

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS: A ANÁLISE DAS ESTRUTURAS CURRICULARES DE DUAS INSTITUIÇÕES

MODERN AND CONTEMPORARY PHYSICS IN ENGINEERING EDUCATION: THE ANALYSIS OF THE TWO INSTITUTIONS CURRICULUM

Ana Paula Grimes de Souza^{1*}, José Francisco Custódio², Mikael Frank Rezende Jr³

¹UniSociesc – Joinville – SC – Brasil

²PPGECT – UFSC – Florianópolis – SC – Brasil

³PPGEC – UNIFEI – Itajubá – MG – Brasil

Resumo: Recentemente, ainda de forma incipiente, pesquisas têm apontado a necessidade de enfatizar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) em Cursos de Engenharia, a fim de formar profissionais engenheiros com perfis capazes de acompanhar inovações tecnológicas. Nesta pesquisa, temos o objetivo de aprofundar a compreensão da relação entre conteúdos de FMC e a formação de engenheiros apresentando a análise de vinte e três estruturas curriculares de Engenharia em duas universidades públicas brasileiras. Foram coletados dados institucionais sobre a natureza do curso, a carga horária total de cada curso, a carga horária de disciplinas de Física e a quantidade aproximada de horas-aula destinadas à FMC. Concluímos que há boa ênfase nos Cursos de Engenharia Eletrônica, de Materiais, Elétrica e Produção Elétrica da primeira universidade; e Engenharia Eletrônica, Elétrica, Computação e Controle e Automação da segunda universidade. Nos demais cursos a presença da FMC é apenas introdutória e/ou informativa.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea, Cursos de Engenharia, Currículo.

Abstract: Recently, still incipient, research has pointed to the need to emphasize contents of Modern and Contemporary Physics (MCP) in Engineering courses in order to train professional engineers with profiles able to follow technological innovations. In this research, we aim to deepen understanding of the relationship between MCP content and engineers education, presenting the analysis of twenty-three curriculum of Engineering in two Brazilian public universities. We collected institutional data about the course, the total of each course workload, workload disciplines of Physics and the approximate amount of class hours aimed at MCP. We conclude that there is a good emphasis in Electronic, Materials, Electrical and Electrical Production Engineering courses at the first university, and Electronic, Electrical, Computer and Control and Automation Engineering on the second university. In the other courses the presence of MCP is only introductory and/or informative.

Keywords: Modern and Contemporary Physics, Engineering Courses, Curriculum.

* anapaulagrimes@gmail.com

1. Introdução

Uma vez que engenheiros são, direta ou indiretamente, agentes de inovação científica e tecnológica, pesquisas como as de Manini e Dias (2006) e Lemes e Rezende Junior (2011) têm apontado a necessidade de formar profissionais com um perfil capaz de acompanhar tais inovações tecnológicas; não somente aptos a utilizá-las, mas também capazes de desenvolvê-las e compreendê-las em seu processo de produção e funcionamento.

Investigar esse contexto de tecnologias torna-se importante também quando percebemos no nosso entorno sua dependência na sociedade moderna, já que desde a primeira revolução científica, a tecnologia tem sido um importante componente e poderoso motor da cultura. Avanços na medicina, por meio de tomografias ou diferentes formas de diagnóstico; na agricultura, nas novas formas de conservação de alimentos com o uso das radiações; nas comunicações, com microcomputadores, CDs, DVDs, telefonia celular, TV a cabo; ou, ainda, na biologia, com a importância dos aspectos econômicos envolvidos na manipulação genética, em particular, o problema das patentes biológicas e exploração comercial das descobertas das tecnologias do DNA. Todos esses exemplos são apenas uma pequena parcela do desenvolvimento tecnológico contemporâneo (RICARDO; CUSTÓDIO; REZENDE JUNIOR, 2007). Muito do que essas evoluções da ciência e da tecnologia têm proporcionado, em geral, facilita a vida cotidiana, economiza o tempo, protege nossa saúde, entre outros benefícios (BAZZO; PEREIRA, 2006).

Articulados à tecnologia destaca-se a importância da Engenharia ao longo da história da humanidade. Para Bazzo e Pereira (2006), ela sempre esteve presente em praticamente todos os momentos dessa trajetória. No entanto, para que os engenheiros sejam capazes de continuar atuando e cumprindo as exigências da sociedade atual, compreendemos que é necessária uma boa formação, que acompanhe o desenvolvimento científico e tecnológico contemporâneo. Tal conhecimento torna-se necessário não somente para o desenvolvimento de novas tecnologias, mas também para que esse profissional possa tomar decisões conscientes, considerando as implicações sociais, ambientais, econômicas e políticas do desenvolvimento tecnológico atual.

Sendo uma agente seminal de vários desenvolvimentos tecnológicos do último século – como os semicondutores e transistores (e suas implicações na indústria da microeletrônica), as possibilidades de utilização da energia nuclear e demais aplicações da radioatividade, as nanotecnologias, entre outros exemplos – a Física Moderna e Contemporânea (FMC) apresenta um conjunto de conhecimentos importantes para formação de profissionais que estejam preocupados tanto em desenvolver tecnologias quanto em entender e refletir sobre todas as implicações que estas possam oferecer.

