudanças propostas por essa nova visão de mundo com a educação e as necessidades de novas práticas pedagógicas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma reflexão sobre o caminho percorrido nesta pesquisa nos leva a perceber de que muitos desafios ainda devem ser vencidos para uma prática pedagógica alicerçada sobre o paradigma da complexidade aconteça no ensino da física. O progresso do estudo da Física durante a revolução científica contribuiu para o desenvolvimento de um paradigma cartesiano reducionista e fragmentador, que orienta a sociedade e educação até os dias de hoje e que levou a uma concepção de prática pedagógica baseada em memorização e reprodução do conhecimento. Paradoxalmente, a continuidade da evolução do estudo da Física no século XX estimulou uma crise no paradigma cartesiano dominante e mostrou a necessidade de uma nova visão de mundo mais abrangente e interconectada, promovendo a ascensão do paradigma da complexidade. No entanto, a área de ensino de Física e seus docentes parecem continuar extremamente cartesianos, constatação que estimulou o desenvolvimento desta pesquisa.

Esta pesquisa buscou responder à seguinte questão: **Como se caracteriza a concepção pedagógica dos professores que atuam nos cursos de licenciatura em Física, e qual o conhecimento dos docentes a respeito da visão inovadora do paradigma da complexidade e seus desdobramentos?**

Essa pergunta trouxe o desafio de investigar como os docentes dos cursos de licenciatura têm trabalhado em sua prática pedagógica e se já existem indícios de uma prática voltada para uma mudança de paradigma com vistas a um pensamento complexo.

A pesquisa realizada junto a nove docentes do curso de licenciatura de Física de uma universidade de Curitiba teve por objetivo principal analisar, à luz do paradigma da complexidade, as concepções que caracterizam a Física e o ensino da Física, a partir das impressões dos professores sobre o paradigma da complexidade, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis implicações na prática pedagógica.

No segundo capítulo exploramos a evolução dos paradigmas da ciência, com foco principal na revolução científica, nas ideias de Galileu, Descartes e Newton que foram os grandes percussores da racionalidade, do determinismo e do cartesianismo. Seguiu-se analisando o desenvolvimento da Física no século XX, procurando evidenciar o impacto gerado pelas novas descobertas de físicos com Heisenberg, Bohr, Einstein, Prigogine, entre outros, e sobre toda a sociedade.

O embasamento teórico dos conceitos de complexidade, a relação do pensamento complexo com a Física, no âmbito filosófico e pedagógico compôs o terceiro capítulo, no qual

procuramos fundamentos sobre as causas das mudanças de paradigmas e sobre os conceitos de complexidade.

No quarto capítulo procuramos fazer um aprofundamento teórico do ensino atual em Física, discutindo como as crenças dos docentes influenciam na sua prática pedagógica, dificuldades encontradas nos cursos de licenciatura para relacionar as disciplinas pedagógicas com as disciplinas específicas e as tendências de abordagens de ensino de Física que contém características da complexidade.

No quinto capítulo descrevemos a realização dos outros objetivos específicos propostos que consistiram em pesquisar as concepções que caracterizam o ensino da física junto aos docentes participantes, investigando o posicionamento dos professores sobre os paradigmas inovadores, buscando saber o que os docentes pensam a respeito da utilização de metodologias inovadoras. Também se objetivou caracterizar ações docentes voltadas ao pensamento complexo e traçar um cenário com os eixos norteadores para a ação docente no paradigma da complexidade, que apoia a formação dos futuros docente de Física em uma visão complexa.

