
Vetor força: argumentos para alinhamento entre aulas de Física e Resistência dos Materiais no Ensino Médio Integrado

Force vector: arguments for alignment between classes of Physics and Resistance of Materials in Integrated High School

Rodrigo Cardoso Costa^{1*}

RESUMO

Na abrangência nacional, o documento Projeto Político Curricular do curso de Técnico em Mecânico Integrado ao Ensino Médio apresenta uniformidade entre os cursos ofertados. Dentre as correlações interdisciplinares, destacamos o caso das disciplinas de Física e Resistência dos Materiais em torno do conteúdo escolar vetor força. A falta de domínio desse conteúdo escolar torna-se crítico na aprendizagem de conteúdos sobre Resistência dos Materiais, pois as atividades dessa disciplina exigem dos alunos, desde o início, entendimento abstrato de situações-problemas, muitas vezes hipotéticas, via estudo da decomposição vetorial do sistema proposto. Neste manuscrito temos intenção de mostrar argumentos que explicitam essa criticidade, como forma de chamar atenção para um possível problema escolar de relevância nacional quanto ao desalinhamento interdisciplinar no âmbito do EMI. Para tanto, nossa pesquisa seguiu metodologia da revisão bibliográfica devido à melhor adequação quanto aos nossos objetivos. Consideramos que os argumentos apresentados demonstram a presença crítica do vetor força para área mecânica, desde o Ensino Médio, na disciplina de Resistência dos Materiais. A compreensão dessa criticidade pode tornar a abordagem interdisciplinar mais eficiente, com vistas para aprendizagem com significado.

Palavras-chave: Ensino de Física; Interdisciplinaridade; Aprendizagem do significado; Vetor força;

ABSTRACT

In the national scope, the document Curricular Policy Project of the Technician course in Mechanics Integrated to High School presents uniformity among the courses offered. Among the interdisciplinary correlations, we highlight the case of the disciplines of Physics and Resistance of Materials around the school content force vector. The lack of mastery of this school content becomes critical in the learning of content on Resistance of Materials, since the activities of this discipline demand from the students, from the beginning, an abstract understanding of problem situations, many times hypothetical, through the study of the vector decomposition of the proposed system. In this manuscript we intend to show arguments that explain this criticality, as a way of drawing attention to a possible school problem of national relevance regarding the interdisciplinary misalignment in the scope of EMI. Therefore, our research followed the methodology of the bibliographic review due to the best suitability for our objectives. We consider that the arguments presented demonstrate the critical presence of the force vector for the mechanical area, since High School, in the discipline Resistance of Materials. Understanding this criticality can make the interdisciplinary approach more efficient, aiming at learning with meaning.

Keywords: Teaching Physics; Interdisciplinarity; Learning of meaning; Force vector;

¹ Universidade Federal de Santa Catarina.

*E-mail: rodrigo.costa@ifc.edu.br

INTRODUÇÃO

Na abrangência do Ensino Básico, a rede dos Institutos Federais (IFs) cumpre importante função no processo educativo de jovens e adultos, mediante oferta diversos cursos técnicos de forma integrada e subsequente ao Ensino Médio. A oferta desses cursos é amparada pelo Art. 7, seção II da Lei Nº 11.862/2008 (BRASIL, 2008, p. 4), o qual determina que os Institutos Federais (IFs) “devem ministrar educação profissional técnica de nível médio, prioritariamente na forma de cursos integrados, para os concluintes do ensino fundamental e para o público da educação de jovens e adultos”.

Seguindo diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNCT), os cursos voltados para o Ensino Médio são organização com disciplinas para formação geral (Matemática, Física, Português) e formação técnica. No âmbito na padronização itinerária dos conteúdos do saber a ser aprendido, os Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPCs) do IFs, em especial cursos do Ensino Médio Integrado (EMI), independente da sua região, seguem uma determinação Conselho Nacional de Educação (CNE) quanto a unificação dos cursos.

Art 8º Os **cursos de Educação Profissional Técnica de Nível Médio** podem ser desenvolvidos nas formas articulada integrada na mesma instituição de ensino, ou articulada concomitante em instituições de ensino distintas, **mas com projeto pedagógico unificado**, mediante convênios ou acordos de intercomplementaridade, visando ao planejamento e ao desenvolvimento desse projeto pedagógico unificado na forma integrada. (BRASIL, 2012, p.3, grifo nosso)

A fim de atender o CNE, a formação técnica integrada geralmente tem correlação com o eixo econômico de um município ou região, cujo objetivo estratégico é a formação cidadã de indivíduos da sociedade com vistas para sua emancipação via entrada no mundo do trabalho formal. Nesse contexto, as ações de ensino, pesquisa e extensão de um IF específico contribui de alguma forma para a construção da sociedade e seu Arranjo Produtivo Local (APL). Salientamos que essa contribuição é decorrente da formação de pessoas com competência técnica para o correto uso de tecnologias, sem distanciar o indivíduo de importantes questões sociais como sustentabilidade e dignidade humana.