Apesar da relação entre a FMC e as tecnologias, esses elementos da Física estão presentes de forma discreta nos cursos voltados a áreas tecnológicas, como no caso das engenharias, onde essa ausência poderá limitar a formação tecnológica das bases teóricas e dos desenvolvimentos decorrentes (LEMES; REZENDE JUNIOR, 2011). A preocupação com essa aparente defasagem no Ensino de Engenharia tem chamado a atenção de pesquisadores nos últimos anos. Algumas pesquisas, como as de Manini e Dias (2006), Mckagan; Perkins e Wieman (2006), Niño; Herrera e Gómez (2006), Perfol e Rezende Junior (2006), Cunha et al. (2008) e

Lemes; Rezende Junior e Chiarello (2009) têm advogado em favor da necessidade de implantação e ampliação da presença da FMC de maneira efetiva e formativa nos cursos de Engenharia no país.

Embora relevante, o tema FMC nos cursos de Engenharia é pouco documentado na literatura especializada. Neste artigo, apresentamos breve revisão de literatura e investigamos as estruturas curriculares de cursos de Engenharia de duas instituições públicas brasileiras. Esse artigo faz parte de uma pesquisa maior, na qual analisaremos as concepções de formadores e de engenheiros em atuação na indústria sobre a importância da FMC na formação desses profissionais.

2. A Física nas estruturas curriculares dos cursos de graduação em engenharia

Um dos principais documentos que orienta o Ensino de Engenharia no Brasil são as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (DCNCE). Nesse documento, podemos encontrar informações sobre os conteúdos que devem incorporar o currículo, as atividades complementares, a avaliação, o estágio, além de outros aspectos do currículo. Complementando as DCNCE, encontramos a Resolução no 2, de 18 de junho de 2007, a qual dispõe sobre a carga horária mínima dos cursos de graduação, que no caso das engenharias é de 3.600 horas.

Nas DCNCE, é possível identificar itens obrigatórios para o currículo básico em nível nacional e as especificidades que devem ser consideradas dependendo de cada modalidade específica. Segundo as DCNCE, independentemente da modalidade, a estrutura curricular dos cursos de Engenharia deverá conter um núcleo de conteúdos básicos, um núcleo de conteúdos profissionalizantes e um núcleo de conteúdos específicos que caracterizem a modalidade.

Avaliando o núcleo de conteúdos básicos, identificamos uma lista que contém 15 conteúdos gerais, sendo que todos juntos somarão 30% da carga horária total mínima do curso de Engenharia. Segundo o documento, deverão ser abordados tópicos dos seguintes conteúdos: Metodologia Científica e Tecnológica; Comunicação e Expressão; Informática; Expressão Gráfica; Matemática; **Física**; Fenômenos de Transporte; Mecânica dos Sólidos; Eletricidade Aplicada; Química; Ciência e Tecnologia dos Materiais; Administração; Economia; Ciências do Ambiente; Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania.

É importante destacar que não são descritos neste trabalho quais tópicos de cada conteúdo deverão ser abordados, ou seja, em momento algum são indicados quais conteúdos de Física, por exemplo, deverão ser abordados nos cursos, o que ficará a critério de cada Instituição de Ensino Superior (IES), conforme os Projetos Pedagógicos de Curso. As diretrizes apontam apenas para a obrigação de aulas laboratoriais nos conteúdos de Física, Química e Informática e para a previsão de atividades semelhantes para os demais conteúdos, conforme a necessidade e o enfoque das modalidades pleiteadas.

Para o núcleo de conteúdos profissionalizantes, que somarão 15% da carga horária mínima prevista, as DCNCE listam 53 tópicos gerais, ficando a critério de cada IES definir um subconjunto coerente de tópicos, de acordo com a necessidade de cada modalidade.

O restante da carga horária total (55%) é destinado ao núcleo de conteúdos específicos, que será constituído de extensões e aprofundamentos dos conteúdos profissionalizantes, além de outros conteúdos pertinentes para cada modalidade definidos pela IES. Segundo as DCNCE, em seu Art. 6o, parágrafo 4o, esses conteúdos “[...] constituem-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição das modalidades de engenharia e devem garantir o desenvolvimento das competências e habilidades estabelecidas nestas diretrizes” (BRASIL, 2002, p.3).

Além das atividades em sala de aula, as DCNCE orientam o estágio curricular, que deverá atingir carga horária mínima de 160 horas, além da obrigatoriedade do trabalho final de curso como atividade de síntese e integração de conhecimento.

Ressalvadas as especificidades, o ensino de Engenharia certamente passa por uma sólida formação básica científica, e neste contexto, o Ensino de Física é indispensável.

A Física continua sendo uma mola propulsora do desenvolvimento científico e tecnológico. Desse modo, torna-se uma ciência indispensável na formação de todos aqueles que pretendem se dedicar a estudo, ensino, investigação e aplicação científica e tecnológica, especialmente aos acadêmicos que ingressam nos cursos de Engenharia e de Tecnologia (MASSON et al., 2005). Segundo Bazzo e Pereira (2006, p. 92), para projetar, construir e operar dispositivos complexos, entre outras funções dos engenheiros, o profissional deverá possuir conhecimentos sólidos “[...] das leis da Física e da estrutura da matéria, do comportamento dos fluidos, das ligações químicas, da conversão de energia [...]”, além de saber identificar, interpretar, modelar e aplicar esses fenômenos à solução de problemas concretos.

