

CRITÉRIOS EPISTEMOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO COM MAPAS CONCEITUAIS EM FÍSICA: ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA E PROPOSTA CONCEITUAL

DOI: 10.5281/zenodo.18779170

Agostinho Ferreira¹

Fabília Nunes de Jesus²

Gisele Cristina Gonçalves³

RESUMO

A avaliação da compreensão conceitual em Física por meio de mapas conceituais frequentemente privilegia métricas estruturais em detrimento de dimensões epistemológicas centrais da disciplina. Este artigo apresenta análise teórico-crítica de corpus estrategicamente selecionado de 23 estudos empíricos (2000-2024) representativos de diferentes tradições metodológicas consolidadas na área. A partir de protocolo analítico conceitualmente situado, com confiabilidade inter-avaliadores verificada ($\kappa = 0,71$, concordância substancial), identificam-se cinco padrões inferenciais recorrentes que dissociam complexidade gráfica de compreensão física: invisibilidade de condições de aplicação dos modelos (87% dos estudos analisados), predominância de inferências estruturais (74%), fragilidade conceitual não problematizada (61%), justaposição não articulada de níveis

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

de descrição (78%) e relativização de inconsistências (48%). Propõem-se quatro critérios interpretativos fundamentados epistemologicamente — explicitação de domínios de validade, integração matemático-conceitual, articulação entre níveis de descrição e reconhecimento de limites explicativos — destinados a orientar interpretações avaliativas mais coerentes com a natureza do conhecimento físico. Argumenta-se que validade avaliativa em Física depende de correspondência explícita entre o que instrumentos captam e o que se infere sobre compreensão estudantil.

Palavras-chave: Avaliação Educacional. Mapas Conceituais. Ensino de Física. Epistemologia.

ABSTRACT

Assessment of conceptual understanding in Physics through concept maps frequently privileges structural metrics over core epistemological dimensions of the discipline. This paper presents a theoretical-critical analysis of a strategically selected corpus of 23 empirical studies (2000-2024) representing distinct consolidated methodological traditions in the field. Through a conceptually situated analytical protocol with verified inter-rater reliability ($\kappa = 0.71$, substantial agreement), five recurrent inferential patterns are identified that dissociate graphical complexity from physical understanding: invisibility of model applicability conditions (87% of analyzed studies), predominance of structural inferences (74%), non-problematized conceptual fragility (61%), non-articulated juxtaposition of description levels (78%), and relativization of inconsistencies (48%). Four epistemologically grounded interpretive criteria are proposed — explicitation of validity domains, mathematical-conceptual integration,

articulation between levels of description, and recognition of explanatory limits — intended to guide evaluative interpretations more coherent with the nature of physical knowledge. It is argued that assessment validity in Physics depends on explicit correspondence between what instruments capture and what is inferred about student understanding.

Keywords: Educational Assessment. Concept Maps. Physics Education. Epistemology.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da compreensão conceitual em Física constitui desafio persistente no campo do Ensino de Ciências. Instrumentos tradicionais captam parcelas restritas da aprendizagem, frequentemente dissociadas da organização conceitual que sustenta o conhecimento físico. Nesse cenário, mapas conceituais emergiram como alternativa avaliativa, sob o argumento de tornarem visível a estrutura relacional do conhecimento dos estudantes (Novak & Gowin, 1984).

Ao longo das últimas décadas, consolidou-se literatura extensa associando características estruturais dos mapas — número de conceitos, densidade de conexões, níveis hierárquicos — a níveis de compreensão, frequentemente sem explicitar a concepção de conhecimento físico que fundamenta tais inferências. Esse uso revela deslocamento problemático: discute-se intensamente como medir melhor, mas permanece secundária a questão fundamental sobre o que significa compreender Física.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

A Física caracteriza-se por conhecimento baseado em modelos idealizados, matematizados e válidos sob condições específicas (Giere, 2004; Nersessian, 2008). Compreendê-la envolve reconhecer domínios de aplicação, articular níveis de descrição e identificar limites explicativos dos modelos. Ignorar essas características implica assumir concepção genérica de conhecimento, insensível às especificidades disciplinares.

O objetivo central deste trabalho é examinar criticamente as inferências avaliativas produzidas a partir de mapas conceituais em corpus estrategicamente selecionado da literatura internacional em Ensino de Física. A partir de análise teórico-crítica com confiabilidade inter-avaliadores verificada, identificam-se padrões recorrentes nas interpretações realizadas e propõe-se conjunto de critérios analíticos epistemologicamente fundamentados destinados a orientar usos mais responsáveis dos mapas conceituais.

A seleção de 23 estudos empíricos publicados entre 2000 e 2024 não busca representatividade estatística, mas saturação conceitual: captura das principais tradições metodológicas e esquemas interpretativos consolidados no campo. Seguindo abordagem de amostragem teórica (Glaser & Strauss, 1967), priorizou-se diversidade metodológica (estudos quantitativos, qualitativos e mistos), amplitude de contextos educacionais (ensino médio e superior), representatividade de diferentes tradições de pesquisa (norte-americana, europeia, latino-americana) e influência acadêmica (artigos em periódicos de referência como *Physical Review Physics Education Research*, *International Journal of Science Education* e *Science Education*).

Este corpus permite identificar padrões inferenciais estruturantes que transcendem especificidades contextuais, revelando pressupostos teóricos implícitos recorrentes na área. A magnitude do corpus é intencional: análise intensiva orientada por operadores conceituais explícitos, em contraposição a revisões extensivas que priorizam cobertura quantitativa em detrimento de profundidade analítica.