Na perspectiva do APL, a indústria de transformação ou fabricação de equipamento constantemente precisa de pessoas qualificadas para executar atividades da área de manutenção mecânica, operadores de máquinas-ferramenta e projetistas de peças. Nesse escopo, os IFs instalados em regiões do país cujo setor econômico predominante é

o metal mecânico, normalmente observamos ofertas de cursos técnicos ligados à área da Mecânica, do eixo tecnológico de Controle e Processos Industriais, tais como: Técnico em Mecânica; Técnico em Eletromecânica, Técnico em Fabricação Mecânica; Técnico em Ferramentaria; Técnico em Fundição; Técnicos em Soldagem, dentre outros cursos técnicos voltados para manutenção (industrial, metro ferroviário, naval).

Esse é o caso dos cursos técnicos em Mecânica Integrado ao Ensino Médio. Independente da região do país, os PPCs deste tipo de curso apresentam certa similaridade, pois também consideram o perfil profissional de conclusão conforme o CNCT na elaboração do documento norteador. Vejamos as habilitações do profissional técnico em Mecânica:

- Programar, controlar e executar processos de fabricação mecânica para máquinas e equipamentos mecânicos atendendo às normas e aos padrões técnicos de qualidade, saúde e segurança e de meio ambiente.
- Planejar, aplicar e controlar procedimentos de instalação, de manutenção e inspeção mecânica de máquinas e equipamentos.
- **Elaborar projetos de produtos relacionados a máquinas e equipamentos mecânicos especificando materiais para construção mecânica** por meio de técnicas de usinagem, soldagem e conformação mecânica.
- Realizar inspeção visual, dimensional e testes em sistemas, instrumentos e equipamentos mecânicos, pneumáticos, hidráulicos e eletromecânicos de máquinas.
- Reconhecer tecnologias inovadoras presentes no segmento visando atender às transformações digitais na sociedade. (MEC, 2019, p. 132, grifo nosso).

Conforme nosso grifo na lista de habilitações acima, a elaboração de projetos mecânicos necessariamente passa pela análise de resistência das peças e conjuntos mecânicos frente aos esforços de tração, compressão, torção, flexão, cisalhamento, entre outros mais específicos. No contexto dessa habilitação profissional, a disciplina normalmente denominada de Resistência dos Materiais é responsável por trabalhar saberes de Matemática e Física, para realizar estudo referente ao dimensionamento de peças mecânicas. Geralmente o dimensionamento ocorre com a interpretação de um situação-problema, o qual exige do aluno domínio sobre conteúdos escolares, dentre eles a força com eventual operação com vetores força ou decomposição vetorial.

Nesse manuscrito vamos apresentar argumentos que correlacionam o conteúdo força, sob a perspectiva newtoniana, normalmente trabalhado na disciplina de Física (núcleo geral), com a disciplina de Resistência dos Materiais (núcleo profissionalizante) nos cursos técnicos da área Mecânica. Salientamos que a disciplina de Física por sua abrangência pode apresentar divergência de interesse sobre o conteúdo de força,

conforme leis de Newton, em relação a disciplina de Resistência dos Materiais. Nesse contexto, nossa intenção é mostrar a necessidade de trabalhar esse conteúdo de forma contextualizada com a indústria, desde o primeiro momento, haja vista a característica do EMI quanto a transição de conteúdos entre diferentes disciplinas e núcleos.

METODOLOGIA

Nesse estudo foi aplicado a metodologia de revisão bibliográfica. Essa metodologia foi escolhida, em razão da necessidade de buscar informações sobre o tema em diferentes fontes e referências bibliográficas. Os argumentos foram organizados em duas seções a fim de caracterizar a nossos resultados e discussões. Essas seções também representam nossa tentativa de mostrar a criticidade do conteúdo força, em particular o assunto vetor força, para o ensino de Resistência dos Materiais em cursos técnico de Mecânica Integrado ao Ensino Médio.

A DISCIPLINA DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS PARA ÁREA MECÂNICA

Na visão de Beer, Jonhston e Mazurek (2019, p. 2) a Mecânica não é uma ciência abstrata, pura e empírica, pois o propósito desta é “descrever e prevê condições de repouso ou movimento de corpos sob ação de força”, bem como “explicar e prever fenômenos físicos e, desse modo, estabelecer os fundamentos para aplicações de engenharia”. A área da Mecânica tem na sua essência uma forte ligação com os conhecimentos da Física, da Matemática e dos Materiais. A combinação desses conhecimentos é fácil de ser identificada em toda construção humana, seja ela uma estrutura arquitetônica ou um equipamento industrial, de configuração simples ou complexa, com regime de trabalho em repouso ou em movimento. Em ambos os exemplos fica claro a necessidade da realização de projetos baseados em estudos e simulações, antes da fabricação dos componentes estruturais, a fim de conhecer seus limites de resistência frente as condições de trabalho, conforme especificidades do ambiente no qual serão inseridos.