Conforme explicitado, o ensino de Física é obrigatório na estrutura curricular de todos os cursos de graduação em Engenharia do país, todavia não são delineados quais conteúdos deverão ser abordados. Consideramos que, por um lado, esta liberdade é importante para estruturação de cursos de acordo com as especificidades de cada instituição; mas por outro lado, pode contribuir para a exclusão de conteúdos importantes para formação dos engenheiros, como discutiremos nas próximas seções.

3. A literatura sobre a disciplina de Física nas estruturas curriculares de cursos de engenharia

Na literatura, o debate sobre o impacto dos conteúdos de FMC nos currículos de Engenharia ainda é parco. Constatamos esse cenário a partir de uma revisão bibliográfica que englobou a Revista de Ensino de Engenharia (2005 a 2012), as atas do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) do período de 1998 a 2012, e os seguintes periódicos da área de Ensino de Ciências/Física: Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Brasileira de Ensino de Física, Ciência e Educação; e Revista Investigações em Ensino de Ciências, a fim de encontrar discussões sobre o Ensino da Física e da FMC nos cursos de Engenharia.

Em relação às atas dos COBENGEs, buscamos pelos descritores “Física”, “Física Moderna e Contemporânea”, “Física Quântica”, “Relatividade” e “Ensino de Física” nos títulos dos trabalhos. Não pôde ser realizada uma busca mais aprofundada, por palavras-chave, pois não

foram disponibilizados todos os trabalhos completos – muitas vezes, apenas os títulos. Na Revista de Ensino de Engenharia, a busca pelos mesmos termos levou em conta o título, as palavras-chave e os resumos. Nos demais periódicos, as buscas foram feitas pelos termos “Ensino de Engenharia”, “Engenharia” e “Física no Ensino de Engenharia” nos títulos dos artigos.

Em nossa pesquisa, encontramos um total de 71 trabalhos, sendo que 61 abordam questões sobre o ensino e a aprendizagem de Física nas engenharias, incluindo novas metodologias, avaliação e material didático; e dez trabalhos específicos sobre FMC. Não foram encontrados trabalhos que discutam o papel da Física nas Engenharias, nem trabalhos que discutam o currículo de Física nas engenharias, o que nos mostra uma lacuna nas discussões sobre o tema nas engenharias.

Após identificação e leitura dos dez trabalhos encontrados (nove publicados em atas de congressos e um em periódico da área), percebemos que estes podem ser associados a três categorias:

- **Análise de estrutura curricular:** trabalhos com enfoque voltado à análise de currículos de cursos de Engenharia na busca por elementos de FMC. Foram encontradas duas análises em nível nacional, uma em nível estadual e outra em nível local (Perfoll; Rezende Junior, 2006; Cunha et al., 2008; Lemes; Rezende Junior; Chiarello, 2009; Lemes; Rezende Junior, 2011).

- **Propostas e relatos de experiências:** trabalhos que apresentam tanto propostas de atividades de FMC para disciplinas de Física em cursos de Engenharia quanto relatos de experiências vivenciadas, discutindo os resultados obtidos (Manini; Dias, 2006; Silveira; Santos, 2008; Bezerra Jr et al, 2010; Lisboa; Piqueira, 2011; Rodrigues; Pietrocola; Piqueira, 2012).

- **Aplicações tecnológicas:** trabalhos que trazem aplicações tecnológicas decorrentes da FMC, sem fazer apontamentos para o Ensino de FMC (Silva; Sampaio; Fonseca, 2011).

De acordo com a revisão, a preocupação com o impacto da disciplina Física, e da FMC em particular, nos currículos dos cursos de Engenharia é bastante incipiente. Assim, procuramos neste artigo aprofundar a compreensão sobre a FMC na formação de engenheiros por intermédio da análise documental das estruturas curriculares de cursos de Engenharia de duas instituições públicas brasileiras.

4. Procedimentos Metodológicos

4.1 Corpus da pesquisa

Definindo os recortes desta pesquisa, optamos por estabelecer os procedimentos de análise tendo como base os cursos de Engenharia de duas instituições públicas brasileiras, por inferir que ao analisar toda uma área de conhecimento de uma instituição, teríamos mais elementos para análise, já que há influências e transições que geralmente acontecem no âmbito institucional. Foram assim escolhidas para a referida análise os cursos de Engenharia de duas instituições públicas, denominadas de IES 1 e IES 2.

Para esse estudo foram coletados dados institucionais sobre a natureza do curso, a carga horária total de cada curso, a carga horária de disciplinas de Física, e a quantidade aproximada

de horas-aula destinadas à Física Moderna e Contemporânea, tanto em disciplinas de Física quanto em disciplinas específicas e optativas dos cursos.

A IES1, localizada no sul do Brasil, conta com 12 cursos de graduação em Engenharia: Engenharia de Alimentos, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Civil, Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica, Engenharia de Materiais, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção Civil, Engenharia de Produção Elétrica, Engenharia de Produção Mecânica, Engenharia Química, Engenharia Sanitária e Ambiental.