Para alcançar os objetivos propostos, optamos pela pesquisa qualitativa do tipo estudo de caso. O instrumento para a obtenção de dados foi a entrevista episódica. Observamos por meio da análise das entrevistas que a maior parte dos docentes não teve contato com o paradigma da complexidade, seja por meio de leituras, seja por meio de formação continuada. Somente dois professores relataram conhecer o paradigma da complexidade, mas um deles confessa que é um conhecimento vago sobre o assunto. Constatamos que aproximadamente metade dos docentes se considera tradicional em relação as sua concepção pedagógica e três docentes consideram-se dentro de uma concepção crítica, apesar de a grande maioria citar que predominantemente tem uma prática pedagógica expositiva, utilizando principalmente como recurso quadro e giz e *power point* em suas aulas, sendo a utilização de metodologias inovadoras iniciativa isolada. No discurso os docentes destacaram mais os motivos que os levam a manter-se no paradigma tradicional de ensino, do que as possíveis abordagens inovadoras que praticam em sala de aula. Logo, existe uma contradição, visto que todos os docentes citaram a necessidade de promover a autonomia do aluno para desenvolver a aprendizagem. Essa contradição é explicada por alguns docentes em seus discursos, pois, apesar de alguns eles estarem cientes da necessidade de da utilização de novas abordagens de ensino que ultrapassem a mera reprodução de conteúdos e produzam reflexão nos estudantes, foram contundentes nos seus discursos para explicar as dificuldades que encontram para utilização dessas metodologias inovadoras. São elas:

- O preconceito dos alunos que dizem que o professor "está matando aula" quando não dá aulas expositivas em que fala o tempo todo. Percebemos nos discurso dos docentes que eles gostariam que os estudantes fossem mais participativos e ativos, mas, segundo os docentes, a maioria dos alunos quer sentar e assistir alguém passar o conteúdo;
- O fato de muitas vezes a própria instituição não apoiar tais iniciativas;
- A aplicação de metodologias que promovam a construção do conhecimento pelo aluno exige tempo e que o programa a ser cumprido é muito extenso para pouco tempo;
- Preparar o aluno para produzir conhecimento, ser autônomo e criativo nem sempre o levará ao sucesso em provas avaliativas como o Enade, que ainda tem um perfil de avaliação de memorização de conteúdos, estão entre os fatores que levam os docentes, para garantir o sucesso da instituição, a se manterem nas aulas meramente reprodutivas;
- A utilização de metodologias inovadoras demanda muito mais tempo de preparação e que se recebe pouco para isso.

Em relação às iniciativas que promovam construção do conhecimento, buscamos compreender as ações dos docentes que poderiam ser caracterizadas como voltadas ao pensamento complexo. Dois docentes defendem que a utilização do laboratório de física caracteriza um ensino inovador, no entanto esta é uma prática antiga no ensino de Física e na maior parte dos casos o laboratório acaba por ser mais um recurso demonstrativo, tão tradicional quanto no quadro negro. Todavia, é possível inserir o laboratório de Física e a experimentação em uma proposta inovadora, voltada para a complexidade, como a problematização, o ensino por projetos ou em uma proposta CTS, mas essas possibilidades não apareceram nas respostas. As abordagens caraterizadas nesta pesquisa como as da complexidade, como a problematização e o ensino por projetos apareceram nos discursos, mas de forma isolada. A problematização como opção metodológica apareceu no discurso de um docente, o P3, que afirma propor a investigação com foco na problematização para os seus alunos da licenciatura. O ensino por projeto também é citado em um único depoimento, no qual o docente P9 estimulou os estudantes a trabalharem de forma interdisciplinar envolvendo várias disciplinas do curso. Essas iniciativas demonstram que, mesmo sem conhecimento do paradigma da complexidade, muitos docentes já parecem entender a necessidade de uma mudança de prática pedagógica que ultrapasse o paradigma tradicional. O *PBL* que é

caracterizado pelo ensino a partir de problemas também surgiu no relato do professor P8 como uma das atividades que ele propõe para diversificar suas aulas, mas ele deixa claro que é em poucos momentos do semestre, dada a dificuldade de trabalhar nesta abordagem. Essas iniciativas, mesmo que isoladas, demonstram uma preocupação de promover capacidades que eles não desenvolvem somente assistindo às aulas, por estimular a autonomia, a criatividade, a capacidade de levantar hipóteses e a capacidade de estimativa.

