

Uso da análise de concentração como ferramenta para aprofundar a compreensão dos conhecimentos dos alunos

José Uibson¹ e Fernando Frei²

¹Instituto Federal de Sergipe (IFS), Lagarto, SE, Brasil; ²Universidade Estadual Paulista (Unesp), Assis, SP, Brasil. E-mails: jose.moraes@ifs.edu.br; fernando.frei@unesp.br.

Resumo: Este estudo investigou o conhecimento de estudantes do 1º ano do ensino médio sobre os conceitos de força e movimento, utilizando a análise de concentração para identificar modelos mentais predominantes. A pesquisa, de natureza quantitativa, foi realizada com 227 alunos de duas escolas públicas em Sergipe, aplicando-se versões reduzidas do *Force Concept Inventory* (FCI). Os resultados revelaram baixas pontuações gerais, independentemente do gênero ou da instituição de ensino, além de uma acentuada inconsistência nas respostas. Tal cenário sugere um estado aleatório nos modelos mentais dos estudantes, com a persistência de concepções alternativas fundamentadas na teoria do *ímpetus* e em noções aristotélicas sobre o movimento dos corpos. Conclui-se que há uma necessidade premente de estratégias pedagógicas que favoreçam a transição de noções intuitivas para o entendimento científico, promovendo uma evolução conceitual mais robusta na disciplina de física.

Palavras-chave: análise de concentração, concepções não-newtonianas, força, movimento.

Title: The use of concentration analysis as a tool to deepen the understanding of students' knowledge

Abstract: This study investigated first-year upper secondary school students' knowledge of the concepts of force and motion, using concentration analysis to identify predominant mental models. The research, quantitative in nature, was conducted with 227 students from two public schools in the state of Sergipe, Brazil, through the administration of reduced versions of the Force Concept Inventory (FCI). The results revealed low overall scores, regardless of gender or educational institution, as well as a pronounced inconsistency in students' responses. This scenario suggests a random state in students' mental models, with the persistence of alternative conceptions grounded in impetus theory and Aristotelian notions of the motion of bodies. It is concluded that there is an urgent need for pedagogical strategies that promote the transition from intuitive notions to scientific understanding, fostering more robust conceptual development in the discipline of physics.

Keywords: concentration analysis, no-Newtonian conceptions, force, movement.

Introdução

Globalmente, no contexto do século XXI, o ensino e a aprendizagem em Física enfrentam desafios que exigem estratégias inovadoras. Autores como Bao e Koenig (2019) sugerem a interdisciplinaridade, integrando a Física ao amplo espectro de *STEM* (Do inglês: "*Science, Technology, Engineering and Mathematics*"), como sendo essencial para uma educação científica mais holística e relevante. Enfatizam o uso de métodos de ensino que facilitam a aprendizagem, sugerindo a criação de ambientes educacionais mais eficazes e o acesso a recursos didáticos convenientes. Nesse sentido, a "mecânica" do ensino de Física deve evoluir, enfatizando não apenas o conteúdo, mas também em como os alunos interagem com esse conteúdo em um mundo cada vez mais digital e interconectado (Bao e Koenig, 2019).

Diante de vários desafios na realidade do ensino de Física, um aspecto crucial é a necessidade de uma reestruturação pedagógica que adote um ensino centrado no aluno e na aprendizagem ativa, sendo essencial priorizar o desenvolvimento de competências científicas amplas — como a modelagem de fenômenos, a argumentação baseada em evidências, a investigação experimental, a análise crítica de dados e a resolução de problemas complexos — em detrimento de uma abordagem predominantemente expositiva e centrada na acumulação de conteúdos factuais (Moreira, 2021). Nesse sentido, a efetiva promoção de competências científicas, superando uma visão meramente instrumental das estratégias pedagógicas, alinha-se aos princípios do Ensino por Investigação (Sasseron e Carvalho, 2011), no qual os alunos se envolvem com problemas reais, coletam e analisam dados, e constroem explicações, desenvolvendo, assim, uma compreensão profunda dos conceitos e da natureza da Ciência. Um percurso que demanda uma reorganização do ambiente de aprendizagem, no qual problemas autênticos orientam a construção do conhecimento, e o professor atua como mediador da atividade intelectual dos estudantes.

Outro desafio é a atualização do conteúdo ensinado, visto que o foco ainda está em conceitos do século XIX, negligenciando avanços importantes da Física Moderna e Contemporânea. É preciso enfrentar o ensino voltado para a testagem, o qual promove uma aprendizagem mecânica e passiva, favorecendo uma educação que valorize a compreensão e a aplicação crítica do conhecimento. A integração de diferentes disciplinas científicas e o uso intensivo de tecnologias digitais, como laboratórios virtuais, também são aspectos fundamentais para um ensino de Física mais eficaz e relevante no século XXI (Moreira, 2021).

Para alcançar essa eficácia, é fundamental considerar que os alunos chegam à sala de aula com concepções prévias. Essas concepções, muitas vezes enraizadas no senso comum ou derivadas de experiências cotidianas, são fundamentais para compreender como estudantes e professores percebem os fenômenos físicos. Elas são formadas em um contexto social, incluindo a escola, e influenciam tanto estudantes quanto professores. Portanto, a análise dessas concepções é importante para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas eficazes, contribuindo para um ensino de Física mais significativo e contextualizado (Marcon e Megid-Neto, 2013).

Quando os estudantes ingressam na escola, trazem consigo uma diversidade de ideias e saberes, que nem sempre possuem fundamentação científica. De acordo com Ausubel (2003), essas noções prévias refletem os conhecimentos já adquiridos pelos alunos (conhecimentos prévios). Isso porque, o aluno não é um ente passivo na aquisição do conhecimento. Pelo contrário, de acordo com o autor supracitado, os alunos trazem consigo conhecimentos anteriores que podem funcionar como *subsunções* para ancorar novos aprendizados. No entanto, algumas dessas concepções pré-existentes podem também constituir barreiras à assimilação de novos conceitos, conforme salientado por Bachelard (1996).

Diante desse contexto, o objetivo dessa investigação foi aplicar o método da Análise de Concentração para aprofundar a compreensão das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de Força e Movimento, além de identificar e caracterizar aquelas que não condizem com o modelo científico (concepções não-newtonianas). Algumas concepções já foram bastante relatadas na literatura, como a ideia de *ímpetus*, isto é, uma força motriz interna que continua a impulsionar um objeto após cessar a força externa inicial. Outra concepção é que apenas agentes ativos, geralmente vivos ou em movimento por conta própria, podem exercer forças e causar movimento. Essas concepções são vistas como hipóteses científicas falsas, e não como erros de raciocínio, e são parte de um quadro mais amplo de ideias alternativas dos estudantes em Física (Wheatley *et al.*, 2022).

As concepções apresentadas pelos alunos refletem a tentativa de construírem, ainda que de forma inconsistente ou equivocada, ideias para poderem compreender o mundo que os cercam. Tais construções podem ser interpretadas à luz da teoria dos modelos mentais publicada na década de 1980, por Philip Johnson-Laird. A premissa dessa teoria é que a compreensão humana está associada a existência de um "modelo de trabalho" na mente da pessoa. Assim:

Os modelos mentais são estruturas simbólicas internas, e por isso, quando 'observamos' o mundo, estamos 'observando' uma representação dele, conforme nossos modelos, formada, pelo que sabemos, o que conhecemos ou imaginamos. Então, nosso mundo é limitado pelo limite de nossos modelos de mundo e estes modelos podem ser construídos como resultado da percepção, da interação com pessoas ou coisas e da experiência interna (Krey *et al.*, 1997, p. 398).