A segunda universidade escolhida para a análise, codificada em nosso estudo por IES2, está localizada na região sudeste do Brasil, possui dois campi e conta com 14 cursos de Engenharia, das seguintes modalidades: Engenharia Ambiental, Engenharia Civil, Engenharia de Bioprocessos, Engenharia de Computação, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia de Energia, Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica, Engenharia Hídrica, Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica Aeronáutica e Engenharia Química. Entretanto, em nossa análise foram suprimidos os cursos de Bioprocessos, Energia e Química, por não apresentarem a estrutura curricular completa, restando assim onze cursos para serem analisados.

4.2 Definições

Em relação ao estabelecimento de quais conteúdos seriam designados como sendo de FMC, no sentido de delimitar a abrangência das buscas, este levantamento baseou-se inicialmente em livros didáticos de Física Básica utilizados em IES de todo o Brasil, como Tipler; Llewellyn(2006); Halliday; Resnick; Walker(2009). Foi estabelecido que para esta etapa de delimitação temática seriam considerados: Mecânica Quântica, Relatividade Restrita, Relatividade Geral, Física do Estado Sólido, Estatística Quântica, Física Nuclear, Física de Partículas.

Em relação à carga horária (CH) de disciplinas de Física, foram consideradas apenas as disciplinas oferecidas pelos próprios departamentos/institutos/centros de Física, desconsiderando disciplinas específicas como Mecânica dos Fluidos, Mecânica dos Sólidos, Fenômenos dos Transportes, entre outras, que de alguma forma também abordam conhecimentos de Física.

Como poucos foram os casos em que disciplinas são inteiramente dedicadas à FMC, para se obter uma aproximação da quantidade de horas-aula de FMC em cada disciplina na qual esta se fazia presente, dividimos a CH total da disciplina pelo número de itens que ela apresenta.

4.3 Análise documental como método de pesquisa

Utilizamos como instrumento de coleta de dados a análise documental, a qual se constitui como uma técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos, buscando identificar fatos nos documentos a partir de questões ou hipóteses de interesse (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Nesse método de pesquisa, é considerado como documento qualquer informação contida na forma de textos, sons, imagens, além de informações orais, como aulas e exposições, desde que

transcritas para suporte material (CHIZZOTTI, 1995). Os documentos contêm informações, indicações e esclarecimentos que permitem explicitar determinadas questões e servir de prova para outras, de acordo com os objetivos da pesquisa.

Algumas vantagens de se utilizar a análise documental em detrimento de outros métodos são a possibilidade de consulta mais de uma vez; a fundamentação de afirmações e declarações; e o fornecimento de informações sobre um determinado contexto (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

5. Análise e discussão dos resultados

5.1 Dos Cursos de Engenharia da IES 1

Nas tabelas 1 e 2, podemos observar as informações coletadas das estruturas curriculares dos cursos dessa primeira instituição.

Ao analisarmos ambas as tabelas, percebemos a considerável CH destinada às disciplinas de Física, reforçando o quanto os conhecimentos provenientes dessa Ciência são fundamentais para a prática da Engenharia. As DCNCE estabelecem que a Física, juntamente com mais 14 outras áreas de conhecimento devem somar um total de 30% da CH total mínima estabelecida para o curso. Em alguns casos, como o curso de Eletrônica da IES 1, a CH de Física corresponde a aproximadamente 16% (tabela 2) da CH total do curso, ou seja, mais da metade da CH que, a princípio, deveria ser preenchida por um conjunto de 15 disciplinas está sendo destinada especialmente aos conhecimentos de Física.

Tabela 1 - Detecção de FMC na estrutura curricular dos cursos de engenharia da IES1¹

Curso de Engenharia	A	B	C	D	E
Alimentos	4386	360	9	-	-
Civil	4464	414	12	-	-
Controle e Automação	4784	360	12	-	-
Elétrica	4740	486	17	30	40
Eletrônica	3630	576	141	-	40
Materiais	4202	396	140	28	72
Mecânica	4104	396	140	28	72
Produção Civil	4446	396	12	-	72
Produção Elétrica	4230	396	12	30	-
Produção Mecânica	4446	396	12	-	-
Química	4320	360	9	-	-
Sanitária e Ambiental	4176	414	9	-	-

¹ Os índices referidos na Tabela 1 e 3 são: (A) CH total do curso (H/A), (B) CH de Física (H/A), (C) CH de FMC em disciplinas de Física (H/A), (D)CH de FMC em disciplinas específicas (H/A), (E) CH de FMC em disciplinas optativas (H/A)

Em relação aos conteúdos trabalhados, não foi identificado um padrão para todos os cursos, sendo que alguns abordam Mecânica Clássica e Eletromagnetismo, outros acrescentam Termodinâmica e Óptica. Conteúdos de FMC foram encontrados em todos os cursos, aparecendo, por vezes, em uma disciplina exclusiva e, por outras, mesclados a outros conteúdos. Além das disciplinas teóricas de Física, todos os cursos apresentam disciplinas com enfoque experimental, como proposto pelas DCNCE.