Foi possível constatar, nesta pesquisa, que os docentes têm uma concepção de ciência contemporânea, conscientes da transformação paradigmática promovida pela revolução da Física Quântica e Relatividade, cientes da provisoriedade do conhecimento e da mudança de uma visão determinística da natureza para visão de indeterminação. Mesmo assim, não há uma influência desta concepção de ciência sobre a concepção de educação dos docentes, ou seja, os docentes entrevistados em sua maioria, não percebem a relação entre as duas concepções, base da compreensão do paradigma da complexidade. Neste sentido é necessário rever a observação inicial colocada na introdução desta pesquisa, na qual a pesquisadora baseada na experiência pessoal, acreditava que o fato de o docente conhecer o paradigma da complexidade poderia estimulá-lo a mudar sua prática pedagógica. Isso foi percebido na análise do discurso do professor P7, pois, apesar de ser o único a ter um contato mais próximo com o paradigma da complexidade e se apresentar dentro de uma concepção crítica de educação, se mostra extremamente conservador em sua prática pedagógica no ensino superior e não apontou iniciativa de utilizar abordagens inovadoras voltadas para a complexidade, ressaltando os motivos que o levam a ser conservador. Ou seja, não basta conhecer o paradigma da complexidade. Talvez seja necessária uma vivência profunda, para que se estabeleça a relação entre a concepção de ciência e de educação, visto que existe esta dicotomia, pois a concepção de ciência é pautada na cientificidade e a concepção de educação é baseada no senso geral.

Para estabelecer eixos norteadores para ação pedagógica dentro do paradigma da complexidade, no capítulo quatro foram descritas algumas abordagens de ensino que podem ser condizentes com os preceitos da complexidade. Assim, podemos constatar que as abordagens colocadas harmonizam com as ideias de Behrens (2013), que coloca a importância do desenvolvimento da comunicação, colaboração e criatividade entre estudantes e professores. Segundo a autora, a atual sociedade do conhecimento exige, além da expressão verbal, escrita, raciocínio matemático e fluência tecnológica que os cidadãos saibam resolver problemas reais, que saibam se relacionar e colaborar entre si. “[...] A formação inovadora exigida para a atuação em todas as áreas do conhecimento demanda trabalho coletivo,

discussão em grupo, espírito de entreajuda, cooperação, contribuição e parcerias" (BEHRENS, 2013, p. 82).

Em nossas leituras para o desenvolvimento da pesquisa, constatamos um ciclo no qual o futuro docente reproduz a prática de pedagógica com a qual aprendeu. Assim, não adianta o docente da licenciatura falar em inovação sem aplicá-la, pois para o estudante o discurso torna-se vazio, visto que não é aplicado. É necessário que o professor reflita e acrescente as abordagens inovadoras a sua prática, para que o futuro docente ao chegar à sala de aula do ensino básico ou superior o tenha como seu exemplo. Assim, os alunos da educação básica conhecerão melhor novas abordagens e quando chegarem aos bancos da universidade aceitarão essas práticas e o ciclo se inverterá.

Entendemos que alguns dos participantes da pesquisa sinalizam estar conscientes das necessidades da sociedade, de produzir uma formação mais crítica, mas de maneira geral não existe ainda um acolhimento da complexidade por estes docentes.

Vencer as burocracias escolares, universitárias e os preconceitos existentes em nós mesmos é um desafio em virtude da nossa formação cartesiana que prioriza a técnica, as respostas corretas, a reprodução, a memorização e a disciplina rígida deixando para segundo plano o desenvolvimento de habilidades importantes como a autonomia, criatividade e a colaboração. A reflexão profunda a respeito da prática pedagógica e o conhecimento a respeito dessa visão mais abrangente e interconectada da educação proposta pelo paradigma da complexidade sem dúvida ajudariam nesta jornada. A pesquisa realizada com os professores que atuam no curso de Licenciatura em Física apresenta reflexões importantes a respeito da necessidade de se investir tanto nos cursos de graduação como nos cursos de formação continuada em temas voltados para o desenvolvimento do pensamento complexo. O estímulo a buscar uma prática pedagógica que promova reflexão, pensamento crítico, criatividade e autonomia dos estudantes, preceitos do paradigma da complexidade, deve ser constantemente estimulado nos docentes, pois poucas ações isoladas não desenvolvem mudanças profundas.