A Seção 2 estabelece fundamentos epistemológicos que distinguem conhecimento físico de formas genéricas de conhecimento, articulando-os à discussão sobre validade inferencial em avaliação educacional e situando este trabalho em relação a revisões anteriores. A Seção 3 detalha protocolo metodológico de análise conceitualmente situada, incluindo procedimentos de confiabilidade. A Seção 4 apresenta cinco padrões inferenciais identificados no corpus. A Seção 5 discute implicações desses padrões e propõe quatro critérios interpretativos que operacionalizam dimensões epistemológicas da Física. A Seção 6 sintetiza contribuições e implicações para pesquisa e prática avaliativa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Conhecimento Físico Como Capacidade Interpretativa Modelar

O conhecimento físico distingue-se de formas puramente declarativas ou associativas de conhecimento por seu caráter modelar, matematizado e condicional. Compreender Física não equivale apenas a reconhecer conceitos ou estabelecer relações entre eles, mas envolve operar com modelos teóricos

que representam aspectos selecionados da realidade sob hipóteses específicas e regimes de validade definidos (Gieryn, 2004; Nersessian, 2008).

A compreensão em Física exige transitar entre níveis de descrição — fenômenos, modelos, representações matemáticas — e reconhecer condições sob as quais relações são explicativas. Tal articulação envolve múltiplas formas de representação — equações, gráficos, diagramas, linguagem verbal — cuja coordenação é constitutiva do entendimento físico (Duval, 2006; Kohl & Finkelstein, 2008).

Reduzir compreensão física à presença de conceitos ou densidade de conexões implica concepção empobrecida do conhecimento disciplinar. Relações relevantes em Física são vínculos regulados por princípios e hipóteses que delimitam alcance explicativo. Instrumentos avaliativos devem, portanto, dialogar com essas características estruturantes.

2.2. Validade Inferencial Como Problema Central da Avaliação

No campo da avaliação educacional, o conceito de validade tem sido progressivamente deslocado de uma preocupação exclusiva com propriedades técnicas do instrumento para análise mais ampla das inferências realizadas a partir de seus resultados. Segundo Messick (1989), validade diz respeito à integração entre evidências empíricas e argumentos teóricos que sustentam interpretações e usos dos dados avaliativos. Kane (2013) aprofunda essa perspectiva ao conceber avaliação como cadeia de inferências que deve ser explicitamente justificada.

Aplicada ao ensino de Física, essa concepção implica reconhecer que nenhum instrumento acessa a totalidade da compreensão. Cada procedimento ilumina dimensões específicas, deixando outras fora de alcance. A legitimidade avaliativa depende da correspondência entre o que o instrumento observa e o que se infere a partir disso. Quando essa correspondência não é explicitada, abrem-se extrapolações indevidas.

2.3. Mapas Conceituais: Potencialidades e Restrições Inferenciais

A adoção de mapas conceituais como instrumentos avaliativos frequentemente envolve métricas estruturais (número de conceitos, densidade de conexões, níveis hierárquicos) que tratam conhecimento como rede abstrata independente do conteúdo disciplinar. Mesmo abordagens semanticamente orientadas operam com critérios genéricos de "qualidade", pouco ancorados nas exigências epistemológicas da Física.

Como resultado, mapas conceituais podem avaliar predominantemente proficiência representacional — habilidade em construir mapas extensos ou formalmente complexos — em vez de aspectos centrais da compreensão física: reconhecimento de condições de aplicação, integração entre matemática e conceito, distinção entre níveis de descrição. Reconhecer essas restrições implica distinguir limitações inerentes aos mapas conceituais de limitações dos esquemas interpretativos aplicados sobre eles.

2.4. Lacunas nas Revisões Anteriores e Contribuição Original Deste Estudo

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

A literatura apresenta diversas revisões focadas em aspectos técnicos e metodológicos dos mapas conceituais. Rueda e Hernández (2010) realizaram síntese abrangente sobre instrumentos de avaliação conceitual em Física, identificando que mapas conceituais são frequentemente tratados como ferramentas neutras, com ênfase em validação psicométrica (confiabilidade, validade de construto) desvinculada de discussões epistemológicas sobre natureza do conhecimento físico.

Talanquer (2014), embora alerte genericamente para riscos de instrumentalização diagnóstica, não desenvolve análise detalhada de como padrões inferenciais recorrentes desconsideram dimensões epistemológicas específicas da Física: explicitação de condições de validade dos modelos, integração funcional entre formalismo matemático e significado conceitual, articulação hierárquica entre níveis fenomenológico e teórico-conceitual, reconhecimento de limites explicativos intrínsecos aos modelos.

Críticas ao estruturalismo cognitivo (Hammer, 2000) questionaram pressupostos sobre organização estável do conhecimento, mas não examinaram sistematicamente a correspondência entre esquemas interpretativos aplicados a mapas conceituais e características epistemológicas distintivas da Física.

Este trabalho diferencia-se das revisões anteriores em três aspectos centrais: (1) emprega operadores analíticos derivados explicitamente da epistemologia da Física, permitindo confrontar práticas avaliativas com exigências disciplinares específicas; (2) foca em padrões inferenciais — esquemas interpretativos mobilizados pelos autores ao construir conclusões sobre

compreensão estudantil; (3) apresenta dados de confiabilidade inter-avaliadores, permitindo julgar objetividade dos padrões identificados.

2.5. Síntese: Compreensão Física Como Capacidade Interpretativa Modelar

Integrando as perspectivas apresentadas, este trabalho conceitua compreensão física como **capacidade interpretativa modelar**: habilidade de operar com modelos teóricos reconhecendo (i) seu caráter idealizado e condicional, (ii) sua dependência de representações múltiplas coordenadas, (iii) seus domínios de validade, e (iv) seus limites intrínsecos. Essa conceituação fundamenta os critérios analíticos propostos na Seção 5, operacionalizando essas dimensões como lentes interpretativas para análise de mapas conceituais.

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de Revisão e Justificativa

Este trabalho adota revisão teórico-crítica (Grant & Booth, 2009), modalidade apropriada para examinar pressupostos conceituais subjacentes a práticas consolidadas em determinado campo. Diferentemente de revisões sistemáticas — que priorizam exaustividade e replicabilidade mecânica — revisões teórico-críticas enfatizam profundidade analítica, saturação conceitual e identificação de padrões estruturantes.

A escolha justifica-se pelo objetivo: não quantificar produções ou mapear tendências bibliométricas, mas revelar estruturas conceituais implícitas que

orientam interpretações avaliativas. Esse tipo de análise exige corpus estrategicamente selecionado que capture diversidade metodológica e teórica suficiente para evidenciar regularidades transcontextuais.