No contexto de estudo e simulação, o responsável pelo projeto de uma peça mecânica precisa ter domínio de muitos conteúdos, em especial da Física, da Matemática e dos Materiais. Esse responsável normalmente é um profissional engenheiro ou técnico mecânico, o qual não esquece que: as peças devem ser constituídas de algum tipo de

material; os corpos sempre estarão sobre ação de forças externas, as quais promovem reações internas; ferramentas matemáticas devem ser aplicadas a fim de simular as condições físicas impostas aos corpos das peças.

Os conhecimentos sobre Mecânica dos Materiais, os quais hoje em dia são ensinados e aprendidos nos cursos profissionalizantes de nível Superior (graduação em Engenharia Mecânica) e nível Básico (Técnico em Mecânica), teve origem no século XV. Os textos que tratam da historicidade da área da Mecânica dos Materiais relatam que o desenvolvimento desta área do conhecimento decorre da mistura entre experimento e teoria. Conforme Ugural (2007, p.2, tradução nossa), os primeiros estudos desta área ocorreram com “a investigação experimental do comportamento de barras sob carregamento”, iniciada por “Leonardo Da Vinci (1452-1519) e Galileu Galilei (1564-1642)”.

De acordo com Hibbeler (2010, p. 1), o desenvolvimento histórico da Resistência dos Materiais teve início com Galileu quando esse “realizou experimentos para estudar os efeitos sobre hastes e vigas feitas de diferentes materiais”. A partir dos primeiros experimentos de Galileu ficou caracterizado que as propriedades mecânicas dos materiais devem ser descritas com precisão, para aumentar a confiabilidade das peças quando estas estiverem em operação. Kassimali (2011) considera Galileu Galilei como

[...] o criador da teoria das estruturas. Em seu livro intitulado *Two New Sciences*, publicado em 1638, Galileu analisou a falha de algumas estruturas simples, incluindo vigas em balanço. Embora as previsões de resistência de vigas de Galileu fossem apenas aproximadas, seu trabalho lançou as bases para futuros desenvolvimentos na teoria das estruturas e inaugurou uma nova era da engenharia estrutural, na qual os princípios analíticos da mecânica e resistência dos materiais teriam uma grande importância e influência no projeto de estruturas (KASSIMALI, 2011, p. 3-4, tradução nossa).

Ainda no contexto histórico, foi Robert Hooke (1615-1703) o primeiro pesquisador a mostrar que um corpo é deformado se uma força atua sobre ele (UGURAL, 2007, p. 2). Segundo Ugural (2007, p.2, tradução nossa) foi Isaac Newton (1642-1727) que desenvolveu “os conceitos da mecânica [...] que se tornaram elementos-chave da resistência dos materiais”. As contribuições científicas do século XVII, sobre mecânica de corpos rígidos, em especial os estudos de Newton sobre inércia de corpos, movimento de corpos, ação e reação de forças, contribuíram para tornar a Resistência dos Materiais em um saber a ser ensinado.

Hibbeler (2010, p. 1, grifo nosso) compreende que a Resistência dos Materiais “é um ramo da mecânica que estuda as relações entre as **cargas externas** aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das **forças internas** que agem no interior do corpo”. No âmbito da Mecânica dos Materiais, o conteúdo do saber da Resistência dos Materiais está focado em como acontece as relações entre cargas externas e forças internas de corpos (peças mecânicas), cujo sistema de ação (carga externa) e reação (força interna) deve se manter em equilíbrio. Aqui nasce um dos princípios do projeto mecânico para estruturas, no qual o equilíbrio da força de ação e reação evita deformações do corpo que podem alterar as condições de trabalho (operação) de uma peça mecânica. Outro princípio é a análise de tensões, ou seja, analisar a ação de força sobre área da secção transversal de um corpo, conforme as propriedades mecânicas do material de construção. Para Ugural (2007) o estudo de Resistência dos Materiais baseia-se na

[...] compreensão do equilíbrio dos corpos sob a ação de forças. Enquanto a estática trata do comportamento externo de corpos que são considerados idealmente rígidos e em repouso, a mecânica dos materiais se preocupa com as relações entre cargas externas (forças e momentos), forças internas, deformações ou deslocamentos induzidos no corpo. (UGURAL, 2007, p. 2, tradução nossa).