Embora os modelos mentais sejam estruturas internas que filtram nossa percepção (Krey *et al.*, 1997), eles são constantemente postos à prova e reformulados no espaço discursivo da sala de aula. Segundo Mortimer e Scott (2002), a aprendizagem significativa ocorre no contínuo movimento entre os discursos cotidiano e científico, mediado pelo professor. Assim, a argumentação e a modelagem funcionam como instrumentos-chave de interação, permitindo que os alunos externalizem, comparem e refinem seus modelos mentais iniciais, que são naturalmente incompletos e em evolução (Moreira, 1996), sendo necessário que o processo de ensino-aprendizagem possibilite à construção de modelos mentais eficazes. Tais modelos desempenham papel fundamental na capacidade de desenvolver inferências e previsões e na resolução de problemas. Por isso é preciso entender que:

Os modelos mentais das pessoas podem ser deficientes em vários aspectos, talvez incluindo elementos desnecessários, errôneos ou contraditórios. No ensino, é preciso desenvolver modelos conceituais e também materiais e estratégias instrucionais que ajudem os aprendizes a construir modelos mentais adequados. Na pesquisa, é necessário desenvolver técnicas de investigação apropriadas e, ao invés de buscar modelos mentais claros e elegantes, procurar entender os modelos confusos, 'bagunçados', incompletos, instáveis, que as pessoas realmente têm (Moreira, 1996, p. 202).

Espera-se que essa investigação possa auxiliar na compreensão dos modelos confusos, instáveis, incompletos... (Moreira, 1996), além de contribuir para a pesquisa em ensino de Física, assim como, para outras áreas do saber (Mateus e Ferreira, 2021; Oliveira *et al.*, 2023) que também se propõem a avançar na investigação sobre esses modelos. Em relação aos conceitos de Força e Movimento, as pesquisas mostram que os alunos ainda apresentam muitas dificuldades na compreensão desses conceitos, tanto no panorama internacional (Bao e Redish, 2001; Poutot e Blandin, 2015; Wheatley *et al.*, 2022), quanto no nacional (Detoni, 2021; Fernandes, 2011; Quibao *et al.*, 2019; Uibson e Frei, 2023). Isso denota que os alunos apresentam modelos mentais não adequados, inclusive persistentes mesmo ao final da educação básica, conforme constatado por Barroso, Rubini e Silva (2018, p. 12): "as dificuldades conceituais conhecidas no tema da relação entre força e movimento, continuam muito presentes e impactando na aprendizagem dos estudantes ao final do ensino médio". Isso porque os modelos mentais dos aprendizes estão em construção (Moreira, 1996). Nesse sentido, o processo de aprender:

 Não é visto como a substituição das velhas concepções, que o indivíduo já possui antes do processo de ensino, pelos novos conceitos científicos, mas como a negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo (Mortimer e Scott, 2002, p. 284).

Diante dos desafios apresentados em relação a realidade do ensino de Física e tendo em consideração a importância do conhecimento das concepções dos alunos, esta investigação se propôs a responder as seguintes questões de pesquisa: 1) Quais concepções não-newtonianas são mais frequentes em alunos do 1º ano do Ensino Médio? 2) Como interpretar tais concepções a luz dos modelos mentais dos alunos? 3) De que forma estão organizados e distribuídos os diferentes modelos dos alunos?

A análise das concepções não-newtonianas justifica-se por sua relevância para o ensino de Física, uma vez que tais concepções moldam a compreensão dos fenômenos pelos estudantes, podendo resultar em entendimentos equivocados ou superficiais (Marcon & Megid-Neto, 2013). Ao incorporar essas ideias prévias ao planejamento pedagógico, os educadores podem desenvolver estratégias baseadas em evidências que favoreçam a transição dos conhecimentos iniciais para uma compreensão alinhada aos princípios científicos. Essa abordagem não apenas aprimora a aprendizagem conceitual, mas também a torna mais significativa e relevante para os alunos (Marcon & Megid-Neto, 2013).

Para realizar a análise das concepções não-newtonianas dos alunos foi utilizada a Análise de Concentração proposta por Bao e Redish (2001). O foco desta análise está em verificar como estão distribuídas as respostas dos alunos em cada questão de um teste. No caso dessa investigação, o teste utilizado foi *Force Concept Inventory* (FCI), instrumento validado para avaliar concepções sobre Força e Movimento (Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992). Retomando a ideia dos modelos mentais dos alunos, a partir da análise de concentração, em um contexto de sala de aula, é possível identificar quais modelos estão presentes na turma, se esta compartilha um modelo específico (Fernandes, 2011), além da identificação de modelos confusos, “bagunçados”, conforme salientou Moreira (1996). De forma complementar, emerge dessa análise o conhecimento das concepções mais frequentes da turma, permitindo com isso, o desenvolvimento de práticas pedagógicas direcionadas a essas concepções. A próxima seção detalha os procedimentos da Análise de Concentração.

A análise de concentração

Quando os alunos respondem a um teste, é importante analisar não apenas sua pontuação total, mas também suas respostas incorretas, pois, estas contêm informações sobre suas concepções não-newtonianas em relação aos conceitos de Força e Movimento, no caso do FCI (Uibson e Frei, 2023). É preciso analisar com maior rigor as questões que os alunos erraram, pois de acordo com Bao e Redish (2001, p. 45, tradução nossa) “a maneira como os alunos selecionam as respostas erradas em tais testes contém uma grande quantidade de informações valiosas sobre a compreensão do aluno”. Esse valor não reside no fato delas permitirem apenas a identificação das concepções não-newtonianas dos alunos, mas principalmente em possibilitar o conhecimento dos modelos mentais de uma turma ou grupo de alunos, por exemplo.

A terminologia “não-newtoniana”, conforme empregada no FCI, não carrega juízo pejorativo, mas sim um recorte analítico: refere-se às concepções que não se alinham às leis de Newton. O teste é construído sobre essa distinção — uma alternativa veicula o conhecimento consensual da Física; as quatro restantes (distratores) traduzem ideias não-newtonianas já documentadas na literatura. Para o professor, esse mapeamento constitui um ponto de partida estratégico: com base nele, é possível desenhar percursos didáticos que promovam, de modo mais eficaz, a reconstrução progressiva dos modelos mentais dos alunos até sua aproximação ao paradigma científico vigente.

Nesse sentido, propõe-se o uso da Análise de Concentração, que de acordo com Fernandes (2011, p. 32), “permite identificar se os estudantes de uma determinada série ou turma se concentram ou se distribuem pelas alternativas de resposta apresentadas pelas questões”. Conforme proposto por Bao e Redish (2001), é calculado primeiramente o *fator de concentração* (C), que representa a medida da concentração das respostas dos alunos, variando entre 0, menor concentração e 1 a maior concentração. O fator C pode ser obtido utilizando a equação a seguir:

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m-1}} \times \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \quad (1)$$

No cálculo de C , conforme a Eq. (1), considera-se o número de itens das questões ($m = 5$, para o FCI), o número de alunos que selecionaram determinado item na questão (n_i) e o número total de respondentes (N). Para interpretar os valores de C , faz-se uma associação com a pontuação (escore) dos alunos obtida no teste, conforme explicitado na Tabela 1.

Escore (E)	Nível	Fator de Concentração (C)	Nível
0 - 0,4	B	0 - 0,2	B
0,4 - 0,7	M	0,2 - 0,5	M
0,7 - 1,0	A	0,5 - 1,0	A

B = baixo; M = médio; A = alto.

Tabela 1: Relação entre o escore (E) e fator de concentração (C).

Fonte: Adaptada de Bao e Redish (2001).

Ao associar do escore com o fator de concentração é gerada uma codificação, que representa uma possível estrutura de modelos para suas respostas, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Implicações		
Um modelo	AA	Um modelo correto
	BA	Um modelo incorreto dominante
Dois modelos	BM	Dois possíveis modelos incorretos
	MM	Dois modelos populares
Não-modelo	BB	Situação quase aleatória

Tabela 2: Codificação de modelos de respostas dos alunos.

Fonte: Adaptada de Bao e Redish (2001).