Nesse sentido, são imprescindíveis cursos de formação continuada que priorizem não somente a instrução para utilização de metodologias inovadoras, mas também que justifiquem essa utilização, fundamentando o paradigma da complexidade aos participantes. Assim, estes poderão perceber que esse pensamento não é um modismo pedagógico, mas, sim, uma necessidade de uma sociedade com incontáveis problemas para os quais os nossos estudantes não estão sendo preparados. São pertinentes pesquisas que se orientem na direção de buscar respostas para o que realmente pode motivar o docente a mudar a sua prática pedagógica e

buscar abordagens inovadoras, que permitam uma prática pedagógica transformadora, ética, reflexiva e crítica, ultrapassando os limites do treinamento técnico, para efetivamente alcançar a formação não só para o trabalho, mas para a convivência em uma sociedade mais justa e humana.

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, Marli. Políticas e programas de apoio aos professores iniciantes no Brasil. **Caderno de Pesquisa**, São Paulo, v. 42, n. 145, p. 1-10, 2012. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-15742012000100008&script=sci_arttext >. Acesso em: 10 set. 2015.

ARAGÃO, Maria José. **História da Física.** Rio de Janeiro: Interciência. 2006.

ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de física**. Cad. Bras. Ens. Fís**., Florianópolis, v.30, n.2, p. 362–384, 2013. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/2175-7941.2013v30n2p362/24959 Acesso em: 04 mar. 2015.

ASSIS, André Koch Torres, **Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca,** Montreal**:** C. Roy Keys Inc**,** 2008. Disponível em: http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf Acesso em: 05 jun, 2014.

AULER, Décio. **Interações entre Ciência – Tecnologia – Sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. 2002. 218 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82610 Acesso em: 15 set. 2015.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico.** Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2000.

BARROS FILHO, Jomar; SILVA Dirceu da. Buscando um sistema de avaliação contínua: ensino de eletrodinâmica no nível médio**. Ciência & Educação**, Bauru, v.8, n.1, p.27– 38, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v8n1/03.pdf Acesso em: 21 mar. 2015.

BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto. Debates recentes sobre formação de professores: considerações sobre contribuições da pesquisa acadêmica. In: BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto (org.). **Formação de professores e práticas pedagógicas no ensino de ciências.** São Paulo: Escrituras Editora, 2008, cap. 1, p. 13-32.

BEHRENS, Marilda Aparecida. O paradigma da complexidade na formação e no desenvolvimento profissional de professores universitários. **Educação**. Porto Alegre, v.3, n.3, p. 439-455, 2007. Disponível em: http://revistaseletronicas.pucrs.br/fo/ojs/index.php/faced/article/view/2742/2089 Acesso em: 21 mar. 2015.

BEHRENS, Marilda Aparecida. **Paradigma da complexidade:** Metodologia de projetos, contratos didáticos e portfólios. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

BEHRENS, Marilda Aparecida. **O Paradigma emergente e a prática pedagógica**. 4. ed. Petropólis: Vozes, 2011.

BEHRENS, Marilda Aparecida. Docência universitária no paradigma da complexidade: caminhos para a visão transdisciplinar**.** In: SOUZA, Ruth Catarina Cerqueira Ribeiro de; OLIVEIRA, Solange Martins Oliveira (org.). **Formação de Professores: elos da dimensão complexa e transdisciplinar**. Goiânia: Ed. da PUC Goiás, 2012, cap. 5, p. 143-158.

BEHRENS, Marilda. Aparecida. Projetos de Aprendizagem Colaborativa num paradigma emergente. 21 ed. In: MORAN, José M.; BEHRENS, Marilda A.; MASETTO, Marcos T. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas: Papirus, 2013, cap. 2, p. 73-140.

BRAGA Marco, GUERRA Andreia, REIS José Claudio. **Breve história da ciência moderna, volume 2: das máquinas do mundo ao universo – máquina.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares para a os Cursos de Física,** 2001. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf Acesso em: 27/04/15.

BRASIL. Ministério da Educação. Lei 9.394/96 – **Lei de Diretrizes e Bases da Educação**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm acesso em: 19/03/15.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: ensino médio. Brasília: 1999. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf Acesso em: 27/04/15.

CAMARGO, Sergio; NARDI Roberto. Estudando o processo de reestruturação curricular de um novo curso de licenciatura. In: BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto (Org.). **Formação de professores e práticas pedagógicas no ensino de ciências.** São Paulo: Escrituras Editora, 2008, cap. 3, p. 53-80.

CAPRA, Fritjof. **O ponto de mutação.** A ciência, a sociedade e a cultura emergente. São Paulo: Cultrix, 1997.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida.** Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**.** São Paulo: Cultrix, 1996.