3.2. Critérios de Seleção do Corpus

O corpus analítico é composto por 23 estudos empíricos publicados entre 2000 e 2024 em periódicos internacionais de referência em Ensino de Física (Qualis A1-A2 ou equivalente internacional), selecionados segundo critérios de amostragem teórica (Glaser & Strauss, 1967).

Critérios de inclusão:

- Uso explícito de mapas conceituais como instrumento de avaliação (não apenas ferramenta pedagógica)
- Aplicação em contextos de Física nos níveis médio ou superior
- Apresentação de inferências interpretativas sobre compreensão conceitual estudantil
- Publicação em periódicos de alto impacto na área (Physical Review Physics Education Research, International Journal of Science Education, Science Education, Ciência & Educação, Investigações em Ensino de Ciências)
- Diversidade metodológica: estudos quantitativos, qualitativos e mistos

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

- Representatividade de diferentes tradições de pesquisa: norte-americana, europeia, latino-americana

Crítérios de exclusão:

- Estudos que utilizam mapas conceituais apenas para elicitación de conhecimento prévio sem análise avaliativa
- Trabalhos focados exclusivamente em desenvolvimento de software sem discussão conceitual
- Pesquisas em áreas que não Física (Química, Biologia, Matemática)
- Publicações em anais de eventos (privilegiou-se periódicos pela maior extensão e profundidade analítica)

3.3. Justificativa da Magnitude do Corpus

A seleção de 23 estudos não busca representatividade estatística da totalidade das publicações sobre mapas conceituais em Física, mas **saturação conceitual**: identificação de padrões inferenciais recorrentes que se mantêm estáveis ao longo de diferentes contextos, metodologias e períodos históricos. Seguindo lógica de amostragem teórica (Glaser & Strauss, 1967), após análise de 18 estudos, os cinco padrões inferenciais estavam claramente estabelecidos; os cinco estudos adicionais foram incluídos para verificar saturação, não identificando novos padrões conceituais substantivos.

Corpus de tamanho similar têm sido considerados adequados em revisões teórico-críticas quando o objetivo é análise intensiva orientada por

operadores conceituais explícitos (Grant & Booth, 2009). A magnitude reduzida permite exame detalhado de cada inferência avaliativa, confrontando-a com dimensões epistemológicas estabelecidas na Seção 2 — procedimento inviável em revisões extensivas de centenas de estudos.

Estratégia de busca e seleção:

A busca foi realizada nas bases Scopus, Web of Science e SciELO, utilizando combinações booleanas: ("concept map" OR "conceptual map") AND ("physics education" OR "teaching physics") AND ("assessment" OR "evaluation"), período 2000-2024, idiomas inglês/espanhol/português.

A busca inicial resultou em 187 artigos. Após aplicação dos critérios de exclusão (leitura de títulos e resumos), restaram 64 artigos elegíveis. Destes, 23 foram selecionados por representarem diferentes combinações de: (a) abordagens metodológicas, (b) contextos educacionais, (c) subáreas da Física e (d) tradições de pesquisa. A lista completa dos estudos analisados encontra-se no Apêndice A.

3.4. Unidade de Análise e Protocolo Analítico

A unidade de análise foi a **inferência avaliativa**: interpretação construída pelos autores a partir dos mapas para justificar conclusões sobre aprendizagem. A análise seguiu protocolo em quatro etapas (Quadro 1).

Quadro 1 — Protocolo operacional de análise

Etapa	Procedimento
-------	--------------

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

1. Identificação de inferências avaliativas	Critério de seleção: Passagens textuais sobre "nível de compreensão conceitual", "profundidade da aprendizagem"... Registro: Citação direta + localização no texto
2. Caracterização dos fundamentos inferenciais	Identificação de critérios mobilizados (explícita ou implicitamente). Classificação: estrutural / semântica / híbrida. Registro de métricas declaradas
3. Confronto com dimensões	Para cada inferência, análise de presença/ausência de: (a) Condições de validade dos modelos; (b) Integração conceitos-formalismo matemático; (c) Articulação entre níveis fenômeno-modelo-formalismo; (d) Explicitação de limites explicativos
4. Identificação de padrões recorrentes	Agrupamento por regularidade (≥ 5 estudos do corpus)

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.5. Confiabilidade Inter-avaliadores

Para assegurar objetividade analítica, os 23 estudos foram analisados independentemente por dois pesquisadores com formação em Física e Ensino de Ciências. O protocolo de confiabilidade envolveu:

Etapa 1 - Calibração inicial: Análise conjunta de 3 estudos-piloto (não incluídos no corpus final) para alinhar compreensão dos operadores conceituais.

Etapa 2 - Codificação independente: Cada avaliador classificou os 23 estudos segundo presença/ausência dos cinco padrões inferenciais identificados na Etapa 4 do protocolo.

Etapa 3 - Cálculo de concordância: Utilizou-se o coeficiente kappa de Cohen para medir concordância além do acaso. Valores foram calculados para cada um dos cinco padrões e para a classificação global.

Resultados de confiabilidade:

Tabela 1 — Concordância inter-avaliadores por padrão inferencial

Padrão	Concordância observada	Kappa de Cohen	Interpretação

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Padrão 1 (Complexidade estrutural)	91%	0,78	Substan cial
Padrão 2 (Fragilidade conceitual)	87%	0,68	Substan cial
Padrão 3 (Invisibilidade de condições)	96%	0,89	Quase perfeita
Padrão 4 (Justaposição de níveis)	83%	0,62	Substan cial
Padrão 5 (Relativização de inconsistências)	78%	0,54	Moderada
Classificação global	87%	0,71	Substan cial

Nota: Interpretação segundo Landis & Koch (1977): 0,41-0,60 = moderada; 0,61-0,80 = substancial; 0,81-1,00 = quase perfeita.

Etapa 4 - Resolução de discordâncias: Os 3 casos de discordância (13%) foram discutidos até consenso. Discordâncias concentraram-se no Padrão 5 (relativização de inconsistências), que envolve julgamento interpretativo mais complexo sobre intenção autoral.