No contexto de simulação da realidade, Hibbeler (2010, p. 1) afirma que nos projetos de peças ou elementos de máquinas “o tamanho dos elementos, sua deflexão, e estabilidade dependem não só das cargas internas, mas também do tipo de material de que são feitos”. Para Gere e Goodno (2013, p. 4, tradução nossa) o principal objetivo da Resistência dos Materiais é “determinar as tensões, deformações e deslocamentos em estruturas e seus componentes devido às cargas que atuam sobre eles”. Na visão desses autores, a compressão do quadro completo quanto ao comportamento mecânico de uma estrutura, por parte de um projetista, é essencial para

[...] a segurança do projeto de todos os tipos de estruturas, sejam aviões e antenas, edifícios e pontes, máquinas e motores, ou navios e naves espaciais. É por isso que a mecânica dos materiais é um assunto básico em muitos campos da engenharia. Estática e dinâmica também são essenciais, mas esses assuntos tratam principalmente das forças e movimentos associados as partículas e corpos rígidos. (GERE e GOODNO, 2013, p. 4, tradução nossa)

Na concepção de Kassimali (2011, p. 3, tradução nossa), a análise estrutural é uma “previsão do desempenho de uma determinada estrutura, sob cargas prescritas ou outros efeitos externos a fim de suportar mudanças de movimentos e de temperatura”.

As características de desempenho comumente de interesse no projeto de estruturas são (1) tensões resultantes, como forças axiais, forças de cisalhamento e momentos fletores; (2) desvios; e (3) reações de apoio. Assim, a análise de uma estrutura geralmente envolve a determinação dessas quantidades com base na condição de carregamento. (KASSIMALI, 2011, p. 3, tradução nossa).

Para Rosa (2002, p. 9), “o projeto de uma estrutura requer um conhecimento prévio, se não exato ao menos aproximado, das solicitações que agem sobre a estrutura”. No entendimento de Botelho (2015, p. 27), uma estrutura pode entrar em colapso quando “os efeitos dos esforços ativos e reativos levarem a sua desintegração material”. Conforme Norton (2013, p. 5), é competência do projetista “determinar as forças, os momentos e os torques internos atuantes sobre a peça, e então usar a geometria da seção transversal do projeto inicial para calcular as tensões resultantes”. Neste ponto, fica claro que o projetista ao realizar um estudo estrutural, para dimensionamento de peças ou componentes mecânicos, se depara com situações ditas estáticas ou dinâmicas.

Se os **movimentos** da máquina forem muito lentos e as **acelerações desprezíveis**, bastará uma **análise estática das forças**. Mas se a máquina tiver **acelerações significativas** em seu interior, será necessária uma **análise dinâmica das forças**, e as peças com aceleração tornam-se “vítimas de suas próprias massas” (NORTON, 2013, p. 4, grifo nosso).

No contexto do estudo de uma situação-problema, Rosa (2002, p. 9) afirma que para “estruturas estáticas não existem grandes problemas na determinação das cargas”. Ocorre que as estruturas sempre estarão instaladas em algum ambiente e este por sua vez podem transferir cargas dinâmicas para a estrutura. Ainda existem os casos nos quais as estruturas fazem parte do próprio sistema dinâmico, por exemplo: componentes do sistema de suspensão veicular, turbina de uma aeronave ou sistema de giro das rodas de uma locomotiva. No caso das cargas dinâmicas os valores a serem utilizados em projetos podem ser obtidos de forma experimental, via ensaios mecânicos que simulam possíveis condições de trabalho de peça mecânica.

Para determinar as cargas dinâmicas pode-se adotar dois caminhos distintos, mas que são complementares na realidade: - Análise teórica. Uso de um modelo matemático que representa o comportamento dinâmico do sistema, ou; - Análise experimental. Determina as cargas com o equipamento em condições típicas de utilização (ROSA, 2002, p. 9).

Como podemos perceber, o projeto estrutural de peças exige do projetista, seja ele engenheiro ou técnico mecânico, o domínio da grandeza vetorial força (módulo, sentido

e direção), além do ponto de aplicação da força. A prévia identificação de forças atuantes (resultantes) sobre as peças permite: (1) determinar as forças de reações internas; (2) analisar as tensões imposta às peças; (3) realizar simulação matemática ou computacional da geometria de peças com base nas propriedades do material de construção e condições do ambiente de trabalho. Na compreensão de Miranda (2012, p. 1.2) o profissional projetista busca dimensionar peças e/ou verificar estruturas sujeitas a esforços usando conhecimentos de Resistência dos Materiais, baseando-se “nas hipóteses gerais da Teoria da Elasticidade e da Teoria da Plasticidade”. Nesse contexto, é da competência do projetista as seguintes atividades: determinar a geometria e tamanho de peças sujeitas à esforços conhecidos a partir das propriedades de um certo material; determinar esforços admissíveis nas peças a partir da geometria da peça e tipo de material empregado; selecionar o tipo material a partir dos esforços submetidos e geometria da peça; verificar segurança estrutural de uma peça, frente ao limite de resistência mecânica mais significativo, a partir das dimensões, ação de esforços e tipo de material da peça.