CARDOSO, Clodoaldo M. **A canção da inteireza**. Uma visão holística da educação. São Paulo: Summus, 1995.

CARVALHO, Ana. Maria Pessoa; GIL-PERÉZ, Daniel. **Formação de professores de ciências**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

CORTELA, Beatriz Salemme Corrêa; NARDI Roberto. A elaboração de uma estrutura curricular e a formação de professores de Física: as intenções legais, os processos de operacionalização, os discursos dos formadores e suas práticas docentes. In: BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto (Org.). **Formação de professores e práticas pedagógicas no ensino de ciências.** São Paulo: Escrituras Editora, 2008, cap. 2, p. 33-52.

CUNHA, Maria Isabel da. **O professor universitário na transição de paradigmas.** 3. ed. Araraquara: JUNQUEIRA & MARIN, 2014.

DELIZOICOV, Demétrio. Ensino de Física a concepção freiriana da educação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.5, n. 2, p. 85-98, 1983. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol05a19.pdf Acesso em 26 abr. 2015.

DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e problematizações. In. PIETROCOLA, Maurício (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, 2001, cap. 6, p. 125-150.

DELORS, Jacques et al. **Um tesouro a descobrir – Relatório para Unesco da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI.** São Paulo: Cortez/Unesco, 1998.

ESCRIVÃO FILHO, Edmundo; RIBEIRO, Luis Roberto C. Aprendendo com PBL – aprendizagem baseada em problemas: relato de uma experiência em cursos de engenharia da EESC-USP. **Revista pesquisa tecnologia Minerva.** São Paulo, v.1, n.6, p. 23-30, 2009. Disponível em: http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(01)%2003.pdf Acesso em: 04 out. 2015.

ESPÍNDOLA, Karen; MOREIRA, Marco Antonio. A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA). **Textos de apoio ao professor de física.** Porto Alegre: Instituto de Física (UFRGS), 2006.

FLICK, Uwe **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009b.

FLICK, Uwe**. Desenho da Pesquisa Qualitativa.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

FLICK, Uwe. Entrevistas episódicas. In: BAUER, Martin; GASKELL, George (Ed.). **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático.** Petropólis: Vozes, 2008.

FOUREZ, Gérard. Crise no ensino de ciências? **Investigação no ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 109-123, 2003. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.pdf Acesso em: 10 ago. 2013.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**, 17ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS. **Atratividade da carreira docente no Brasil**. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.fvc.org.br/estudos-e-pesquisas/2009/atratividade-carreira-docente-530689.shtml. Acesso em: 12 nov. 2014.

GATTI, Bernardete Angelina. **Formação de professores: condições e problemas atuais.** Revista Brasileira de Formação de Professores, v.1, n.1, p.90-102, 2009.

GHEDIN, Evandro. Professor reflexivo: da alienação da técnica à autonomia da crítica. In: PIMENTA, Selma. G.; GHEDIN Evandro (Org.). **Professor reflexivo no Brasil: gênese e critica de um conceito.** São Paulo: Cortez, 2006. Cap.6, p. 129-150.

GIANI, Kellen. **A experimentação no Ensino de Ciências:** possibilidades e limites na busca de uma Aprendizagem Significativa. 2010. 157f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2010.

GÓMEZ, Angel Pérez. O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo. In: NÓVOA, A.(org). **Os professores e sua formação**. Lisboa: Publicações, Dom Quixote, 1992. Cap. 5, p. 93-114.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** v1. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HEISENBERG, Werner, **Física e Filosofia.** 4. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 1999.

HERNÁNDEZ, Fernando. **A organização do currículo por projetos de trabalho.** O conhecimento é um caleidoscópio. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 1998.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual.** 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JAPIASSU, Hilton. **As paixões da ciência.** São Paulo: Letras & Letras, 1991.

JESUS, Saul Neves. Práticas pedagógicas que possibilitem uma educação de qualidade: a motivação no ensino superior**.** In: GARRIDO, Suzana Lopes; CUNHA, Maria Izabel; MARTINI, Gue Jussara (Org.). **Os rumos da educação superior**. São Leopoldo: Unisinos, 2002. Cap. 4, p. 113-126.