3.6. Limitações Metodológicas Reconhecidas

Esta pesquisa assume explicitamente seus limites:

1. **Não-exaustividade:** O corpus não pretende representar estatisticamente a totalidade das publicações sobre mapas conceituais em Física.
2. **Dependência de julgamento especializado:** Análise qualitativa orientada por operadores conceituais requer expertise disciplinar, não sendo replicável mecanicamente.
3. **Ênfase em literatura anglófona:** Embora inclua produções latino-americanas, predominam estudos publicados em inglês em periódicos de alto impacto.
4. **Foco em inferências explícitas:** Pressupostos implícitos não verbalizados pelos autores podem não ter sido capturados.

Essas limitações não comprometem a validade do estudo, mas delimitam seu alcance: trata-se de interpretação fundamentada sobre padrões inferenciais recorrentes em corpus estrategicamente selecionado, não de mapeamento bibliométrico exaustivo.

4. RESULTADOS: PADRÕES INFERENCIAIS IDENTIFICADOS NO CORPUS

Os resultados decorrem da aplicação sistemática do protocolo analítico aos 23 estudos selecionados, tendo como unidade as inferências avaliativas construídas a partir dos mapas conceituais. Os padrões identificados revelam

regularidades na forma como compreensão em Física é concebida e interpretada pelos pesquisadores nos estudos analisados.

4.1. Distribuição dos Padrões Inferenciais no Corpus

A Tabela 2 apresenta distribuição dos estudos segundo padrões identificados, evidenciando recorrência de cada configuração interpretativa no corpus analisado.

Tabela 2 — Distribuição dos estudos segundo padrões inferenciais identificados

Padrão inferencial identificado	N estudo s	Propor ção
Padrão 1: Complexidade estrutural como proxy de compreensão	17	74%
Padrão 2: Fragilidade conceitual não problematizada	14	61%
Padrão 3: Invisibilidade de condições de aplicação	20	87%
Padrão 4: Justaposição não articulada de níveis	18	78%

Padrão 5: Relativização de inconsistências conceituais	11	48%
--	----	-----

Nota: Um mesmo estudo pode apresentar múltiplos padrões. Estudos representativos de cada padrão são identificados no Apêndice A.

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.2. Padrão 1: Predominância de Inferências Baseadas em Complexidade Estrutural (74% do Corpus)

O padrão mais recorrente observado (presente em 17 dos 23 estudos analisados) é associação direta entre complexidade estrutural do mapa e nível de compreensão conceitual. Mapas com maior número de conceitos, maior densidade de conexões ou maior profundidade hierárquica são interpretados como evidência de aprendizagem mais avançada, frequentemente sem justificativa teórica que relacione tais características às dimensões constitutivas do conhecimento físico estabelecidas na Seção 2.

Exemplo representativo: Em estudo sobre Mecânica Newtoniana com estudantes universitários, os autores concluem que "estudantes do grupo experimental demonstraram compreensão superior, evidenciada por mapas com média de 23 conceitos contra 15 do grupo controle" (Estudo 07, Apêndice A). A análise detalhada das proposições apresentadas no artigo revela, contudo, que mapas estruturalmente densos frequentemente exibem conexões redundantes ("*força está relacionada a movimento*"; "*movimento depende de força*") ou proposições semanticamente vagas.

Análise das proposições revela que complexidade gráfica e consistência conceitual não caminham necessariamente juntas no corpus examinado. Mapas estruturalmente densos frequentemente apresentam relações circulares pouco informativas. Ainda assim, tendem a ser avaliados positivamente nos estudos analisados, enquanto mapas mais simples, porém conceitualmente precisos, são por vezes subvalorizados.

Este padrão sugere que, no corpus analisado, estrutura do mapa tem sido tratada como fim em si mesma, não como meio para tornar visível organização conceitual do conhecimento físico. A inferência "mais conexões implicam melhor compreensão" aparece como pressuposto amplamente compartilhado, raramente problematizado.

4.3. Padrão 2: Fragilidade Conceitual das Proposições Não Problematizada (61% do Corpus)

Segundo padrão recorrente (identificado em 14 dos 23 estudos) diz respeito à natureza das proposições utilizadas nos mapas. Embora muitos estudos analisados afirmem avaliar "qualidade" das ligações, essa qualidade é definida genericamente, sem critérios derivados da Física.

Exemplo representativo: Em investigação sobre Termodinâmica, mapa estudantil apresenta proposição "*Temperatura está relacionada a energia interna*". Os pesquisadores classificam essa ligação como "adequada" por estabelecer conexão entre conceitos centrais (Estudo 12, Apêndice A). Contudo, a proposição não especifica a natureza funcional da relação

(proporcionalidade para gases ideais monoatômicos, dependência mais complexa para gases reais), nem as condições sob as quais é válida.

Proposições como "está relacionado a" ou "depende de" aparecem frequentemente nos mapas analisados pelos estudos, sem especificação do tipo de relação física. Grandezas vetoriais são conectadas a escalares sem distinção conceitual; leis aparecem dissociadas de hipóteses; relações funcionais são apresentadas como associações qualitativas.

Isso evidencia, no corpus examinado, ausência de critérios que distingam relações fisicamente relevantes de conexões meramente associativas. Inferências avaliativas dos estudos analisados acabam atribuindo o mesmo peso interpretativo a proposições de naturezas conceituais muito distintas.

4.4. Padrão 3: Invisibilidade das Condições de Aplicação dos Modelos (87% do Corpus)

Padrão mais recorrente do corpus (identificado em 20 dos 23 estudos): ausência ou presença marginal de condições de aplicação dos modelos físicos representados nos mapas analisados. Conceitos e leis são tratados como universais, desprovidos de hipóteses de validade, regimes de aproximação ou limites explicativos.

Exemplo representativo: Em estudo sobre Eletromagnetismo, mapa estudantil conecta "Campo elétrico" → "Lei de Coulomb" → "Força elétrica" sem mencionar condições de aplicabilidade (cargas pontuais, distribuição estática). Os pesquisadores avaliam o mapa como

"conceitualmente adequado" por incluir lei fundamental e estabelecer relações causais corretas (Estudo 18, Apêndice A).