Podemos entender com esses argumentos, que a Resistência dos Materiais é uma área da Mecânica que promove o desenvolvimento tecnológico, via projeto de produto. No entanto, na área Mecânica, o termo técnico ‘projeto de produto’ é muito amplo, o qual pode ir desde um simples parafuso a um complicado sistema mecânico, por exemplo, uma caixa redutora de velocidades. Do ponto de vista técnico dessa área, o responsável pelo projeto de produto compreende que os fatores como condições de trabalho, tipos de cargas (força) e o tipo de material das peças devem ser considerados na fase de estudo, simulação ou ‘dimensionamento’, da peça mecânica de interesse.

O objetivo final de um projetista de máquina é dimensionar peças, ou seja, dar forma às peças mecânicas (elementos de máquinas) considerando um tipo de material, um conjunto de características operacionais e alguns fatores de trabalho tais como: temperatura, tipo de esforço, intensidade do esforço, tempo de funcionamento, entre outros específicos da situação-problema envolvida. Um projetista com formação técnica compreende que a estrutura (corpo) de uma peça mecânica está resistindo aos esforços estáticos e dinâmicos, quando em operação, e que a todo instante esses esforços provocam tensões internas e externas nesse corpo. A falha prematura de peça pode estar correlacionada ao colapso do material de construção, frente a incapacidade de resistir a tensão submetida ao corpo. Segundo Norton (2013, p. 4) as tensões de uma peça surgem em função dos “esforços aplicados e de inércia, assim como da geometria da peça”. A

partir dos movimentos da peça é possível realizar uma análise das forças e momentos (ponto de aplicação do vetor força), a fim de calcular previamente as tensões que provocam deflexões do corpo desta peça.

Dentre os fatores de projeto para dimensionar uma peça mecânica, a análise de força (representada na forma vetorial) é considerada como um elemento abstrato na interpretação de situações-problema. A função da disciplina de Resistência dos Materiais é aplicar conhecimentos de Matemática e de Física para o entendimento dessa abstração. Para tanto, a construção do diagrama de corpo livre, configura a primeira etapa de uma simulação da realidade, via interpretação do vetor força de um sistema. Enfatizamos que sem o domínio do conteúdo vetor força o responsável pelo dimensionamento terá dificuldades para criar uma peça a partir da concepção abstrata. Por esse motivo, reforçamos o entendimento que o domínio do vetor força é muito importante para a formação inicial de um profissional na área Mecânica, em particular os alunos egressos dos cursos técnicos Mecânica Integrados ao Ensino Médio.

FORÇA: SABER A SER ENSINADO NO EMI

Na seção anterior compreendemos que na abrangência do EMI, o ensino dos conteúdos da disciplina de Resistência dos Materiais ocorre de forma aplicada. Nesse contexto, o ensino acontece mediante estudo de situações-problema quanto a capacidade de carga de membros estruturais e componentes de máquinas. No âmbito escolar, nos estudos das mais variadas situações-problema, são aplicados métodos matemáticos básicos, como trigonometria, para compressão do sistema físico de representação abstrata. Em alguns casos podemos combinar métodos matemáticos com algum experimento didático, para que a concepção concreta de uma situação-problema favoreça a compreensão das representações abstratas solicitadas. Aproximando o ensino de Resistência dos Materiais com ensino de Matemática, corroboramos com o entendimento de Soares (2015, p. 94), sobre a dialética entre o concreto e o abstrato na construção do conhecimento, no qual a “relação dialógica entre os elementos desse par – concreto e abstrato” é fundamental “para dar sustentação e significado ao conhecimento e a aprendizagem”. Seguindo nossa discussão sobre abstração da força, Riley, Sturges e Morris (2003) afirmam que para determinarmos forças internas, tensões e deformações dos corpos das peças é

[...] exigido um certo conhecimento das propriedades físicas e mecânicas dos materiais para desenvolver um projeto, avaliar um projeto dado ou mesmo escrever a relação correta entre uma carga aplicada e a deformação resultante em um elemento estrutural carregado. (RILEY, STURGES e MORRIS, 2003, p. 1).