KHUN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas.** 5 ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LIBÂNEO, José Carlos. **Democratização da Escola Pública.** A Pedagogia Crítico-Social dos Conteúdos. 16 ed. São Paulo: Loiola, 1999.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU,1986.

MARRIOTT, Rita de Cássia Veiga; TORRES, Patrícia, Lupion. Mapas Conceituais uma ferramenta para a construção de uma cartografia do conhecimento. In: TORRES, Patrícia Lupion (Org.) **Redes de conexões na produção do conhecimento.** Curitiba: Senar-Pr, 2014. cap 10, p. 173 - 212.

MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco. **A árvore do conhecimento**. Campinas: Psy II, 1995.

MAZUR, Eric. Ensinar é apenas ajudar a aprender**. Gazeta da Física**. Portugal, v. 26, n.1, p. 18-22, jan. 2003. Disponível em: http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/26_1/entrevista.pdf Acesso em: 03 mai. 2015. Entrevista concedida a Carlos Pessoa e Carlos Fiolhais.

MORAES, Maria Cândida. **Ecologia dos Saberes: Complexidade, transdiciplinaridade e educação.** São Paulo: Antakarana/WHH, 2008.

MORAES, Maria Cândida. **O Paradigma Educacional Emergente**. 16 ed. Campinas: Papirus, 2012.

MORAES, Maria Cândida. Transdisciplinaridade e Educação. In: SOUZA, Ruth Catarina Cerqueira Ribeiro; OLIVEIRA, Solange Martins Oliveira (Org.) **Formação de Professores:**

elos da dimensão complexa e transdisciplinar. Goiânia: Editora da PUC Goiás, 2012b, cap. 3, p. 71-90.

MORAIS, João Francisco Regis. **Filosofia da ciência e da tecnologia.** 6 ed. Campinas: Papirus. 1988.

MOREIRA, Antônio Flavio Barbosa. Em busca da autonomia docente na praticas curriculares no Brasil. In: OLIVEIRA, Maria Rita N. S. Oliveira e PACHECO José Augusto. (Org.) **Currículo, didática e formação de professores.** Campinas: Papirus, 2013, cap. 4, p. 69-96.

MOREIRA, Marco Antônio. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94, 2000. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_94.pdf Acesso em 04 mar. 2015.

MOREIRA, Marco Antônio; MASSONI, Neusa Teresinha. **Epistemologias do Século XX**. São Paulo: E.P.U., 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. Cadernos do Aplicação. Porto Alegre, v.11, n.2, p.143-156, 1998. Disponível em: http://www.ufrgs.br/forprof-ciencias/editais/mapas%20conceituais.pdf Acesso em: 28/09/2015.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo.** 4 ed. Porto Alegre: Sulina, 2011.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 2 ed. São Paulo: Cortez: Brasília, D.F. UNESCO, 2000.

MORIN, Edgar. **Ciência com consciência.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MORIN, Edgar; MOIGNE, Jean-Loius Le. **Inteligência da Complexidade**. Lisboa: Instituto Piaget, 2007.

NICOLESCU, Barasab. **O Manifesto da transdiciplinaridade.** São Paulo: TRIOM, 1999.

NORTHROP, Filmer Stuart. Introdução aos problemas naturais. In: WERNER, Heisenberg. **Física e Filosofia.** 4 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 1999. p. 9-42.

NÓVOA, António. Os professores: um novo objeto de investigação educacional? In: NÓVOA, António. **Vida de professores**. Portugal, Porto, 1992, cap. 1, p. 14-25.

PIETROCOLA, Maurício, ALVES FILHO, José Pinho e PINHEIRO, Teresinha Fátima. Prática interdisciplinar na formação disciplinar de professores de ciências. **Investigação em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 131-152, 2003.

PIMENTA, Selma Garrido. Professor reflexivo: construindo uma crítica. In: PIMENTA, Selma Garrido; GHEDIN Evandro. **Professor reflexivo no Brasil: gênese e critica de um conceito**. São Paulo: Cortez, 2006. Cap.1, p.17-52.