De acordo com a Tabela 2, existem várias possibilidades de combinar o escore com o fator de concentração, além de suas implicações. Assim:

Um modelo: a maioria das respostas está concentrada em uma escolha (não necessariamente correta). Dois modelos: a maioria das respostas concentra-se em duas opções, muitas vezes uma correta e outra incorreta. Não-modelo: as respostas são distribuídas de maneira um tanto uniforme entre três ou mais opções (Bao e Redish, 2001, p. 47 – tradução e grifo nosso).

Assim, as respostas dos alunos podem ser interpretadas à luz desses modelos, que podem representar também seus modelos mentais. De acordo com Bao e Redish (2001, p. 49, tradução nossa), os resultados mais relevantes “vêm dos tipos BM e BA, que são fortes indícios da existência de modelos incorretos comuns”. Além desses, o tipo BB (não-modelo) reflete o fato que o modelo mental pode se encontrar em uma total confusão ou

“bagunça” (Moreira, 1996). Identificar o tipo de modelo em uma turma, por exemplo, é o ponto de partida para saber, em média, o(s) modelo(s) mental(ais) que aquela turma compartilha em relação a determinados conceitos.

O passo seguinte se refere ao cálculo da concentração das respostas incorretas (fator Γ). Tal fator é calculado de acordo com a equação a seguir:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{m-1}}{\sqrt{m-1}-1} \times \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2 - E^2}}{(N-E)} - \frac{1}{\sqrt{m-1}} \right) \quad (2)$$

No cálculo de Γ , das alternativas das questões, retira-se a correta ($m = 4$) e é subtraído do número total de respondentes (N), aqueles que responderam corretamente à questão em análise (E). Tem-se que Γ também varia entre 0, menor concentração e 1 a maior concentração. Com este fator, amplia-se a compreensão de como está concentrado o erro dos alunos, ou seja, é possível saber aquelas concepções não-newtonianas (no caso desta pesquisa) são dominantes, sendo possível assim, oferecer uma intervenção didática (tratamento) mais precisa.

Esta análise vem sendo cada vez mais utilizada nas pesquisas em ensino de Física (Barbosa, 2021; Gutiérrez *et al.*, 2022), permitindo também identificar os distratores mais frequentes, isto é, são verificadas as concepções não-newtonianas mais evidentes na amostra. Esta identificação passa pela utilização de uma taxonomia do FCI, que no caso deste estudo, foi utilizada a proposta por Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi (2017) com algumas atualizações feitas por Eaton, Vavruska e Willoughby (2019). Por fim, para informações mais abrangentes da Análise de Concentração sugere-se consultar as referências citadas na íntegra, com destaque para o trabalho de Uibson & Frei, 2025.

A Taxonomia relacionado ao FCI

A taxonomia original do FCI (Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992) categoriza equívocos sobre Força e Movimento. Atualizações recentes (Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi, 2017; Eaton, Vavruska e Willoughby, 2019; Roleda, 2002) expandiram essa classificação. Nesta investigação, foi realizada a análise taxonômica do FCI, conforme os equívocos apresentados na Tabela 1.

Com base na taxonomia adotada, foram identificadas as concepções não-newtonianas dominantes. Para ser considerada dominante, de acordo com a literatura, adota-se como nível de dominância as concepções com percentual de pelo menos 50% de frequência, dentre as alternativas incorretas por questão do FCI (Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi, 2017; Martín-Blas, Seidel e Serrano-Fernández, 2010).

Uma vez identificadas as concepções dominantes, realiza-se a categorização destas, conforme a própria estrutura do FCI. Inicialmente seus autores propuseram seis dimensões (Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992), porém, estudos recentes que fizeram uso da análise fatorial combinatória, consideram que cinco dimensões (fatores) são suficientes

(Eaton e Willoughby, 2018; Eaton e Willoughby, 2020; Eaton, 2021). Foi utilizada nesta pesquisa este modelo de cinco fatores, denominado modelo EW5M, mostrado na Tabela 2 a seguir.

Código	Descrição
K1	Posição-velocidade não discriminada
K2	Aceleração e velocidade indiscriminada
K3	Composição de velocidade não vetorial
I1	Ímpetus fornecido por 'tapa'
I2	Perda/recuperação do ímpetus original
I3	Dissipação do ímpetus
I4	Aumento gradual/retardado do ímpetus
I5	Ímpetus circular
AF1	Apenas agentes ativos exercem forças
AF2	Movimento implica força ativa
AF3	Nenhum movimento implica nenhuma força
AF4	Velocidade proporcional à força aplicada
AF5	Aceleração implica aumento de força
AF6	Força causa aceleração na velocidade terminal
AF7	A força ativa se desgasta
AR1	Maior massa implica maior força
AR2	O agente mais ativo produz maior força
CI1	A maior força determina o movimento
CI2	O compromisso da Força determina o movimento
CI3	A última força a agir determina o movimento
CF	Força centrífuga
Ob	Obstáculos não exercem força
R1	Massa faz as coisas pararem
R2	Movimento quando a força supera a resistência
R3	Resistência se opõe à força/ ímpetus
G1	Gravidade assistida por pressão de ar
G2	Gravidade intrínseca à massa
G3	Objetos mais pesados caem mais rápido
G4	A gravidade aumenta à medida que os objetos caem
G5	A gravidade atua após o desgaste do ímpeto

Tabela 1 – Taxonomia das concepções não-newtonianas do FCI. Fonte: Adaptado de Bani-Salameh, Nuseirat & Alkofahi (2017).

Percurso metodológico

Com o objetivo de encontrar respostas às questões levantadas na Introdução, optou-se por uma pesquisa de métodos quantitativos. Este tipo de abordagem possui potencialidades significativas para melhor explicar e esclarecer as relações existentes entre as variáveis, permitindo que tais relações sejam exploradas, além de confirmar ou co-validar essas relações de forma inferencial (Fraenkel, Wallen e Hyun, 2012). Especificadamente, trata-se de um levantamento quantitativo acerca da natureza das concepções não-newtonianas dos alunos em relação aos conceitos de Força e Movimento. Neste tipo de abordagem, "procede-se à solicitação de

informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado para, em seguida, mediante análise quantitativa, obterem-se as conclusões correspondentes aos dados coletados” (Gil, 2017, p. 37).

Fator	Dimensões	Questões do FCI
F1	1ª Lei de Newton + Cinemática	6, 7, 8, 10, 20, 23, 24
F2	2ª Lei de Newton + Cinemática	1, 2, 3, 9, 12, 14, 19, 21, 22, 27
F3	3ª Lei de Newton	4, 15, 16, 28
F4	Identificação de forças	5, 11, 13, 18, 29, 30
F5	Superposição	17, 25, 26

Tabela 2 – Modelo de cinco fatores (EW5M) do FCI. Fonte: Adaptado de Eaton (2021).

Esta pesquisa apresenta um caráter descritivo e exploratório. De acordo com Gil (2017), as pesquisas descritivas realizam uma descrição das características de um fenômeno ou população, além identificar possíveis relações entre as variáveis. No caso das pesquisas exploratórias, visam “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado” (Gil, 2017, p. 33).

Esse trabalho é um estudo piloto, parte de uma pesquisa de doutorado, que investiga os impactos de uma Simulação Computacional em concepções não-newtonianas sobre Força e Movimento. A investigação ocorre em duas etapas: primeiro, o diagnóstico das concepções mais frequentes no público-alvo; em seguida, a seleção fundamentada da simulação, sua aplicação e a análise de seus efeitos sobre as concepções identificadas.

O estudo contou com 227 alunos do 1º ano do Ensino Médio, distribuídos em quinze turmas de duas escolas públicas de Lagarto-SE. Esse contingente representa 19% do total de matrículas da série no município, conforme o Censo Escolar 2023 (Brasil, 2023). A distribuição dos participantes por escola e faixa etária é apresentada na Figura 1. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos (CAAE: 68237523.4.0000.5546).