Considerando a carga aplicada como a ação de uma força sobre uma peça mecânica (corpo), o conceito de força pode ser descrito de muitas formas sob a perspectiva da mecânica newtoniana. Hibbeler (2011, p. 2) afirma que em geral a força é considerada como “um ‘empurrão’ ou ‘puxão’ exercido por um corpo sobre o outro”. Conforme Barreto e Xavier (2013, p. 136) a força “é o agente causador de alterações no estado de repouso ou movimento dos corpos”. Para Beer, Jonhston e Mazurek (2019, p. 3) a força representa “a ação de um corpo sobre o outro”. No entendimento de Meriam e Kraige (2016, p.4) a força é uma “ação vetorial de um corpo sobre o outro”. Já os professores e pesquisadores Alonso e Finn (2014, p. 73) sugerem que a força deve ser compreendida como uma “grandeza vetorial, dotada, consequentemente, de intensidade, direção e sentido”. Como pôde ser observado, o passar do tempo e os avanços científicos nessa linha de pesquisa possibilitaram a sofisticação do conceito de força, porém os textos sempre remetem ao mesmo entendimento de Isaac Newton, publicados no século XVII.

Na leitura dos escritos de Newton percebemos o interesse deste cientista pela dinâmica dos corpos em movimento e a sua correlação com: a gravidade da atmosfera terrestre; o atrito gerado pelo movimento relativo entre si. Diante do seu estudo sobre força, a partir das correlações entre peso dos corpos e suas acelerações, Newton formulou um conjunto de três (3) leis. Essas leis, após aceitação da comunidade acadêmica/científica de sua época, a partir do final do século XVII, passaram a referenciar novas pesquisas na área mecânica. São as leis de Newton (2002):

Lei I

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Lei II

A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

Lei III

A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

(NEWTON, 2002, p. 53, 54)

Conforme nossa leitura e interpretação, a primeira lei de Newton é empregada para definir a massa de um objeto. O senso comum entende que massa é o mesmo que

quantidade de matéria, porém na abordagem newtoniana a massa pode ser entendida como a quantidade de força interna de um corpo (oposição) imposta a uma força externa. A segunda lei de Newton nos permite relacionar a dinâmica com a cinemática, pois podemos interpretar que a força aplicada sobre um corpo com a aceleração resultante sobre ele é mediada pela inércia deste corpo. Já a terceira lei de Newton, afirma que para toda força de ação sobre um corpo provocará o surgimento praticamente instantâneo, de uma força de reação de igual intensidade, mas que atua no sentido vetorial oposto.

Desde o princípio o estudo sobre força de deparou com um elevado grau de abstração. Essa abstração é decorrente da incapacidade de ver a força, porém podemos senti-la. Já na época de Newton, a abstração do estudo sobre movimento de corpos precisou de um acessório para auxiliar a resolução de problemas quanto a representação das expressões matemáticas complexas. Nesse caso, a descrição da realidade observada dos movimentos de corpos foi parcialmente resolvida pela representação gráfica via vetores, plotados em sistema de coordenadas polares e/ou cartesianas. Conforme Meriam e Kraige (2016), o movimento

[...] de partículas (ou de **corpos rígidos**) pode ser descrito utilizando **coordenadas** a partir de **eixos de referência fixos** (análise de movimento absoluto) ou utilizando coordenadas medidas a partir de eixos de referência móveis (análise de movimento relativo). [...] movimentos de uma partícula [...] podem ser **representados** como ocorrendo **em um único plano**. Uma grande parte dos **movimentos** de máquinas e **de estruturas** em engenharia pode ser representado como movimento plano” (MERIAM e KRAIGE, 2016, p. 16, grifo nosso).

Segundo Nussenzveig (2013, p. 63), para caracterizarmos de forma intrínseca de deslocamento de um corpo além de informar a “magnitude do deslocamento (distância à origem): é preciso também especificarmos a direção e sentido do deslocamento”. De acordo com Beer, Jonhston e Mazurek (2019, p. 18), outras quantidades físicas como “velocidades, acelerações e forças que têm intensidade, direção e sentido [...] podem ser representadas matematicamente por vetores”. Reforçando a compressão sobre a necessidade da caracterização de grandezas físicas, Alonso e Finn (2014) afirmam que

[...] para a sua completa especificação, além do seu valor numérico, o conhecimento de uma direção orientada [...] são chamadas de *vetores*. O caso mais obvio é do *deslocamento*. O deslocamento de um corpo é determinado pela *distância efetiva* em que ele se move, como também pela *direção orientada* associada ao seu movimento” (ALONSO e FINN, 2014, p. 48, grifo dos autores).