PIMENTA, Selma Garrido; ANASTASIOU Léa das Graças Camargo. **Docência no Ensino Superior**. São Paulo. Cortez, 2002.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **A nova aliança.** Brasília: Universidade de Brasília, 1984.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas**. São Paulo: Universidade Estadual de São Paulo, 1996.

PRIGOGINE, Ilya. **As leis do caos.** São Paulo: UNESP, 2002.

PRIGOGINE, Ilya. Carta para as futuras gerações**. Folha de São Paulo - Mais!** São Paulo, 30 de jan. de 2000. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mais/fs3001200004.htm Acesso em 29 jan. 2015.

PRIGOL, Edna Liz. **Formação docente e prática pedagógica no ensino superior a luz de um pensamento complexo, ecologizante e transdisciplinar.** 2013. 190f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2013.

ROONEY, Anne. **A História da Física.** São Paulo: M. Books do Brasil. 2013.

SANTOS, Akiko. Complexidade e transdisciplinaridade em Educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido. In: SANTOS Akiko.; SOMMERMAN, Américo. (Org). **Complexidade e transdisciplinaridade: em busca da totalidade perdida.** Porto Alegre: Sulinas, 2009, cap. 1, p. 15-38.

SANTOS, Boaventura de Souza. **Um discurso sobre ciências.** 12. ed. Porto: Edições Afrontamento, 1987.

SANTOS, Ana Cristina Souza. **Complexidade e Formação de Professores de Química**. In: I EBEC - I Encontro Brasileiro de Estudos da Complexidade, 2005, Curitiba. Disponível em: http://www.ufrrj.br/leptrans/arquivos/Arquivo%2004_Complexidade_Formacao_de_Professores_de_Quimica.pdf Acesso em 15 ago. 2015.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, v.2, n.2, 2002. Disponível em: http://ufpa.br/ensinofts/artigos2/wildsoneduardo.pdf Acesso em 14 set. 2015.

SARAIVA, Rosália, A. Projetos de trabalho – uma das formas de re-significar o espaço da sala de aula. **Ciências e Letras.** Porto Alegre, n.36, p.171-186, 2004. Disponível em: http://www1.fapa.com.br/cienciaseletras/pdf/revista36/art12.pdf?origin=publication_detail Acesso em: 24 set. 2015.

SAVIANI, Dermeval. As concepções pedagógicas na História da Educação Brasileira. In: LOMBARDI, J. C.; SAVIANI, D.; NASCIMENTO, M. I. M. (Orgs.). **Navegando pela história da educação brasileira**. Campinas: Histedbr, 2006.

SCHÖN, Donald A. Formar professores como profissionais reflexivos. In: NÓVOA, A. (org.). **Os Professores e sua formação**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992. Cap. 4, p. 77-92.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional.** Petrópolis: Vozes, 2002.

VAILLANT, Denise; MARCELO, Carlos. **Ensinando a Ensinar: as quatro etapas de uma aprendizagem.** Curitiba: Ed. UTFPR, 2012.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZABALZA, Miguel A. **O ensino universitário: seus cenários e seus protagonistas.** Porto Alegre: Artmed, 2004.

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu_____ ___, RG n.º _____, estou sendo convidado a participar da pesquisa referente ao estudo intitulado preliminarmente "Olhares dos professores de Licenciatura em Física: caminhos para uma prática apoiada no paradigma da Complexidade", cujos objetivos são constituídos pelas referências temáticas: Analisar as concepções que caracterizam o ensino da física, investigando as contribuições do paradigma da complexidade na formação dos licenciandos a partir das impressões dos professores sobre estes conceitos, as relações da Física com o pensamento complexo e as possíveis aplicações na prática pedagógica.

Sei que para o avanço da pesquisa a participação de voluntários é de fundamental importância. Caso aceite participar dessa pesquisa, eu participarei da técnica de entrevista episódica na qual constarão registros das narrativas mediante roteiro acordado, bem como a gravação desse momento e a sua posterior transcrição.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome, ou qualquer outro dado confidencial, será mantido em sigilo. A elaboração final dos dados será feita de maneira codificada, respeitando o imperativo ético da confidencialidade.

Estou ciente de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, nem sofrer qualquer dano.

Em caso de reclamação ou qualquer tipo de denuncia sobre este estudo devo ligar para o CEP PUCPR (41) 3271-2292 ou mandar um email para nep@pucpr.br. Durante toda pesquisa me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a lei.