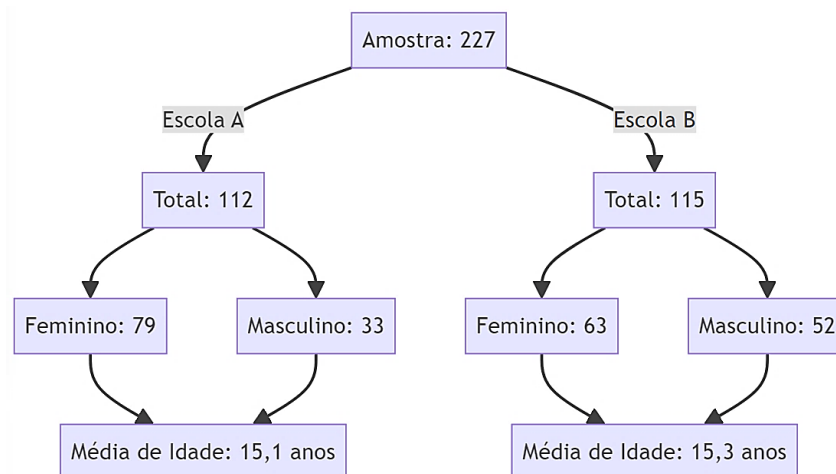


Figura 1. Distribuição dos participantes de acordo com escola, sexo e faixa etária.

A Figura 1 ilustra a distribuição da amostra estratificada por unidade escolar (A e B) e sexo, evidenciando uma preponderância feminina, notadamente na Escola A. Tal discriminação foi estabelecida para fundamentar as análises subsequentes, as quais incorporam o sexo como variável independente na investigação de eventuais assimetrias de desempenho no teste’.

Os dados foram coletados inicialmente por meio de um questionário com perguntas fechadas, ou seja, com respostas restritas a alternativas predefinidas, o que possibilitou a caracterização da amostra. Em seguida, foi feita a aplicação do *Force Concept Inventory* (FCI), desenvolvido por Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) antes dos alunos terem aulas referentes as leis de Newton. Segundo Santos e Sasaki (2015, p. 4), este teste “contempla 30 questões e foi elaborado através de várias pesquisas de forma a avaliarem as concepções alternativas de estudantes do Ensino Médio e universitário sobre os conceitos de Força e Movimento”. Para este estudo piloto, foi utilizada a versão reduzida do FCI proposta Han *et al.* (2015), validada em momento subsequente (Han *et al.*, 2016), que além de abranger os mesmos conceitos que o FCI completo, produziram pontuações equivalentes a este com menos de 3% de incerteza geral.

Esta versão reduzida originou os testes *Half-length Force Concept Inventory* (HFCI1 e HFCI2) cada um com aproximadamente metade das questões do FCI original. A aplicação ocorreu sob supervisão de um dos autores, em colaboração com os professores das escolas participantes, com duração média de 22 minutos por teste, em formato escrito.

As respostas dos alunos aos testes aplicados, foram analisadas por meio da Análise de Concentração (Bao e Redish, 2001). Esta análise, permite compreender de forma mais profunda as concepções não-newtonianas dos alunos, assim como sua distribuição. De forma complementar, foi feito uso da taxonomia relacionada às concepções dos alunos, proposta inicialmente por Hestenes, Wells e Swackhamer (1992), sendo revisada e atualizada por outros autores (Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi, 2017; Eaton, Vavruska e Willoughby, 2019; Roleda, 2002). Para a comparação dos grupos e outras análises estatísticas inferências foram utilizados testes de verificação de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* e Não Paramétricos de *Mann-Whitney*. O nível de significância adotado na pesquisa foi de 5% ($p < 0,05$).

Resultados e discussões

A seguir, serão apresentados e discutidos os resultados referentes as características da amostra, aos Scores, Análise de Concentração e sobre a Taxonomia das Concepções não-newtonianas.

A amostra

Participaram deste estudo 227 alunos de duas escolas públicas do interior do estado de Sergipe, em que 62,6% são do sexo feminino e 37,4% do sexo masculino, ambos com idade média de 15,2 anos. Em relação a cor ou raça, a amostra consistiu em 60,4% de estudantes que se autodeclararam pardos, 25,6% brancos, 10,6% pretos, 2,6% amarelos e 0,9% indígenas. Destaca-se ainda que, aproximadamente, 56% desses alunos fizeram o Ensino Fundamental todo em escola pública.

Os alunos foram questionados sobre o uso de ferramentas tecnológicas na aplicação dos conteúdos, o resultado foi que, aproximadamente, 86% do sexo feminino e 82% do sexo masculino, consideram tal uso como essencial e importante. Porém, o uso do laboratório de informática das escolas foi relatado como baixo, 12% e 26% respectivamente. Tal fato retrata um dos problemas graves na realidade de muitas escolas, a inatividade de laboratórios de informática e ciências (Silva, Nunes e Mercado, 2016). Mesmo não fazendo uso de recursos tecnológicos no ambiente escolar, verificou-se que, 82% (sexo feminino) e 72% (sexo masculino) fazem uso destes recursos em outros ambientes, assistindo videoaulas dos conteúdos, realizando pesquisas educacionais na internet, etc.

Foi verificado também como os alunos avaliavam seus conhecimentos sobre as leis de Newton, isso porque o foco de análise de suas concepções se refere aos conceitos de Força e Movimento. Tais conteúdos geralmente são tratados de forma breve no 9º ano do Ensino Fundamental ou podem ter sido abordados de forma mais consistente por alunos repetentes do 1º ano do Ensino Médio, que no caso desta amostra foram 14 alunos (6,2%). A tabela a seguir, traz estes resultados (Tabela 3).

Como você avalia seus conhecimentos sobre as Leis de Newton?	%
Não possuo conhecimento	26,9
Conheço pouco	43,6
Conhecimento razoável	20,3
Conheço bem	8,4
Conheço muito	0,9
Total	100,0

Tabela 3: Conhecimentos sobre as leis de Newton.

Conforme a Tabela 3, aproximadamente, 91% dos alunos estão em uma faixa de não possuir a ter um razoável conhecimento das leis de Newton. Soma-se a isso o fato que, 72,7% afirmaram não perceber a aplicação dessas leis em seu dia a dia. Algo que pode estar associado a um ensino descontextualizado (Aviles e Galembeck, 2017). Assim, para verificar de forma mais precisa seus conhecimentos em relação a essas leis, foram aplicados os testes (HFCI1 e HFCI2) antes dos professores abordarem estes conteúdos em sala de aula. Os resultados serão analisados a seguir.

Os escores

A Tabela 4, a seguir, mostra a pontuação média dos alunos nos testes.

n	Média	Mediana	Desvio-padrão (Dp)	Mínimo	Máximo	Kolmogorov-Smirnov	
						D	p
227	17,1	14,3	9,65	0,00	42,9	0,157	< ,001

Tabela 4: Pontuação dos alunos nos testes.

Conforme apresentado na Tabela 4, os 227 alunos tiveram uma pontuação média de 17,1% no teste. Fazendo a conversão para um valor equivalente ao FCI completo, de acordo com a expressão proposta Han *et al.* (2015), obtém-se o resultado de, aproximadamente 29%. Tal valor está distante do limiar (60%) considerado como valor referência de concepções newtonianas adequadas (Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992). É preciso esclarecer que a escolha desse limiar não é aleatória, fundamenta-se nas diretrizes de Cetnar *et al.* (2023) sobre o uso de Inventários de Conceitos. Dado que tais instrumentos utilizam distratores extraídos de equívocos reais dos estudantes, atingir este patamar indica que o aluno não apenas possui conhecimento factual, mas superou as concepções alternativas predominantes. Foi constatado também que 13 (treze) alunos atingiram a nota mínima (0% de acerto) e apenas 4 (quatro) a maior nota obtida, igual a 42,9% de acerto. Com a aplicação do teste de *Kolmogorov-Smirnov*, verificou-se que a distribuição das notas não obedeceu a normalidade.