Quando elementos desse tipo aparecem nos mapas examinados pelos estudos — como referência à ausência de atrito, pequenas amplitudes ou campos uniformes — tendem a ocupar posições periféricas, sem desempenhar papel estruturante na organização conceitual. Raramente essas condições são integradas de modo a orientar significado das relações centrais apresentadas.

Considerando que Física se constrói a partir de modelos idealizados e condicionais, essa invisibilidade não pode ser interpretada apenas como limitação gráfica dos mapas. Análise do corpus revela concepção implícita de compreensão que dissocia leis e modelos de seus contextos de validade, sem que isso seja problematizado nas interpretações avaliativas dos estudos examinados.

4.5. Padrão 4: Justaposição Não Articulada de Níveis de Descrição (78% do Corpus)

Quarto padrão identificado (presente em 18 dos 23 estudos) refere-se à coexistência pouco articulada de diferentes níveis de descrição nos mapas analisados pelos estudos. Conceitos associados a fenômenos observáveis, modelos teóricos e formalismos matemáticos aparecem frequentemente no mesmo mapa, mas sem indicação clara das relações explicativas entre esses níveis.

Exemplo representativo: Em investigação sobre Ótica, mapa estudantil inclui simultaneamente "reflexão da luz" (fenômeno), "princípio de Fermat"

(modelo teórico) e equações de Fresnel (formalismo matemático), mas não explicita como esses níveis se articulam. Os pesquisadores interpretam isso como "integração conceitual avançada" por contemplar múltiplas representações (Estudo 21, Apêndice A).

Em diversos estudos do corpus, essa justaposição é interpretada como evidência de integração conceitual. Análise dos mapas apresentados sugere, contudo, que se trata apenas de inventário ampliado de elementos conceituais. Equações aparecem como rótulos isolados, gráficos são mencionados sem conexão com modelos que os fundamentam, e fenômenos empíricos são ligados a conceitos teóricos sem mediação representacional explícita.

Resultado indica que, no corpus analisado, presença simultânea de múltiplos registros não garante, por si só, articulação conceitual. Ainda assim, essa distinção raramente é considerada nas inferências avaliativas produzidas pelos estudos examinados.

4.6. Padrão 5: Relativização de Inconsistências Conceituais (48% do Corpus)

Análise revela contradições internas em interpretações avaliativas de 11 dos 23 estudos. Mapas são descritos simultaneamente como conceitualmente ricos e portadores de inconsistências ou concepções alternativas. Ainda assim, avaliação global tende a ser positiva, sugerindo que extensão do mapa compensa, implicitamente, problemas conceituais localizados.

Exemplo representativo: Em estudo sobre Energia, mapa estudantil apresenta simultaneamente "energia mecânica se conserva" e "energia se perde por atrito". Os pesquisadores reconhecem a inconsistência mas avaliam o mapa positivamente por "demonstrar compreensão de múltiplos contextos de aplicação do conceito de energia" (Estudo 09, Apêndice A).

Prática identificada no corpus revela tensão não resolvida entre quantidade e consistência. Ao privilegiar complexidade gráfica, muitas análises dos estudos examinados relativizam contradições conceituais que, do ponto de vista da Física, são centrais e indicam incompreensão de princípios fundamentais.

4.7. Síntese Analítica: Lacunas Sistemáticas no Corpus

Tomados em conjunto, os resultados indicam lacunas sistemáticas no corpus analisado em quatro dimensões centrais da compreensão física:

- **Domínios de validade:** ausentes ou marginalizados (Padrões 1 e 3)
- **Integração matemático-conceitual:** superficial ou não verificada (Padrão 2)
- **Articulação entre níveis de descrição:** justaposição sem funcionalidade explicativa (Padrão 4)
- **Reconhecimento de limites explicativos:** invisibilizado nas inferências (Padrão 5)

Essas lacunas não decorrem de falhas pontuais, mas de padrões recorrentes no corpus que refletem pressupostos implícitos sobre natureza do conhecimento físico. A seção seguinte discute implicações desses resultados e propõe quatro critérios analíticos interpretativos que respondem diretamente a essas lacunas.

5. DISCUSSÃO: CRITÉRIOS EPISTEMOLÓGICOS PARA INTERPRETAÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS EM FÍSICA

5.1. Implicações dos Padrões Identificados

Os cinco padrões inferenciais identificados revelam desalinhamento sistemático entre as características epistemológicas distintivas do conhecimento físico (estabelecidas na Seção 2) e os esquemas interpretativos efetivamente mobilizados nos estudos analisados. Esse desalinhamento não é acidental, mas reflete pressupostos teóricos implícitos que tratam conhecimento físico como rede proposicional genérica, desconsiderando seu caráter modelar, condicional e matematizado.

Três implicações principais emergem dessa constatação:

Implicação 1 — Risco de validade inferencial: Quando mapas conceituais são interpretados predominantemente por métricas estruturais (Padrão 1), estabelece-se desproporção entre o que o instrumento efetivamente captura (densidade de conexões, hierarquia gráfica) e o que se infere sobre compreensão estudantil (domínio conceitual em Física). Essa lacuna mina validade das conclusões avaliativas, conforme alertam Messick (1989) e Kane (2013).

Implicação 2 — Invisibilização de dimensões epistemológicas centrais: A ausência sistemática de condições de aplicação (Padrão 3) e a não-problematização de fragilidades conceituais (Padrão 2) sugerem que o conhecimento físico está sendo concebido, nos estudos analisados, como conjunto de fatos e relações universais, não como sistema de modelos condicionais. Isso contradiz concepções contemporâneas sobre natureza da Física (Giere, 2004; Nersessian, 2008).

Implicação 3 — Limitação para uso formativo: Se mapas são avaliados primariamente por complexidade estrutural, feedback fornecido a estudantes tende a enfatizar "adicione mais conceitos" ou "estabeleça mais conexões", em detrimento de orientações conceitualmente produtivas sobre explicitação de condições de validade, precisão de relações funcionais ou reconhecimento de limites explicativos.