Tabela2: Porcentagem de FMC nos cursos de Engenharia da IES1¹

Curso de engenharia	A	B	C	D
Alimentos	8,21	2,50	-	0,21
Civil	9,27	2,90	-	0,27
Controle e Automação	7,53	3,33	-	0,25
Elétrica	10,25	3,50	0,63	0,99
Eletrônica	15,87	24,48	-	3,88
Materiais	9,42	35,35	0,67	4,00
Mecânica	9,65	3,03	-	0,29
Produção Civil	8,91	3,03	-	0,27
Produção Elétrica	9,36	30,3	0,71	0,99
Produção Mecânica	8,91	3,03	-	0,27
Química	8,33	2,50	-	0,21
Sanitária e Ambiental	9,91	2,17	-	0,22

Como nosso objetivo é a análise da presença de conteúdos de FMC nas estruturas curriculares dos cursos de Engenharia, optamos por criar categorias, ou seja, agrupar elementos semelhantes que pudessem nos proporcionar uma visão mais ampla do panorama desses conhecimentos nos cursos analisados.

As três categorias de análise criadas foram: **FMC presente nas disciplinas de Física**, ou seja, em disciplinas propostas pelo departamento/instituto de Física; **FMC presente em disciplinas específicas do curso**, ou seja, disciplinas propostas pelos departamentos de Engenharia, específicas a cada modalidade; e **FMC presente em disciplinas optativas de cada curso**, as quais não necessariamente serão cursadas pelos graduandos.

Avaliando os cursos da IES1, observamos que todas as modalidades englobam conteúdos de FMC em suas disciplinas de Física. A quantidade de horas-aula, no entanto, apresenta grande variação entre as modalidades, destacando-se o curso de Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais com maior CH desses conhecimentos. Tal discrepância entre as modalidades já era prevista pela pesquisa, uma vez que esses cursos estão mais próximos a tecnologias relacionadas à FMC, necessitando, assim, de maior aproximação com

¹ Os índices referidos na Tabela 2 e 4 são: (A) Razão CH de Física e CH total (%), (B) Razão CH de FMC em disciplinas de Física e CH de Física (%), (C) Razão CH de FMC em disciplinas específicas e CH total (%), (D) Razão CH de FMC total e CH total (%).

esses conhecimentos. Enquanto os demais cursos mantêm uma média de 12 H/A de conteúdos de FMC nas disciplinas de Física, as modalidades de Eletrônica e Materiais destacam-se com 141 e 140 H/A, respectivamente.

Relativamente às ementas das disciplinas, as quais apresentam conteúdos de FMC propostos pelos cursos, estas revelam muito pouco sobre o que vem sendo abordado e com que profundidade isso acontece. Nos casos dos dez cursos que apresentam menor CH de FMC (exceto Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais), os conteúdos resumem-se a “Introdução à Mecânica Quântica” ou “Física Quântica e Ondas e Partículas”, e estes estão inseridos em uma disciplina de Física que aborda demais conteúdos como Óptica e Eletromagnetismo. Levando em consideração a pequena CH destinada aos conteúdos e a inserção da FMC em uma disciplina com outros enfoques, isso nos leva a acreditar que tal abordagem é um tanto superficial, proporcionando ao graduando apenas um primeiro contato com esses conhecimentos. Além do que, por algum motivo que não nos cabe discutir neste momento, esses conhecimentos não aparentam ser tão importantes para a formação dos futuros engenheiros na visão dos profissionais que elaboraram tais estruturas curriculares.

Já no curso de Engenharia Eletrônica, no qual 24,48% de toda a CH de Física são destinados aos conteúdos de FMC, foi encontrada uma disciplina exclusiva, intitulada de “Estrutura da Matéria I” (108 H/A), para discussão de tópicos de FMC. Os tópicos apresentados na ementa são: o estudo das evidências que levaram ao surgimento da FMC; estrutura atômica; interação radiação e matéria; modelos atômicos de Rutherford e Bohr; dualidade onda-partícula, teoria de Schrödinger; soluções da equação de Schrödinger para problemas unidimensionais; átomo de hidrogênio e spin. Além dessa disciplina, os graduandos têm contato com Física Atômica, Física Nuclear e Relatividade Especial na disciplina de “Física IV” (aproximadamente 21 H/A da disciplina) e novamente o conteúdo de Relatividade Especial em “Teoria Eletromagnética II” (aproximadamente 12 H/A da disciplina).

Como o curso apresentou uma CH considerável de elementos de FMC, buscamos também informações sobre as bibliografias utilizadas nessas três disciplinas, a fim de verificar qual o aprofundamento dado para esses conhecimentos. No caso da disciplina Estrutura da Matéria I, o livro utilizado é o “Física Quântica” (EISEBERG; RESNICK, 1986). Para a disciplina de Física IV, encontramos o livro “Fundamentos da Física”, volumes 3 e 4 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1984). E, para a disciplina de Teoria Eletromagnética II, o livro utilizado é “Fundamentos da Teoria Eletromagnética” (REITZ; MILFORD, 1982). Nos casos da primeira e terceira disciplinas, percebemos que são utilizadas obras com um nível um pouco mais avançado, tanto conceitual, quanto em relação ao formalismo matemático, ou seja, são obras que trazem uma abordagem que vai além de uma Física Básica, podendo trazer uma fundamentação maior sobre os conhecimentos de FMC. Já na disciplina de Física IV, o livro utilizado não traz um grande aprofundamento dos conhecimentos de FMC, passando mais por introdução aos conceitos, além de problemas e exercícios mais simples, que exigem um formalismo matemático um pouco inferior em relação aos outros.