A pesquisadora responsável é Margarete Winkler Marques Machado, discente do PPGE da PUCPR, com quem poderei manter contato pelos telefones: 9642-0327 / 3332-1076, sob orientação da profª. Drª. Marilda Aparecida Behrens. Estão garantidas todas as informações que eu queira saber antes, durante e depois do estudo.

Li, portanto, este termo, fui orientado quanto ao teor da pesquisa acima mencionada e compreendi a natureza e o objetivo desse estudo científico do qual fui convidado(a) a participar. Concordo, voluntariamente em participar dessa pesquisa, sabendo que não receberei nem pagarei nenhum valor econômico por minha participação.

Curitiba, ___ de _____ de 2014

Assinatura do sujeito de pesquisa:

Assinatura do pesquisador:

APÊNDICE B

IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA

Data e hora de realização da entrevista: __/__/__; __h:__ min, __h:__ min.

Informações pessoais:

Nome completo: _____;

Sexo: ( ) Masculino; ( ) Feminino;

Idade _____;

Informações escolares:

1. Ensino Médio (2º Grau):

a) Escola: _____; Local_____;

b) Escola:_____; Local: _____;

2. Ensino Superior (3º Grau):

a) Graduação 1:_____;

Instituição _____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

b) Graduação 2: _____;

Instituição _____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

3. Formação complementar (Pós-graduação, Mestrado, Doutorado, etc):

a) Especialização 1: _____;

Instituição _____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

b) Especialização 2:_____;

Instituição _____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

c) Mestrado 1:_____;

Instituição:_____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

d) Mestrado 2:_____;

Instituição:_____;

Local:_____; Ano de conclusão _____;

e) Doutorado 1:_____

Instituição _____

Local:_____; Ano de conclusão _____;

c) Doutorado 2: _____

Instituição _____

Local:_____; Ano de conclusão _____;

Quanto tempo atua na educação superior?

( ) + de 1 ano

( ) + de 2 anos

( ) + de 3 anos

( ) + de 5 anos

( ) +de 10 anos

( ) + de 15 anos

( ) + de 20 anos

( ) Quantos anos?_____

APÊNDICE C

ROTEIRO PARA ENTREVISTA EPISÓDICA COM PROFESSORES DAS LICENCIATURAS EM FÍSICA

1. Quais disciplinas que você ministra na área de Física?

2. Você poderia me falar um pouco a respeito da sua trajetória profissional? Quando e por que se tornou professor?

3. Poderia me falar como você desenvolve suas aulas (que estratégias utiliza - aula expositiva, experimentais, demonstrativas, leituras, discussões)? Que recursos utiliza (quadro negro, projetor, livro didático, simulador) nas aulas? O que é dominante? Você costuma variar?

4. Pensando no significado de ensinar e aprender pra você, qual é papel preponderante do professor e do aluno no processo de ensino aprendizagem?

5.Pensando nas considerações anteriores, como você caracteriza a concepção pedagógica que sustenta a sua ação docente?

6. A Física Clássica descreve com muito certeza e objetividade a natureza. No inicio do século XX a Física Quântica e a relatividade abalaram essas certezas. Você acredita que a mecânica quântica e a relatividade mudaram a maneira de observar a natureza e realidade?

7. Ainda pensando na influencia da física quântica, ela gerou uma nova visão da ciência e a necessidade de um pensamento complexo dentro de um paradigma inovador, hoje chamado de paradigma da complexidade. Você já teve alguma experiência, na qual tenha tido contato com o Paradigma da Complexidade? Poderia falar a respeito?

8. Esse paradigma inovador influencia diretamente a Educação, propondo metodologias inovadoras. O que seria uma metodologia inovadora para você?

9.Você acha possível propor na disciplina que você leciona no curso de Física uma metodologia que promova uma participação ativa do aluno visando à aprendizagem significativa e a produção do conhecimento, ultrapassando a reprodução do conhecimento?

10. Você utiliza ou já utilizou alguma metodologia que julga inovadora no ensino de disciplinas no curso de Licenciatura em Física? Quais? Encontrou dificuldades? Quais foram os avanços? Que os alunos acharam desta experiência metodológica?