5.2. Proposta de Critérios Interpretativos Epistemologicamente Fundamentados

Com base nas lacunas identificadas no corpus, propõem-se quatro critérios analíticos interpretativos destinados a orientar leituras conceituais de mapas que dialoguem com características epistemológicas da Física. Esses critérios não constituem rubrica prescritiva para "bons mapas", mas operadores analíticos para interrogar: O que este mapa revela sobre compreensão física? O que deixa invisível? Que inferências são sustentáveis a partir das evidências disponíveis?

Critério 1: Explicitação de domínios de validade (EDV)

Fundamentação: A Física constrói-se a partir de modelos válidos sob condições específicas (Seção 2.1). Compreensão física madura envolve reconhecer que leis e teorias aplicam-se a regimes delimitados, não universalmente.

Operacionalização: Examinar se proposições reconhecem explicitamente condições de aplicação, idealizações e restrições dos modelos físicos. Para cada proposição envolvendo lei ou modelo, verificar presença de termos delimitadores (e.g., "válida para", "desde que", "aproximação de", "regime de"). **Escala de pontuação:** 2 = condições explicitamente especificadas; 1 = menção vaga a condições sem especificar quais; 0 = ausência de referência a condições de validade.

Exemplos:

- **EDV = 2:** "Lei de Hooke [válida para] pequenas deformações elásticas"
- **EDV = 1:** "Lei de Hooke [depende de] propriedades do material"
- **EDV = 0:** "Lei de Hooke [relaciona] força e deformação"

Critério 2: Integração matemático-conceitual (IMC)

Fundamentação: O formalismo matemático não é ornamento ou linguagem alternativa, mas constitutivo do significado físico (Seção 2.1). Relações matemáticas expressam dependências funcionais precisas que qualificam vínculos conceituais.

Operacionalização: Analisar se relações matemáticas são tratadas como portadoras de significado físico. Para cada proposição envolvendo grandezas físicas, verificar se especifica natureza funcional da dependência. **Escala de pontuação:** 2 = dependência funcional explícita (proporcionalidade, quadrática, exponencial...); 1 = menção a relação matemática sem especificar natureza; 0 = vínculo puramente qualitativo sem referência matemática.

Exemplos:

- **IMC = 2:** "Energia cinética [proporcional ao quadrado de] velocidade"
- **IMC = 1:** "Energia cinética [relaciona-se matematicamente com] velocidade"
- **IMC = 0:** "Energia cinética [depende de] velocidade"

Critério 3: Articulação entre níveis de descrição (AND)

Fundamentação: Compreensão em Física envolve coordenar múltiplas formas de representação — fenômenos observáveis, modelos teóricos, formalismos matemáticos — cuja articulação é constitutiva do entendimento disciplinar (Duval, 2006; Kohl & Finkelstein, 2008).

Operacionalização: Examinar se mapas conectam fenômenos observáveis, modelos teóricos e formalismos matemáticos de modo funcional. **Escala de pontuação:** 2 = articulação explícita entre pelo menos dois níveis com vínculos explicativos claros; 1 = múltiplos níveis presentes mas justapostos sem conexão funcional; 0 = apenas um nível de descrição representado.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Exemplos:

- **AND = 2:** "Queda livre [descrita por] MRUV [formalizado por] $y(t) = y_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ "
- **AND = 1:** Mapa inclui "queda livre", "MRUV" e equação horária sem explicitar vínculos
- **AND = 0:** Mapa restringe-se a nível verbal/conceitual

Critério 4: Reconhecimento de limites explicativos (RLE)

Fundamentação: Modelos físicos possuem alcance explicativo delimitado. Compreensão conceitualmente madura envolve reconhecer quando e por que um modelo deixa de ser adequado (Seção 2.1).

Operacionalização: Verificar presença de indicações sobre quando um modelo deixa de ser aplicável. **Escala de pontuação:** 2 = limites explicitamente reconhecidos com justificativa; 1 = menção vaga a limitações sem especificar; 0 = modelo tratado como universalmente válido.

Exemplos:

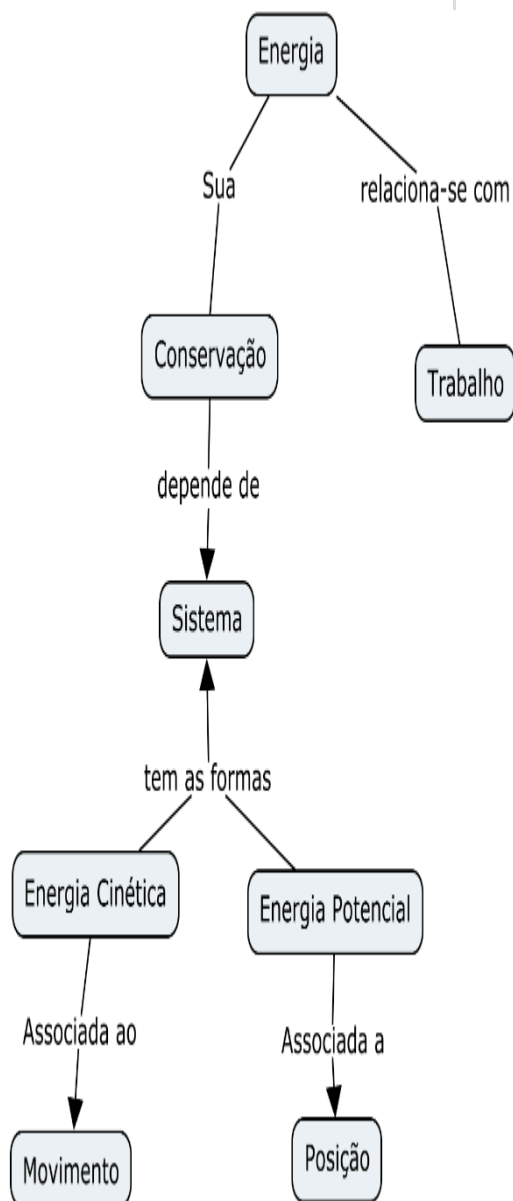
- **RLE = 2:** "Mecânica Newtoniana [não se aplica a] velocidades próximas a c [pois] efeitos relativísticos tornam-se relevantes"
- **RLE = 1:** "Mecânica Newtoniana [tem limites de aplicação]"
- **RLE = 0:** Modelo tratado como universalmente válido