Diversas pesquisas apresentam os percentuais de acertos dos alunos no FCI, o que possibilita comparações com o resultado aqui encontrado. Nesse sentido, Planinic Ivanjek e Susac (2010) aplicaram o FCI a alunos ($n = 3352$) do ensino médio na Croácia, 2,5 anos após eles terem recebido instrução sobre os conteúdos abordados no FCI. Esses alunos estavam divididos em três grupos conforme as características da estrutura do ensino croata, os resultados médios de suas pontuações no FCI foram os seguintes: $G1 = 27,7\%$; $G2 = 24,8\%$ e $G3 = 36,2\%$. Pontuação semelhante já havia sido verificada por Hake (1998), que registrou um valor de 28% ($n = 1113$) para turmas do Ensino Médio.

No estudo de Bao e Redish (2001) que aplicaram o FCI a alunos ($n = 778$) no primeiro semestre da graduação, obtiveram uma pontuação média de 50,7%, inferior a verificada por Planinic Ivanjek e Susac (2010) para alunos universitários ($n = 141$), que foi de 64,5%. É esperado que estudantes universitários apresentem pontuações médias superiores aos de nível médio, porém, pode ocorrer nos graduandos pontuações semelhantes da nossa amostra (29%), conforme verificado em dois grupos de alunos da graduação, médias de 26,7% ($n = 9606$) e 31,6% ($n = 1496$) no FCI (Wheatley *et al.*, 2022). Para outros três grupos, as médias verificadas foram superiores.

Na literatura nacional, destaca-se o trabalho de Fernandes (2011) que aplicou o FCI em turmas dos três anos do Ensino Médio nos anos de 2008 e 2009. Para as turmas do primeiro ano ($n = 212$) o valor médio encontrado foi de 34,1%, ligeiramente superior ao da amostra aqui analisada (29%). No entanto, na pesquisa de Fernandes (2011) o FCI foi aplicado ao final do primeiro ano, quando os alunos já haviam sido instruídos sobre o conteúdo das leis de Newton, diferente da amostra aqui analisada. Em outra pesquisa com alunos do ensino médio, foi verificado um percentual bastante inferior ao obtido em nossa pesquisa. Para o primeiro grupo de alunos, que estavam no primeiro período do curso e ainda não tinha estudado as leis de Newton, o acerto médio no FCI foi de 18,6 % ($n = 107$), já para alunos do segundo e terceiro períodos do curso, os percentuais foram de 20,6% ($n = 69$) e 19,8% ($n = 72$), respectivamente (Detoni, 2021).

O passo seguinte foi verificar se existia diferença entre os escores das duas escolas, sendo a média dos alunos da Escola A de 16,7% (Dp = 9,22; n = 112) e da Escola B de 17,5% (Dp = 10,07; n = 115). Foi possível observar que não existe diferença significativa no desempenho dos alunos quando se compara as escolas em que estão matriculados (*Teste de Mann-Whitney: U = 6261; p = 0,7116*). Infere-se assim, que os alunos podem apresentar modelos mentais semelhantes em relação aos conceitos foco desta investigação.

Outra análise realizada diz respeito ao fato dos alunos terem respondido testes diferentes, porém, equivalentes, se isso levaria a uma diferença em seus desempenhos. O escore médio para quem respondeu ao HFCI1 foi de 18,4% (Dp = 8,29; n = 110) e para o HFCI2 foi de 15,9% (Dp = 10,66; n = 117). Foi verificada uma diferença significativa no desempenho dos alunos quando se compara os diferentes testes aos quais foram submetidos (*Teste de Mann-Whitney: U = 7625,5; p = 0,01366*), porém, tendo um efeito pequeno (*TDE = 0,26 - d de Cohen*) nos desempenhos. Essa diferença foi acompanhada de uma maior variabilidade nos escores dos testes, como pode ser visto na Figura 2 a seguir.

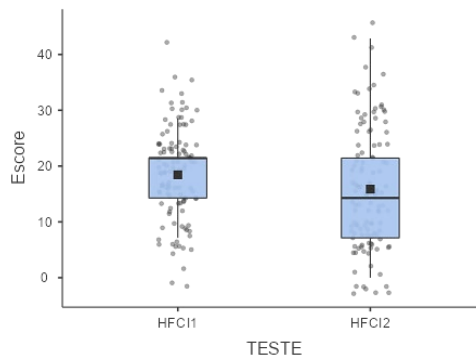


Figura 2: Gráfico box plot dos escores em relação ao tipo de teste aplicado.

A magnitude do efeito ($d = 0,26$) indica que as distribuições das notas dos dois grupos apresentam uma sobreposição. Portanto, a diferença estatística observada não traduz uma discrepância pedagógica crítica.

Esta maior variabilidade das pontuações foi encontrada também para todas as turmas que realizaram o HFCI2. Por fim, foi analisado os escores em relação ao sexo. Assim, foi obtida uma pontuação média de 17,1% para as alunas (Dp = 9,84; n = 142) e 17,2 para os alunos (Dp = 9,37; n = 85). Nota-se que não existe diferença significativa no desempenho em relação ao sexo (*Teste de Mann-Whitney: U = 5939; p = 0,8381*), aparentemente óbvio, esse resultado diverge de algumas pesquisas na literatura, como será tratado mais adiante. O equilíbrio de desempenho em relação ao sexo dos participantes pode estar associado ao maior envolvimento das alunas ao responderem o FCI, tanto no maior número de participantes do sexo feminino (62,6%), quanto na própria disposição em responder ao teste. Este engajamento maior pode ter afetado positivamente o desempenho das alunas, se equiparando ao desempenho dos alunos (Rainey *et al.*, 2018).

A literatura nacional mostra resultados divergentes. Fernandes (2011) e Detoni (2021) observaram uma diferença estatisticamente significativa entre os escores, em que os meninos tiveram uma pontuação superior.

Quando observamos as pesquisas internacionais, essa disparidade de desempenho foi verificada por Madsen, McKagan e Sayre (2013), em que observaram uma diferença de 12% (pré-teste) a mais na pontuação para os homens. Esta realidade foi analisada de forma mais abrangente por Mears (2019, p. 4, tradução nossa), que observou a disparidade de gênero no FCI “em diferentes níveis de ensino em física, desde o ensino secundário obrigatório até aos alunos do primeiro ano de licenciatura, e a magnitude dos efeitos é grande em todos os casos”. Apesar de muitos estudos verificarem esta disparidade de gênero em relação ao FCI, existem muitas questões em aberto, como: a influência das características do professor, do nível de interatividade do método de ensino e da dinâmica nas interações e atitudes dos estudantes (Madsen, McKagan e Sayre, 2013).

A Concentração das respostas

A Figura 3, a seguir, sintetiza os resultados da análise de concentração.

	Q1	Q2*	Q3	Q4**	Q5***	Q6***	Q7**	Q8***	Q9***	Q10***	Q11***	Q12***	Q13***	Q14**	Q15***
Escore	--	0,12	--	0,15	0,28	0,42	0,32	0,21	0,27	0,15	0,11	0,35	0,05	0,20	0,12
Fator C	--	0,14	--	0,15	0,09	0,17	0,06	0,03	0,08	0,17	0,12	0,11	0,12	0,12	0,19
Modelos	--	BB	--	BB	BB	MB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB
Fator Γ	--	0,15	--	0,19	0,13	0,18	0,05	0,04	0,13	0,22	0,13	0,13	0,07	0,18	0,23
	Q16	Q17***	Q18**	Q19***	Q20**	Q21**	Q22**	Q23**	Q24**	Q25**	Q26*	Q27	Q28*	Q29	Q30**
Escore	--	0,09	0,15	0,20	0,13	0,12	0,14	0,19	0,21	0,13	0,08	--	0,14	--	0,21
Fator C	--	0,10	0,06	0,12	0,11	0,05	0,14	0,11	0,11	0,08	0,07	--	0,11	--	0,07
Modelos	--	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	--	BB	--	BB
Fator Γ	--	0,09	0,07	0,19	0,13	0,04	0,17	0,16	0,17	0,09	0,04	--	0,13	--	0,12

Figura 3: Resultados da Análise de Concentração. As questões Q1, Q3, Q16, Q27 e Q29 pertencem ao FCI, porém não são utilizadas no HFCI1/HFCI2. (*) Questões que pertencem a ambos os testes (HFCI1 e HFCI2). (**) Questões pertencentes apenas ao HFCI2. (***) Questões pertencentes apenas ao HFCI1.