O curso de Engenharia de Materiais também destina uma disciplina exclusiva para tópicos de FMC. A disciplina “Fundamentos da Estrutura da Matéria” (108 H/A) traz como conteúdos a radiação eletromagnética e de corpo negro; partículas e ondas; estados

estacionários; equação de Schrödinger; interação radiação–matéria; regras de seleção; átomos de mais de um elétron; moléculas e sólidos. Em relação à bibliografia utilizada, encontramos o livro “Física Quântica” (EISEBERG; RESNICK, 1986) e o livro “Fundamentos da Física”, volume 4 (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2008), os quais já foram mencionados anteriormente. O departamento de Física proporciona também uma disciplina intitulada “Propriedades elétrica, óptica e magnética dos materiais”, na qual conteúdos como bandas de energia, semicondutores, supercondutividade e propriedades ópticas dos materiais são abordados (somando aproximadamente 32 H/A). O curso de Engenharia de Materiais obteve a porcentagem mais representativa da presença de FMC nas disciplinas de Física, cerca de 35% (tabela 2), ou seja, pouco mais de um terço da Física estudada pelos futuros egressos são conteúdos de FMC.

Os dados levantados desses dois cursos (Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais) divergem daqueles apontados por Lemes e Rezende Junior (2011), para os quais a porcentagem de FMC nas disciplinas de Física nos cursos de Engenharia do Brasil perfaz um valor médio de 6%. Por meio das ementas das disciplinas e pela bibliografia, é possível observar que os estudantes desses cursos estão tendo, a princípio, um contato um pouco mais aprofundado com o tema. Isso nos mostra também que, apesar de não ser obrigatória a presença de FMC nos cursos de Engenharia, profissionais responsáveis pela elaboração dos currículos desses cursos já enxergam a importância e a necessidade desses conhecimentos para os egressos.

Chamamos a atenção também para os tópicos de FMC encontrados nos currículos. Na grande parte dos cursos, os conteúdos se restringem a uma abordagem inicial da Mecânica Quântica (MQ), focada nos primórdios dessa teoria, deixando de lado a MQ tal como ela foi formulada a partir das décadas de 1920 e 1930, assim como alertam Bezerra Jr. et al. (2010) e Lisboa e Piqueira (2011).

Destacamos ainda que conteúdos de FMC aparecem nas disciplinas específicas dos cursos de Engenharia. Isso foi constatado nas modalidades Elétrica, Produção Elétrica e Materiais, da IES1. No caso do primeiro e segundo cursos, a disciplina de “Materiais Elétricos” traz os conteúdos sobre materiais semicondutores, condutores e isolantes (aproximadamente 30 H/A). Já no curso de Engenharia de Materiais, a disciplina “Estrutura Cristalina dos Sólidos” (28 H/A) aborda produção de raios-X; absorção pelo efeito fotoelétrico; absorção de raios-X; e o difratômetro de focalização tipo bragg-brentano.

Por fim, conteúdos de FMC aparecem também nas disciplinas optativas, como são os casos das modalidades Elétrica, Eletrônica, Materiais e Mecânica. Apesar de não ser obrigatório o curso de tais disciplinas, mostra-se uma opção para aqueles que tenham interesse em se aprofundar em algum conteúdo específico de FMC. São oferecidas as disciplinas de “Optoeletrônica” (72 H/A), nas modalidades de Elétrica e Eletrônica, “Estado Sólido” (72 H/A), na modalidade de Materiais, e “Introdução ao Processamento de Materiais por Laser” (72 H/A), na modalidade Mecânica.

5.2 Dos cursos de Engenharia de IES 2

Na análise dos cursos de Engenharia de IES2 (tabelas 3 e 4), inicialmente chama-nos a atenção algumas diferenças em relação aos cursos da IES1. Em primeiro lugar, a média de horas-

aula destinadas às disciplinas de Física na IES2 é menor do que na IES1. Enquanto a primeira apresenta o valor médio de 412 H/A de disciplinas de Física nos cursos (equivalente a 9,6% do curso), os cursos da IES2 apresentam uma média de 287 H/A de disciplinas de Física (equivalente a 7,4%).

Tabela 3: Detecção de FMC nas estruturas curriculares dos cursos de Engenharia da IES2

Curso de Engenharia	A	B	C	D	E
Ambiental	3971	216	16	-	-
Civil	4157	216	16	-	-
Computação	3683	414	20	90	-
Controle e Automação	3707	252	-	72	-
Elétrica	3896	468	20	90	-
Eletrônica	3716	324	16	108	-
Hídrica	4092	216	16	-	-
Materiais	3808	216	-	-	-
Mecânica	3992	288	16	-	-
Mecânica Aeronáutica	3843	288	16	-	-
Produção	3838	252	20	-	-

Nas disciplinas de Física foram encontrados conteúdos de Mecânica Clássica, Eletromagnetismo e Óptica. Em nenhum curso foi encontrada uma disciplina destinada à Termodinâmica, ficando a cargo de cada curso abordar o tema em disciplinas específicas. Mesmo apresentando CH menor, novamente percebemos o quanto os conteúdos de Física são vistos como fundamentais para os cursos de Engenharia e, conseqüentemente, para a prática futura do engenheiro, ocupando, assim, um grande espaço nos currículos das engenharias.