No âmbito do Ensino Básico, em particular no Ensino Médio, no início dos estudos escolares do conteúdo de Física (Cinemática) é comum encontrar em livros didáticos a seguinte questão: O que é um vetor? Para responder essa questão, Barreto e Xavier (2013, p. 96) afirmam que “vetor é uma entidade matemática abstrata, caracterizada por um número (não negativo), uma direção e um sentido”. De acordo com Alonso e Finn (2014, p. 48) um vetor pode ser representado graficamente “por um segmento de reta orientado, que tem a mesma direção e sentido (indicado por uma seta) [...] cujo comprimento é proporcional a sua magnitude”. Complementando a caracterização de um vetor, Hibbler (2011, p 11) afirma que a “ponta da seta indica o sentido da direção [...]”.

Na disciplina de Resistência dos Materiais é constante o estudo de uma situação-problema via análise vetorial da grandeza força. Partindo do princípio de que todos os corpos estão sobre ação de alguma força, as atividades desta disciplina exigem dos alunos transição do concreto ao abstrato via técnica da construção gráfica. Na relação professor-saber-aluno sobre o conteúdo vetor força, cada um dos agente (professor e aluno) precisa cumprir o seu papel para o objetivo de ensinar e aprender seja alcançado. Ao professor cabe o aprimoramento das ações didática que favoreçam a aprendizagem deste conteúdo. Ao aluno cabe motivar-se para construir conhecimento técnico com base nos saberes escolares aprendidos, nas orientações recebidas pelo professor, na pesquisa paralela a fim da resolução de problemas via simulação da realidade por métodos matemáticos ou computacionais.

NOSSAS CONSIDERAÇÕES

Partindo da compreensão sobre mecânica newtoniana, na qual todos os corpos, mesmo os considerados estáticos (parados), estão sobre ação de forças não existe aprendizagem sobre dimensionamento de peças mecânicas, na disciplina de Resistência dos Materiais, sem abordagem desse conteúdo do conhecimento. Salientamos que a interpretação de forças atuantes em um sistema apresenta elevado grau de abstração e essa condição pode interferir no processo de aprendizagem de alguns alunos. Isso acontece porque a força é algo que somente pode ser sentida, quando a pessoa está envolvida no sistema. Nesse contexto, é exigido dos alunos trabalho de imaginação haja vista a necessidade recorrente de análise de situações-problemas hipotéticas.

É de interesse da disciplina de Resistência dos Materiais, principalmente em curso de técnico em Mecânica Integrado ao Ensino, que a transição entre concreto e abstrato de uma dada situação-problema seja iniciada pela construção gráfica de vetor força, via diagrama de corpo livre. Para essa disciplina, além da caracterização padrão de um vetor força (módulo, sentido e direção) o ponto de aplicação do vetor também influencia no dimensionamento das peças mecânicas. Por esse motivo, reforçamos o entendimento da criticidade do conteúdo vetor força para essa disciplina em especial. No contexto da transição de conhecimento, consideramos pertinente que a abordagem desse conteúdo na disciplina de Física também contemple interesse da disciplina de Resistência dos Materiais tendo em vista a eficiência do ensino

Na prática profissional, um técnico projetista busca compreender as forças de uma situação-problema para caracterizar um vetor força resultante. Esse vetor normalmente tem capacidade de interferir na condição de equilíbrio estrutural das peças. Nesse contexto, fica evidente a necessidade da simulação matemática, com evolução para computacional, a fim de testar possíveis protótipos com vistas para robustez suficiente conforme: (1) limites de contorno (tamanho mínimo, peso máximo, temperatura crítica); (2) fatores inerentes ao local de definitivo de trabalho de peça; (3) tipo de material de construção. Lembramos que o objetivo do projetista é determinar um grau de certeza quanto a capacidade de resistência estrutural de uma peça frente ao esforço predominante, a qual será constantemente submetida quando posta em regime de trabalho.

Na rede educacional do IFs, em particular nos cursos de Técnicos de Mecânica Integrado ao Ensino Médio, muitos alunos que escolhem esse curso sem aptidão. Em nossa concepção isso pode ser uma agravante para o baixo desinteresse pelos conteúdos técnicos. Desmotivado, o aluno do EMI não consegue observar a correlação interdisciplinar dos conteúdos a serem aprendidos.

Reforçamos que na disciplina de Resistência dos Materiais, os alunos a todo momento estão executando simulações matemáticas de sistemas mecânicos, estáticos ou dinâmicos, a fim do dimensionamento adequado de peças, com base nos limites de contorno inerentes da situação-problema objeto de análise. A didática nas aulas de dimensionamento parte do princípio de que o aluno detém domínio sobre o conteúdo de força, principalmente a decomposição vetorial retangular. Diante da necessidade de revisão deste e demais conteúdos (relações trigonométricas, operação com vetores,

determinação de vetor resultante), ressaltamos a importância do alinhamento entre disciplinas de diferentes núcleos (geral e profissionalizante) no caso do EMI.