5.3. Aplicação Ilustrativa dos Critérios

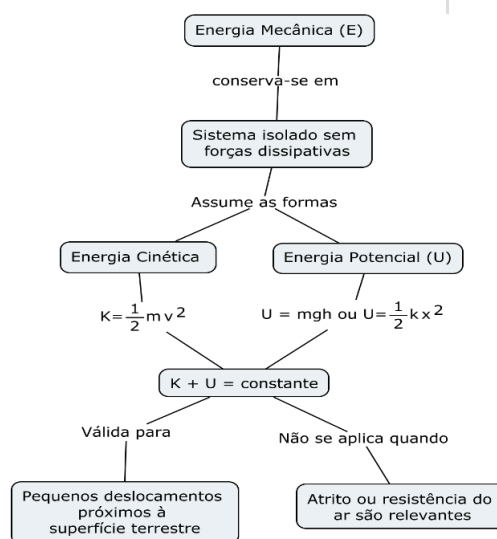
A Figura 1 apresenta dois mapas conceituais hipotéticos contrastantes que ilustram a aplicação dos quatro critérios propostos. O Mapa A representa padrão recorrente identificado no corpus (Padrões 1, 3, 4); o Mapa B representa estrutura epistemologicamente adequada segundo os critérios EDV, IMC, AND e RLE.

Figura 1 — Análise comparativa segundo critérios epistemológicos propostos

Mapa A: Complexidade estrutural elevada, compreensão conceitual limitada	Mapa B: Estrutura similar, compreensão epistemologicamente fundamentada



Fonte: Elaboração própria (2025).



Fonte: Elaboração própria (2025).

Embora ilustrativos, os cenários A e B refletem padrões empiricamente identificados no corpus: dos 20 estudos que apresentaram Padrão 3

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

(invisibilidade de condições), 17 também apresentaram Padrão 1 (complexidade estrutural como proxy), sugerindo associação sistemática entre essas características (ver Apêndice A: estudos E01, E03, E07, E10, E11, E14, E16, E18, E19, E22).

Tabela 3 — Análise comparativa segundo critérios epistemológicos

Critério	Mapa A	Mapa B	Interpretação
EDV (Domínios de validade)	✗ Ausente	✓ Presente	Apenas B explicita condições de aplicação
IMC (Integração matemática)	▲ Vago	✓ Preciso	B integra formalismo matemático com significado
AND (Articulação níveis)	✗ Ausente	✓ Articulado	B conecta fenômeno-modelo-formalismo

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

RLE (Reconhec. limites)	✗ Ausente	✓ Presente	Apenas B reconhece limites explicativos (atrato)
Complexidade estrutural	~8 nós	~9 nós	Estrutura similar não discrimina compreensão

Legenda: ✓ = presente; ✗ = ausente; ▲ = parcial/problemático

Fonte: Elaboração própria (2025).

Este exemplo demonstra que aplicação dos critérios não visa classificar mapas como "bons" ou "ruins", mas tornar visíveis dimensões conceituais que análises puramente estruturais não captam. Em contextos de avaliação formativa, essa discriminação é essencial para orientar intervenções pedagógicas informadas.

5.4. Limitações e Condições de Aplicabilidade da Proposta

A aplicação dos quatro critérios envolve custos analíticos significativos: tempo (estimados 15-20 minutos por mapa), formação disciplinar sólida em Física e capacidade de julgamento interpretativo informado. Trata-se de abordagem incompatível com avaliação em larga escala sob forte restrição temporal ou com avaliadores sem expertise disciplinar.

Essas não são fragilidades, mas **condições de aplicabilidade**. Em contextos nos quais compreender organização conceitual dos estudantes é mais relevante que produzir classificações rápidas — avaliação formativa, pesquisa educacional, formação de professores — o investimento se justifica. Nesses contextos, mapas conceituais interpretados pelos critérios propostos cumprem papel relevante como instrumentos diagnósticos que informam intervenções pedagógicas.

A proposta não pretende substituir análises estruturais, mas complementá-las com dimensões epistemológicas disciplinares. Métricas estruturais permanecem úteis para capturar aspectos como abrangência conceitual ou complexidade representacional, desde que não sejam tratadas como proxies diretos de compreensão física.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do corpus estrategicamente selecionado evidencia que uso de mapas conceituais na avaliação em Física atingiu refinamento técnico considerável, mas esse avanço não tem sido acompanhado por reflexão sistemática sobre legitimidade das inferências produzidas. Os estudos analisados revelam deslocamento recorrente: discute-se intensamente como medir melhor, mas permanece secundária a questão sobre o que está sendo inferido sobre compreensão física.

Os cinco padrões inferenciais identificados com confiabilidade inter-avaliadores substancial demonstram que interpretações avaliativas no corpus baseiam-se frequentemente em pressupostos implícitos que reduzem

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

compreensão conceitual à complexidade gráfica. Características epistemológicas centrais da Física — caráter modelar, dependência de condições, articulação entre níveis, limites explicativos — aparecem marginalmente ou são ignoradas nas inferências dos estudos examinados.

Ao propor quatro critérios epistemologicamente fundamentados com operacionalização explícita, este trabalho desloca foco de procedimentos avaliativos centrados em estrutura para interpretações diagnósticas que explicitam correspondências entre o que mapas representam e o que se infere sobre compreensão estudantil. Os critérios funcionam como operadores analíticos que tornam visíveis dimensões conceituais frequentemente naturalizadas como irrelevantes.

A proposta constitui framework conceitual que demanda validação empírica sistemática. Estudos futuros devem aplicar os critérios a amostras de mapas estudantis reais, documentando padrões de compreensão identificados; investigar correlações entre avaliações baseadas nos critérios propostos e medidas externas de compreensão física; examinar viabilidade de formação de professores para aplicação em contextos formativos.