Tabela 4: Porcentagem de FMC nos cursos de Engenharia da IES2

Curso de Engenharia	A	B	C	D
Ambiental	5,44	7,41	-	0,40
Civil	5,20	7,41	-	0,38
Computação	11,24	4,83	2,44	2,99
Controle e Automação	6,80	-	1,94	1,94
Elétrica	12,01	4,27	2,31	2,82
Eletrônica	8,72	4,94	2,91	3,34
Hídrica	5,28	7,41	-	0,39
Materiais	5,67	-	-	-
Mecânica	7,21	5,56	-	0,40
Mecânica Aeronáutica	7,49	5,56	-	0,42
Produção	6,57	7,49	-	0,52

Em relação à FMC foi possível observar certo padrão nas disciplinas de Física dos cursos de Engenharia da IES2. Todos os cursos nos quais foi constatada a presença desses conteúdos se fizeram presentes na disciplina de “Física Geral IV” (72 H/A) e “Física Experimental IV” (18

H/A). Na primeira disciplina, são abordados tópicos sobre Oscilador Harmônico; Oscilações Amortecidas e Forçadas; Ondas Mecânicas; Ondas Sonoras; Ondas Eletromagnéticas; Óptica Geométrica; Óptica Física; Relatividade Restrita; e Física Quântica. Já a segunda disciplina é destinada à prática laboratorial dos conteúdos estudados na primeira disciplina.

Como podemos observar, os conteúdos de FMC aparecem como Relatividade Restrita e MQ, no entanto, inseridos numa disciplina com outros grandes enfoques. Calculando, em média, a quantidade de horas-aula que são destinadas a esses conhecimentos, obtém-se 16 H/A para os cursos que oferecem apenas a “Física IV” e 20 H/A para os cursos que englobam também a disciplina experimental. Como já mencionado anteriormente, tal resultado expressa que os cursos oferecem apenas um primeiro contato com os conhecimentos de FMC, não o suficiente para um conhecimento aprofundado das teorias e de suas decorrências tecnológicas. Isso é corroborado também ao analisarmos a bibliografia utilizada na disciplina, a qual traz os livros “Física: um curso básico” (ALONSO; FINN, 2004), “Fundamentos da Física”(HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008), “Curso de Física Básica”(NUSSENZVEIG, 2006) e “Física para Cientistas e Engenheiros” (SERWAY, 1996). Todos esses livros são destinados a cursos de Física Básica (como é o caso da disciplina em questão), desse modo não apresentam um aprofundamento significativo dos conhecimentos de FMC, quando comparados a outras obras já citadas anteriormente.

Já em disciplinas específicas das modalidades, quatro cursos apresentam conteúdos de FMC, sendo eles: Engenharia de Computação, de Controle e Automação, Elétrica e Eletrônica. Nos quatro cursos, a disciplina que contém esses conteúdos denomina-se “Eletrônica Analógica I”. Tal disciplina aborda o tema de semicondutores (intrínsecos e extrínsecos); diodo semicondutor, dopagem, transistor e demais tópicos sobre esse tema em geral. Além disso, as modalidades Computação, Controle e Automação e Eletrônica possuem também uma disciplina experimental sobre esses tópicos.

Na IES2, o que mais nos chama a atenção em relação aos cursos é a modalidade de Materiais. Apesar de ser um curso que possui ligação com os temas de FMC, conforme já repetido ao longo deste trabalho, ele não aborda nenhum conteúdo de FMC em suas disciplinas (diferentemente da IES1, por exemplo, na qual é o curso com a porcentagem mais expressiva de FMC), mesmo sendo uma estrutura curricular elaborada recentemente, datado do ano de 2010.

6. Considerações Finais

O objetivo deste artigo foi analisar a extensão da FMC nas estruturas curriculares dos cursos de Engenharia de duas universidades públicas brasileiras, buscando apresentar um panorama da situação em ambas as universidades. Ainda que cientes dos limites de uma análise como esta, ao manter o foco apenas nas estruturas curriculares, não conseguimos abranger e compreender como a inserção desses conteúdos se faz em sala de aula ou se realmente está sendo feita. Além do que, não conseguimos inferir porque tais conteúdos se fazem presentes ou não nessas estruturas.

Na análise das estruturas curriculares constatamos que grande parte dos cursos já traz disciplinas que abordam FMC, mesmo destinando pouca CH a esses conhecimentos. Nos casos

dos cursos da IES1, Engenharia de Materiais e Eletrônica foram aquelas que obtiveram a porcentagem mais representativa da presença de FMC nas disciplinas de Física, cerca de 35% e 24%, respectivamente. Ou seja, para o curso de Materiais, por exemplo, pouco mais de um terço da Física estudada pelos futuros egressos são conteúdos de FMC. Nos demais cursos, essa porcentagem se mostra pequena, apenas cerca de 3%.