Somando-se os dados dos dois testes, obtém-se uma compreensão de como estão distribuídas as respostas dos alunos nas questões, assim como seus modelos mentais associados. Dessa forma, conforme explicitado na Figura 3, foi constatado que o tipo BB é representativo nos alunos (96% das questões analisadas), ou seja, os alunos não tiveram, de forma consistente, um padrão de modelos para suas respostas. Isto indica que suas concepções podem estar associadas a modelos mentais confusos, incompletos, instáveis, conforme sinalizado por Moreira (1996).

A predominância do tipo BB também foi verificado por Fernandes (2011) nas turmas de primeiro ano do Ensino Médio, porém, de forma menos preponderante que os resultados aqui apresentados. Comparando-se o mesmo quantitativo de questões do FCI utilizadas, a referida autora encontrou 60% para as turmas de 2008 e 64% para turmas de 2009.

É esperado que os modelos mentais dos alunos evoluam com o processo de escolarização, ou seja, que o percentual do tipo BB seja reduzindo à medida que os alunos avancem em seu nível acadêmico (Moreira, 1996). Este resultado foi verificado por Fernandes (2011), que encontrou para o segundo ano do Ensino Médio, 40% e 28% para as turmas de 2008 e 2009, respectivamente. E para o terceiro ano do Ensino Médio 0% e 4%. Estes últimos percentuais foram bastante semelhantes aos verificados por Bao e Redish (2001) em turmas do primeiro semestre da graduação, sendo encontrado 8% do tipo BB nas respostas dos alunos.

Em relação a concentração das respostas incorretas (Γ), verificou-se baixa concentração em 96% das questões aplicadas, indicando que os alunos não apresentam concepções não-newtonianas de forma organizada, consistente, ou seja, suas concepções estão distribuídas de maneira aleatória, refletindo provavelmente a realidade de seus modelos mentais. Nesse sentido, reforça-se a importância do cálculo do fator Γ , pois “as informações sobre como a maioria dos alunos erra uma questão não podem ser analisadas usando apenas as pontuações. Esta informação pode ser uma pista importante para os instrutores para ajudá-los a melhorar seu ensino” (Bao; Redish, 2001, p. 53).

Acrescenta-se ainda que o tipo BB (não-modelo) foi predominante mesmo quando se distinguiu o sexo dos alunos, porém sendo ligeiramente maior nos alunos do sexo feminino (96%) em relação aos alunos do sexo masculino (80%). O resultado da comparação entre as escolas, apresenta o tipo BB em 96% nas questões dos respondentes da Escola A e em 88% da Escola B. Novamente, uma prevalência que mostra que a maioria dos alunos não apresentaram um modelo dominante, seja correto ou incorreto, fato que pode indicar uma escolha aleatória em suas respostas ou bastante confusão e instabilidade de seus modelos mentais.

Apesar dos alunos não apresentarem modelos mentais (sejam corretos ou não) consistentes, foi possível verificar as concepções não-newtonianas mais frequentes nas respostas dos alunos. Isso porque, para cada questão do FCI estão associados distratores que retratam essas concepções.

A Taxonomia das Concepções não-newtonianas

Dando continuidade às análises aqui propostas, foram verificadas as concepções não-newtonianas dominantes, seguindo-se a taxonomia proposta por Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi (2017). A Tabela 5 a seguir mostra essas concepções dominantes, assim como os fatores a elas associados (Eaton, 2021).

Concepções não-newtonianas dominantes	%	Fatores
Posição-velocidade não discriminada (K1)	86,4	F2
Ímpetus fornecido pelo 'golpe' (I1)	82,5	F4
Massa faz as coisas pararem (R1)	78,7	F2
Movimento implica força ativa (AF2)	78,5	F4
Objetos mais pesados caem mais rápido (G3)	73,7	F2
Ímpetus circular (I5)	62,3	F1 / F4
Dissipação do Ímpetus (I3)	55,8	F1 / F2 / F4
Movimento quando a força supera a resistência (R2)	54,7	F5

Tabela 5: Concepções não-newtonianas dominantes e fatores associados.

Observa-se na Tabela 5, oito concepções não-newtonianas, das quais predomina a ideia da existência do *ímpetus* para a ocorrência ou cessão do movimento (I1, I3 e I5). Tal resultado também foi verificado por outros autores, em diferentes níveis de escolaridade, revelando ainda que esta concepção é resistente mesmo após a instrução (Brewer, Bruun e Bearden,

2016; Eaton, Vavruska e Willoughby, 2019; Eaton e Willoughby, 2018; Scott e Schumayer, 2017). De acordo com Scott e Schumayer (2017, p. 7), esta concepção reforça "a crença que a causa do movimento de um objeto se deve a alguma propriedade inerente ao próprio objeto, ao contrário de ser uma interação entre objetos". Tal crença é associada a ideia de que a força causadora do movimento, sempre precisa estar na direção do movimento. Fato que pode estar relacionado a alta dominância da concepção I1 (84,5%).

Dentre as demais concepções, duas estão associadas a equívocos em relação a resistência quando um objeto está em movimento. Isso porque os alunos têm a crença que os objetos tendem a parar, apenas devido a massa que possuem (R1), algo que pode estar associado a ideia aristotélica dos objetos tenderem ao seu lugar natural (Rezende e Barros, 2011). Ademais, foi verificado também que os alunos têm dificuldade em conceber o movimento de um objeto cuja força causal seja igual a força resistiva (R2), apenas mantendo uma ideia oposta. Nota-se ainda, a dominância forte (86,4%) em relação a dificuldade de discriminar velocidade de posição (K1). Essas ideias também foram identificadas com alta frequência mesmo após a instrução (Bani-Salameh, Nuseirat e Alkofahi, 2017; Martín-Blas, Seidel e Serrano-Fernández, 2010).

Outro resultado dominante é a concepção não-newtoniana de que o movimento implica força ativa (84,8%), crença também de origem aristotélica sobre o movimento (Rezende & Barros, 2011). Esta concepção juntamente com a de *ímpetus*, são as mais dominantes entre os alunos de acordo com a literatura (Eaton, Vavruska e Willoughby, 2019; Scott e Schumayer, 2017). Por fim, uma importante concepção verificada é que os objetos mais pesados caem mais rápidos (G3), sendo esta uma concepção presente principalmente para alunos com baixo desempenho (< 30%) no FCI, que é o caso desta amostra e conforme relatado também por Poutot e Blandin (2015). Tal concepção, também aristotélica, foi combatida por Galileu através de um experimento de pensamento, em que "realizou inferências lógicas e estabeleceu uma nova teoria, a saber, a de que todos os objetos caem na mesma velocidade na ausência da resistência do ar" (Beiral e Sousa, 2022, p. 15).

As concepções não-newtonianas com altas percentagens são relativas aos fatores F2 e F4. O fator F2 corresponde às concepções que estão relacionadas a 2ª lei de Newton e a seus aspectos cinemáticos, como velocidade e aceleração. Verificando todas as concepções contidas nesse fator (K1, R1, G3 e I3), é encontrada uma dominância média de 73,5%. Fazendo o mesmo para as concepções contidas no fator F4 (AF2, I1, I3 e I5), caracterizado pela identificação das forças que atuam em um corpo, o resultado médio foi de 69,5% de dominância. Tal resultado está em concordância com o verificado por Fernandes (2011), ao constatar forte presença destes fatores também em alunos com baixo desempenho e com predominância do tipo BB.