Validade da avaliação em Física depende de correspondência explícita entre dimensões observadas e dimensões inferidas. Métricas estruturais são insuficientes porque ignoram características constitutivas do conhecimento físico. Este trabalho oferece contribuição para essa agenda ao propor critérios que operacionalizam dimensões epistemológicas disciplinares, fundamentados em análise sistemática de padrões inferenciais recorrentes na literatura.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUVAL, Raymond. A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 61, n. 1-2, p. 103-131, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>.

GIERE, Ronald N. How models are used to represent reality. **Philosophy of Science**, v. 71, n. 5, p. 742-752, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/425063>.

GLASER, Barney G.; STRAUSS, Anselm L. The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. Chicago: Aldine, 1967.

GRANT, Maria J.; BOOTH, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health Information & Libraries Journal**, v. 26, n. 2, p. 91-108, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.

HAMMER, David. Student resources for learning introductory physics. **American Journal of Physics**, v. 68, Supl. 1, p. S52-S59, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.19520>.

KANE, Michael T. Validating the interpretations and uses of test scores. **Journal of Educational Measurement**, v. 50, n. 1, p. 1-73, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

KOHL, Patrick B.; FINKELSTEIN, Noah D. Patterns of multiple representation use by experts and novices during physics problem solving. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 4, n. 1, 010111, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.4.010111>.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2529310>.

MESSICK, Samuel. Validity. In: LINN, Robert L. (Ed.). Educational measurement. 3. ed. New York: Macmillan, 1989. p. 13-103.

NERSSESSIAN, Nancy J. Creating scientific concepts. Cambridge, MA: MIT Press, 2008.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, D. Bob. Learning how to learn. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

RUIZ-PRIMO, Maria A.; SHAVELSON, Richard J. Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 6, p. 569-600, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M).

TALANQUER, Vicente. Concept inventories: predicting or diagnosing student learning? **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 10, p. 1423-1428, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed5004153>.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

APÊNDICE A — CORPUS ANALÍTICO: ESTUDOS SELECIONADOS E PADRÕES IDENTIFICADOS

Tabela A1 — Identificação dos 23 estudos analisados e padrões inferenciais detectados

ID	Contexto	Padrões
E01	Mecânica - Graduação	P1, P3, P4
E02	Mecânica - Médio	P1, P2, P3
E03	Eletromagnetismo - Graduação	P1, P3, P4, P5
E04	Representações múltiplas	P2, P4
E05	Termodinâmica	P1, P2, P3, P4
E06	Relatividade - Médio	P3, P4

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

E07	Mecânica - Médio	P1, P3, P5
E08	Astronomia	P1, P2, P3
E09	Mecânica Quântica	P3, P4, P5
E10	Som e Ondas	P1, P2, P3, P4
E11	Força e Movimento	P1, P3, P4
E12	Termodinâmica	P2, P3
E13	Modelos mentais	P3, P4
E14	Energia - Médio	P1, P2, P3, P5
E15	Física Moderna	P3, P4

REVISTA TÓPICOS – ISSN: 2965-6672

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

E16	Eletricidade - Graduação	P1, P3, P4, P5
E17	Energia - Médio	P1, P2, P3
E18	Eletromagnetismo	P3, P4, P5
E19	Múltiplos tópicos	P1, P3
E20	Analogias - Ótica	P2, P4
E21	Representações	P1, P2, P4
E22	Cinemática	P1, P3, P5
E23	Resolução de problemas	P2, P3, P4

Legenda dos padrões:

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

- P1 = Complexidade estrutural como proxy
- P2 = Fragilidade conceitual não problematizada
- P3 = Invisibilidade de condições de aplicação
- P4 = Justaposição não articulada de níveis
- P5 = Relativização de inconsistências

Fonte: Elaboração própria (2025).

REFERÊNCIAS DO CORPUS ANALÍTICO

E01 - Ates, S., & Cataloglu, E. (2007). The effects of students' cognitive styles on conceptual understandings and problem-solving skills in introductory mechanics. *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 167-178.

E02 - Bao, L., & Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(1), 010103.

E03 - Bagno, E., Eylon, B. S., & Ganiel, U. (2000). From fragmented knowledge to a knowledge structure: Linking the domains of mechanics and electromagnetism. *American Journal of Physics*, 68(S1), S16-S26.

E04 - Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical*

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Review Special Topics-Physics Education Research, 1(1), 010104.

E05 - Chi, M. T., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1), 1-61.

E06 - Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity. *American Journal of Physics*, 69(S1), S24-S35.

E07 - Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.

E08 - Zeilik, M., Schau, C., & Mattern, N. (1998). Misconceptions and their change in university-level astronomy courses. *The Physics Teacher*, 36(2), 104-107.

E09 - Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

E10 - Wittmann, M. C., Steinberg, R. N., & Redish, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.

E11 - Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B., & Beichner, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(1), 010105.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

E12 - Loverude, M. E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics. *American Journal of Physics*, 70(2), 137-148.

E13 - Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 15, 3-44.

E14 - Lawson, R. A., & McDermott, L. C. (1987). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55(9), 811-817.

E15 - Müller, R., & Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Journal of Physics*, 70(3), 200-209.

E16 - Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.

E17 - Domenech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., ... & Valdés, P. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16(1), 43-64.

E18 - Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(S1), S12-S23.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

E19 - McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource letter: PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.

E20 - Podolefsky, N. S., & Finkelstein, N. D. (2006). Use of analogy in learning physics: The role of representations. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(2), 020101.

E21 - Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2009). Do students use and understand free-body diagrams? *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(1), 010108.

E22 - Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-352.

E23 - Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59(10), 891-897.

¹ Mestre em Física Biomédica. Professor no Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). E-mail: agostinho.ferreira@uemg.br

² Doutora em Educação Matemática. Professora no Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). E-mail: fabricia.jesus@uemg.br

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

³ Graduanda em Engenharia de Minas. Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). E-mail: gisele.0699436@discente.uemg.br