No caso dos cursos da IES2, a grande maioria apresenta FMC apenas ao final da disciplina de Física IV, destinando uma pequena CH a esses conteúdos. Alguns cursos como Elétrica, Eletrônica e Computação abordam um pouco de FMC em disciplinas específicas. Destaca-se ainda o curso de Engenharia de Materiais, o qual não apresenta nenhum conteúdo de FMC, nem mesmo a disciplina de Física IV. Uma modalidade que, a nosso ver, está fortemente ligada a estudos da estrutura da matéria e que necessitaria de um conhecimento mais aprofundado sobre esses conteúdos.

Relativamente às ementas das disciplinas, tanto da IES1 quanto da IES2, percebemos que, de modo geral, o conteúdo abordado se restringe mais à “velha MQ”, abordando os limites entre a natureza clássica e quântica, mas não adentrando na MQ construída a partir da década de 1920. Além disso, os livros-texto utilizados são, em grande parte, livros de Física Básica, os quais apresentam um nível menos avançado, tanto conceitual quanto em relação ao formalismo matemático.

Ressaltamos ainda que é a partir da estrutura curricular dos cursos de Engenharia que podemos compreender o que instituições formadoras esperam do futuro profissional, o perfil do egresso, suas características e ênfases. Nesse sentido, os currículos propostos pelas instituições investigadas demonstram pouca ênfase em conteúdo de FMC, o que pode obstar a preparação de engenheiros para o desenvolvimento de tecnologias e a ampliação da capacidade da indústria brasileira de competir no cenário internacional.

7. Referências

- ALONSO M.; FINN E.J., **Física: um curso básico**, v. 2, 10. ed. São Paulo: editora Edgar BlucherLtda, 2004.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à Engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: editora UFSC, 2006. 270 p.
- BEZERRA JR, A. G.; et al. Inovação no Ensino de Física Moderna nos cursos de Engenharia da UTFPR. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVIII, Fortaleza, 2010. **Anais...** Fortaleza: ABENGE, 2010. p. 1- 10.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 abr.2002.
- CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1995.
- CUNHA, L. S. et al. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Estado de Minas Gerais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVI, São Paulo, 2008. **Anais...** São Paulo: ABENGE, 2008. p. 1-7

- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: editora Campus, 1986.
- HALLIDAY D.; RESNIC R.; KRANE K. S. **Física 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- HALLIDAY, D. e RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física**. vol.3, 4; Rio de Janeiro: LTC 1984.
- _____. **Fundamentos de Física**. vol. 4; Rio de Janeiro: LTC 2009.
- LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Brasil: cenário atual e perspectivas. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 24-34, 2011.
- LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F.; CHIARELLO, A. G. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia da Universidade Federal de Itajubá. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVII, Recife, 2009. **Anais...** Recife: ABENGE, 2009. p. 1- 9.
- LISBOA, A. C.; PIQUEIRA, J. R. C. A disciplina de “Teoria Quântica da Informação”: experiência de criação e oferecimento no programa de pós-graduação em engenharia Elétrica da EPUSP. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Blumenau, 2011. **Anais...** Blumenau: ABENGE, 2011. p. 1- 7.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MANINI, V. S. A.; DIAS, H. Iniciativas na construção de um novo modelo para o ensino de Física em engenharia na Escola Politécnica da USP e na Faculdade de Engenharia da FSA. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 12.1-12.10.
- MASSON, J. T. et al. Ensino de Física Tecnológica. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIII, Campina Grande, 2005. **Anais...**Passo Fundo: ABENGE, 2005. p.1-18.
- MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Reforming a large lecture modern physics course for engineering majors using a PER-based design. In:PHYSICS EDUCATION RESEARCH CONFERENCE. **Proceedings...** Nova Iorque: 2006
- NIÑO, J. V.; HERRERA, W. J.; GOMÉZ, S. Acerca de la enseñanza de la física en las carreras de ingeniería. **Revista Colombiana de Física**. v. 38, n. 4, 2006.
- NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de Física Básica**.v. 2, 4. ed. São Paulo: editora Edgar Blucher Ltda, 2006.
- PERFOLL, A. P.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de engenharia: contextos e perspectivas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...**Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 11.55-11.68.
- REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**. Rio de Janeiro: editora Campus, 1982.
- RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 135-147, 2007.

RODRIGUES, A.; PIETROCOLA, M. PIQUEIRA, J. R. C. Elaboração de uma sequência didática de ensino-aprendizagem com tópicos de Mecânica Quântica para cursos de engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Belém, 2012. **Anais...** Belém: ABENGE, 2012. p. 1- 11

SERWAY, R.A. **Física para Cientistas e Engenheiros**, vol. 2, 3 e 4, Rio de Janeiro: LTC, 1996.

SILVA, D. B. C.; SAMPAIO, R. P. R.; FONSECA, W. S. Avanço científico e revolução tecnológica: um estudo da contribuição da Física Quântica aplicada à Engenharia Civil. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Blumenau, 2011. **Anais...** Blumenau: ABENGE, 2011. p. 1- 10.

SILVEIRA, M. A. G.; SANTOS, R. B. B. Física Moderna da Formação Contemporânea em Engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVI, São Paulo, 2008. **Anais...** São Paulo: ABENGE, 2008. p. 1-17

TIPPLER, P.A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.