Por fim, consideramos que nossa questão inicial desse manuscrito foi atendida à medida que os argumentos apresentados em cada seção conotam importância do conteúdo vetor força para ambas das disciplinas do EMI, Física e Resistência dos Materiais. Quanto ao alinhamento entre essas disciplinas, em torno desse conteúdo do conhecimento científico, defendemos que o mesmo deve ocorrer no sentido de equilibrar contextualização (explanações, exercícios, experimentos) que atendam ambas as áreas de um curso técnico em Mecânica Integrado ao Ensino Médio, ou seja, que atendam tanto a área geral quanto a área profissionalizante. A abstração de situações-problemas hipotéticas contribui para dificuldade de ensinar e aprender sobre o conteúdo vetor força. Isso de certa forma corrobora para criticidade deste conteúdo na disciplina de Resistência dos Materiais, com vista para o atendimento de uma das habilitações do profissional técnico mecânico conforme expectativa do CNE quanto ao perfil profissional de conclusão, em curso desenvolvido para o EMI. Apontamos como alternativa para esse alinhamento um trabalho docente interdisciplinar, com vistas para a eficiência no ensino e eficácia no processo de aprendizagem do conteúdo vetor força, com foco em uma abordagem da construção do conhecimento com significado.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: Um curso universitário**. 2. ed. São Paulo-SP: Blucher, 2014. 507 p. Tradução de: Mário A. Guimarães, et al.

BARRETO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Física 1 - Mecânica**. 2. ed. São Paulo-SP: FTD, 2013. 304 p.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; MAZUREK, D. F. **Mecânica vetorial para engenheiros: Estática**. 11. ed. São Paulo: Mc Graw Hill Education - AMCG Editora Ltda, 2019. 634 p. Tradução de: Clara Ályyegra Lyra Petter

BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos Materiais: Para entender e gostar**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 254 p.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação - CNE/Câmara de Educação Básica - CEB. **Resolução nº 6, de 20 de setembro de 2012. Define Diretrizes Curriculares Nacionais Para A Educação Profissional Técnica de Nível Médio**. Brasília: gov.br, p. 1-66.

BRASIL. Lei Nº 11.892/2008, de 29 de dezembro de 2008. **Institui a rede federal de educação profissional, científica e tecnológica, cria os institutos federais de educação, ciência e tecnologia, e dá outras providências**. Lei Federal: Legislação Federal. 1. ed. Brasília, Brasil: Imprensa Nacional, 30 dez. 2008. v. 1, n. 253, Seção 1, p. 1-1. ISSN 1677-7042. Disponível em: file:///C:/Users/Rodrigo%20Costa/Downloads/LEI%20N%C2%BA%2011.892%20de%202008%20-%20Lei%20de%20Cria%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Institutos%20Federais.pdf

Acesso em: 18 mai. 2022.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. **Mechanics of Materials**. 8. ed. Stamford, EUA: Cengage Learning, 2013. 1123 p.

HIBBELER, R. C. **Estática: Mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo-SP: Pearson Education do Brasil Ltda, 2011. 512 p. Tradução de: Daniel Vieira.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 637 p. Tradução de: Arlete Simille Marques.

KASSIMALI, A. **Structural Analysis**. 4. ed. Stamford, US: Cengage Learning, 2011. 899 p.

MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G. **Mecânica para engenharia: Dinâmica**. 7. ed. Rio de Janeiro-Rj: Ltc, 2016. 551 p. Tradução de: Professor Dr. Hector Reynaldo Meneses Costa.

Ministério da Educação - MEC. **Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos: CNCT-2019**. 4ª ed. Brasília: gov.br, 2019.

MIRANDA, R. J. P. da C. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Centro Universitário da FEI, 2012. 513 p.

NEWTON, I. **Principia: Princípios matemáticos de filosofia natural - Livro 1**. 2. ed. São Paulo-SP: Edusp - Editora de Universidade de São Paulo, 2002. 308 p. Traduzido por: Trieste Ricci, et al.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013. 1055 p. Traduzido por: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos et al.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1: Mecânica**. 5. ed. São Paulo-SP: Blucher, 2013. 394 p.

RILEY, W. F.; STURGES, L. D.; MORRIS, D. H. **Mecânica dos materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2003. 600 p.

ROSA, E. da. **Análise de Resistência Mecânica: Mecânica da fratura e fadiga**. Florianópolis: UFSC, 2002. 407 p.

SOARES, Luís Havelange. **A dialética entre o concreto e o abstrato na construção do conhecimento matemático**. 2015. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2015.

UGURAL, A. C. **Mechanics of Materials**. New Jersey, US: John Wiley & Sons, Inc, 2007. 716 p.

Recebido em: 21/06/2022

Aprovado em: 25/07/2022

Publicado em: 28/07/2022