Conforme destacam Eaton e Willoughby (2020, p. 10, tradução nossa), "o FCI pode ser pensado principalmente como uma avaliação unidimensional com subescalas que medem conceitos como as três leis de Newton, identificação de forças, superposição de forças e cinemática".

Porém, de acordo com os referidos autores, quando se faz uso do FCI para verificar a compreensão da 2ª lei de Newton, é preciso levar em consideração os aspectos da 1ª lei e da Cinemática. Mas, a 3ª lei de Newton e o fator da identificação de forças, podem ser compreendidos de forma independente dos outros fatores. Assim, ao se pensar em determinado tratamento para as concepções relativas ao fator F2, é preciso que no tratamento proposto leve-se em consideração aspectos relativos ao fator F1. Já o fator F4, pode ser tratado de forma independente.

Conclusões e implicações

Este trabalho buscou fazer uso da Análise de Concentração para identificar e compreender de forma aprofundada as concepções não-newtonianas dos alunos em relação aos conceitos de Força e Movimento. Assim, com o objetivo de responder às questões de pesquisa apresentadas na Introdução, foram verificadas as concepções que são mais frequentes nos alunos do 1º ano do Ensino Médio, buscando interpretá-las a luz dos modelos mentais e compreendendo como estão organizados e distribuídos os modelos dos alunos.

Os alunos que compuseram a amostra deste estudo são oriundos de escola pública, pertencentes a 1ª série do Ensino Médio, com maioria do sexo feminino (62,6%) e idade média em torno de 15 anos. Os resultados mostraram que esses alunos, em sua maioria, não fazem uso do laboratório de informática da escola, mesmo considerando relevante o uso de ferramentas tecnológicas. Além disso, tais alunos relataram ter pouco conhecimento das leis de Newton, sendo que, dentre os que afirmaram conhecê-las, a maioria não as percebe em seu dia a dia. Fato que pode estar associado a um ensino descontextualizado.

A primeira questão de pesquisa desta investigação tratou de saber quais concepções não-newtonianas são mais frequentes nos alunos. A partir da aplicação dos testes (HFCI1/HFCI2), foram verificadas em nossa amostra oito concepções dominantes (Tabela 5) das trinta possíveis para o FCI, conforme sua taxonomia, a saber: Posição-velocidade não discriminada (86,4%), Movimento implica força ativa (84,8%), *Ímpetus* fornecido pelo 'golpe' (84,5%), Massa faz as coisas pararem (78,7%), Objetos mais pesados caem mais rápido (73,8%), Movimento quando a força supera a resistência (59,2%), Dissipação do *Ímpetus* (55,2%) e *Ímpetus* circular (53,3%).

Na identificação dessas concepções, notou-se uma predominância na ideia de *ímpetus*, ou seja, que o movimento é devido a existência de algo associado ao corpo, em que as alterações no movimento se devem a dissipação ou término desse *ímpetus*. Esta crença foi evidente em vários estudos e se mostra resistente nos alunos, mesmo após o processo de instrução. Outra crença é a não concepção do movimento quando a força resistiva se iguala a força ativa, em que se verifica a necessidade de uma ação constante da força para existir movimento. Por fim, outra crença verificada é que objetos mais pesados chegam primeiro ao solo numa situação que cai junto a um objeto mais leve. Tais concepções dominantes estão agrupadas, em sua maioria a dois fatores, um associado a 2ª lei de

Newton com seus aspectos cinemáticos e outro com a identificação das forças que agem em um corpo.

De forma geral, o resultado do FCI mostra um acerto de 29%, abaixo do considerado minimamente ideal do limiar de entrada ao pensamento newtoniano, conforme os criadores do FCI. Tal resultado está próximo ao verificado em estudos internacionais com alunos do ensino médio e conforme esperado (com exceção de um estudo), inferior a alunos universitários. Quando comparado com a literatura nacional, não foi verificado consenso em relação ao desempenho dos alunos a nível médio. Outro resultado encontrado é que não foi verificada diferença significativa no desempenho dos alunos das duas escolas participantes do estudo. Fato que pode indicar que estes alunos apresentam, em média, modelos mentais semelhantes em relação aos conceitos de Força e Movimento. Este comportamento também foi notado em relação ao sexo, algo que diverge do que geralmente é observado na literatura, em que os alunos do sexo masculino apresentam melhor desempenho no FCI.

Em relação a segunda questão de pesquisa, que tratou em como interpretar as concepções dos alunos a luz de seus modelos mentais, foi verificado, primeiramente, que essas concepções existem e quais foram as dominantes na amostra. A partir de então, defende-se que tais concepções refletem, de fato, o conjunto de ideias dos alunos para interpretar e compreenderam as situações diversas a que foram expostos, situações essas representadas nas questões do teste. Esta premissa encontra respaldo na teoria dos modelos mentais proposta por Johnson-Laird, em que para compreender determinada situação proposta ou fenômeno, os alunos utilizam seu "modelo de trabalho". Isso porque os alunos não acessam ou observam diretamente o mundo que os cerca, mas sim uma representação dele, de acordo com seus modelos mentais. Assim, quando buscamos conhecer as concepções dos alunos em relação aos conceitos de Força e Movimento, estamos obtendo um reflexo de seus modelos mentais para esses conceitos.

Em relação a terceira questão de pesquisa, que buscou investigar como tais modelos estão organizados e distribuídos, os resultados revelaram que, em relação a consistência das respostas dos alunos, ocorreu a predominância do tipo BB, que indica ausência de padronização em suas respostas, ou seja, eles não apresentam um modelo dominante (correto ou incorreto), fato que pode indicar que suas concepções se associam a modelos mentais não estáveis, incompletos, confusos, etc. Esse resultado foi observado independente da escola em que os testes foram aplicados ou do sexo dos alunos. Tal comportamento também foi verificado para alunos do 1º ano do Ensino Médio no Brasil, porém com uma menor intensidade em relação a amostra deste estudo. Os resultados demonstram que à medida que o aluno avança em sua vida acadêmica o tipo BB apresenta menor percentagem, o que mostra um aprimoramento dos modelos mentais por parte dos alunos. Quando a análise focou apenas as respostas incorretas, também não foi observada consistência no padrão de respostas dos alunos, sendo verificados valores baixos para o fator Γ .

Pelos resultados obtidos, ficaram evidenciadas as características em relação às concepções não-newtonianas da amostra aqui investigada. É

possível, assim, traçar estratégias metodológicas direcionadas às concepções analisadas contribuindo para a transição de noções iniciais e não-newtonianas para um entendimento aprofundado e alinhado com os princípios científicos. Nesse sentido, o passo seguinte nesta investigação é selecionar uma Simulação Computacional que aborde os conteúdos referentes aos fatores F2 e F4, que foram os mais predominantes. A partir de tal tratamento, será possível avaliar em que medida as concepções foram afetadas ou impactadas por alunos que fizerem o uso da simulação em relação aos conteúdos das leis de Newton.

Outro aspecto relevante a ser considerado é que o desempenho discente não é dissociável de seu contexto social e estrutural. Embora esta investigação tenha focado na dimensão cognitiva, fatores latentes como o nível socioeconômico dos estudantes e as condições de infraestrutura escolar — para além da existência de laboratórios, abrangendo a qualidade geral dos espaços pedagógicos — podem exercer influência significativa na apropriação do conhecimento científico. Dessa forma, sugere-se que pesquisas futuras incorporem tais variáveis, analisando possíveis associações entre indicadores socioeconômicos, condições materiais das escolas e a persistência de concepções alternativas, o que ofereceria uma visão mais sistêmica dos desafios no ensino de Física.

Agradecimentos

Agradecemos às Escolas participantes deste estudo por toda colaboração, aos alunos que responderam aos testes e aos professores (Cláudio Bispo e Magda Dias de Oliveira Santos) que cederam suas turmas e nos auxiliaram durante toda fase de coleta de dados.

Referências

Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. 1ª Ed. Lisboa-PT: Plátano Edições Técnicas.

Aviles, I. E. C., & Galembeck, E. (2017). Que é aprendizagem? Como ela acontece? Como facilitá-la? Um olhar das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel e aprendizagem multimídia de Richard Mayer. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 7(3), 01-19.

Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda.

Bani-Salameh, H., Nuseirat, M., & Alkofahi, K. A. (2017). Do first year college female and male students hold different misconceptions about force and motion. *IOSR Journal of Applied Physics*, 9(2), 14-18. DOI: <https://doi.org/10.9790/4861-0902021418>.

Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(2). DOI: <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>.

Bao, L., & Redish, E. F. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, 69(S1), S45-S53. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.1371253>.

Barbosa, L. H. (2021). Superación de dificultades en el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli con experimentos discrepantes. *Enseñanza de las*

Ciencias, 39(2), 143-162. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3237>.

Barroso, M. F., Rubini, G., & Silva, T. (2018). Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(4), e4402. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0059>.

Beiral, J. O., & de Sousa, C. E. B. (2022). O cenário das pesquisas sobre a utilização dos experimentos de pensamento no ensino de Física. *Experiências em Ensino de Ciências*, 17(1), 14-34.

Brasil (2023). Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. *Sinopse Estatística da Educação Básica 2023*. [online]. Brasília: Inep, 2024. Acesso: 10 de Maio de 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-basica>>.

Brewe, E., Bruun, J., & Bearden, I. G. (2016). Using module analysis for multiple choice responses: A new method applied to Force Concept Inventory data. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020131. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020131>.

Cetnar, A. J. *et al.* (2023). Introduction to concept inventories for medical physics education. *Journal of applied clinical medical physics*, 24(10), e14130. DOI: <https://doi.org/10.1002/acm2.14130>.

Detoni, H. dos R. (2021). Investigando a compreensão conceitual em física de alunos do ensino médio e o surgimento da "lacuna de gênero". *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210113. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0113>.

Eaton, P. (2021). Evidence of measurement invariance across gender for the Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010130. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010130>.

Eaton, P., Vavruska, K., & Willoughby, S. (2019). Exploring the preinstruction and postinstruction non-Newtonian world views as measured by the Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010123. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010123>.

Eaton, P., & Willoughby, S. (2020). Identifying a preinstruction to postinstruction factor model for the Force Concept Inventory within a multitrait item response theory framework. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010106. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010106>.

Eaton, P., & Willoughby, S. D. (2018). Confirmatory factor analysis applied to the Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010124. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010124>.

Fernandes, S. A. (2011). *Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre mecânica de estudantes de ensino médio*. 2011. 212 f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais - MG.

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education*. 8ª Ed. New York: McGraw-Hill.

Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 2. reimpr. 6. ed. – São Paulo: Atlas.

Gutiérrez, O. A., et al. (2022). Assisted Discovery Based Learning of the Electric Force with Scaffolding for Novice Students. *Education Science*, 12(4), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci12040269>.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.18809>.

Han, J., Bao, L., Chen, L., Cai, T., Pi, Y., Zhou, S., Tu, Y., & Koenig, K. (2015). Dividing the force concept inventory into two equivalent half-length tests. *Physical Review Physics Education Research*, 11(1), 1-9. DOI: <https://doi.org/gfrjjs>

Han, J., Koenig, K., Cui, L., Fritchman, J., Li, D., Sun, W., Fu, Z., & Bao, L. (2016). Experimental validation of the half-length force concept inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 1-7. DOI: <https://doi.org/j4dq>

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2343497>.

Krey, I., et al. (1997). *Identificação de modelos mentais em alunos de Física Geral, na área de Mecânica*. In: XII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: UFMG/CECIMIG/FAE, p. 397-408.

Madsen, A., McKagan, S. B., & Sayre, E. C. (2013). Gender gap on concept inventories in physics: What is consistent, what is inconsistent, and what factors influence the gap? *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(2), 020121. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020121>.

Martín-Blas, T., Seidel, L., & Serrano-Fernández, A. (2010). Enhancing Force Concept Inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics. *European Journal of Engineering Education*, 35(6), 597–606. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2010.497552>.

Mears, M. (2019). Gender differences in the Force Concept Inventory for different educational levels in the United Kingdom. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020135. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020135>.

Marcom, G. S., & Megid Neto, J. (2013). *Pesquisas sobre concepções prévias no ensino de Física: uma revisão de periódicos brasileiros (1980-2011)*. Anais do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF).

Mateus, P. G.; & Ferreira, L. H. (2021). Investigação da aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico por meio de modelos mentais expressos por licenciandos em Química. *Revista Electrónica de Enseñanza*

de las Ciencias, 20(1), 73-98. Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen20/REEC_20_1_4_ex1683_294.pdf.

Moreira, M. A. (2021). Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20200451. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>.

Moreira, M. A. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232.

Mortimer, E. F., & Scott, P. (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 283-306. Recuperado de: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/562>.

Oliveira, D. M. et al. (2021). Modelos de representações mentais de estudantes do ensino fundamental sobre temas de ciências. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 196-211. Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen22/REEC_22_2_1_ex1902_675.pdf

Planinic, M., Ivanjek, L., & Susac, A. (2010). Rasch model based analysis of the Force Concept Inventory. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(1), 010103. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.010103>.

Poutot, G., & Blandin, B. (2015). Exploration of Students' Misconceptions in Mechanics using the FCI. *American Journal of Educational Research*, 3(2), 116-120. DOI: <https://doi.org/10.12691/education-3-2-2>.

Quibao, M. P., Silva, A. C., Almeida, N. S. de, Silva, R. M. A. A., Muniz, S. R., & Paiva, F. F. (2019). Investigando a compreensão conceitual em física de alunos de graduação em cursos de ciências, engenharias e matemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(2). DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0258>.

Rainey, K., Dancy, M., Mickelson, R., Stearns, E. & Moller, S. (2018). Race and gender differences in how sense of belonging influences decisions to major in STEM. *International Journal of STEM Education*, 5(10), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0115-6>.

Rezende, F., & Barros, S. de S. (2011). Teoria aristotélica, teoria do ímpetus ou teoria nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de física em mecânica básica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 1-14. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4183>.

Roleda, R. C. (2002). Conceptual understanding of forces among physics majors. *The Manila Journal of Science*, 4(1), 20-35.

Santos, R. J. dos, & Sasaki, D. G. G. (2015). Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(3), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731955>.

Sasseron, L. H., & de Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 16(1), 59-77. Recuperado de: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>

Scott, T. F., & Schumayer, D. (2017). Conceptual coherence of non-Newtonian worldviews in Force Concept Inventory data. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010126. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010126>.

Silva, I. P. da, Nunes, E. T., & Mercado, L. P. L. (2016). Experimentos virtuais no estágio supervisionado de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(3), 1115-1144. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1115>.

Uibson, J., & Frei, F. (2025). Uso da Análise de Concentração na pesquisa quantitativa em ensino. *REAMEC - Rede Amazônica De Educação Em Ciências E Matemática*, 13, e25052. DOI: <https://doi.org/10.26571/reamec.v13.18790>.

Uibson, J., & Frei, F. (2023). Investigação dos impactos nas concepções não-newtonianas de licenciandos e egressos de Física em relação aos conceitos de Força e Movimento. *Ciência & Educação (Bauru)*, 29, e23017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320230017>.

Wheatley, C., Wells, J., Pritchard, D. E., & Stewart, J. (2022). Comparing conceptual understanding across institutions with module analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 020132. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020132>.