

# Modelo para avaliação do argumento de prova em um contexto de ensino baseado em modelagem

Model for evaluating the proof argument in a model-based teaching context

Fredy Coelho Rodrigues<sup>1\*</sup>, Marco Aurélio Alvarenga Monteiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Sul de Minas Gerais. Passos-MG, Brasil, CEP: 37901-078

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Engenharia. Guaratinguetá-SP Brasil. CEP: 12.516-410

\*E-mail: [fredy.rodrigues@ifsuldeminas.edu.br](mailto:fredy.rodrigues@ifsuldeminas.edu.br)

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

## Resumo

O estudo parte da caracterização geral das etapas que compõe o processo de modelagem matemática, enfatiza de modo especial a etapa para a qual a nossa abordagem está voltada (obtenção e validação de modelos) e em seguida aborda a estrutura do argumento proposto por Toulmin (2006) bem como a teoria dos tipos e níveis de prova em matemática de Nicolas Balacheff (1987,1988). Este último estudo, quando inserido no contexto do uso do TAP (*Toulmin's Argument Pattern*) em um contexto de ensino baseado em modelagem configura uma abordagem teórica e metodológica que permite analisar a natureza das justificativas e apoios empregados no referido processo argumentativo bem como classificar os dados e avaliar a conclusão. Esta ferramenta também permite realizar uma avaliação diagnóstica do nível de conhecimento do aluno em relação ao emprego da prova e demonstração no Ensino de Física. Trata-se, portanto, de um instrumento que permite combinar todos os elementos do TAP à teoria de Nicolas Balacheff (1987, 1988) sobre os tipos e níveis de prova.

**Palavras chave:** Ensino de Física; Argumentação; Argumento de prova; Modelagem matemática; Qualidade do argumento.

## Abstract

The study starts from the general characterization of the stages that compose the process of mathematical modeling, emphasizes in a special way the stage to which our approach is focused (obtaining and validating models) and then addresses the structure of the argument proposed by Toulmin (2006) as well as the theory of types and levels of proof in mathematics by Nicolas Balacheff (1987,1988). This last study, when placed in the context of the use of TAP (*Toulmin's Argument Pattern*) in a model-based teaching context configures a theoretical and methodological approach that allows analyzing the nature of the justifications and supports employed in said argumentative process as well as classifying the data and evaluating the conclusion. This tool also allows a diagnostic evaluation of the student's level of knowledge regarding the use of proof and demonstration in Physics Teaching. It is, therefore, a tool that allows combining all the elements of TAP with Nicolas Balacheff's (1987, 1988) theory of the types and levels of proof.

**Keywords:** Physics education; Argumentation; Argument proof; Mathematical modeling; Quality of the argument.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização da argumentação enquanto estratégia para investigar o raciocínio do aluno, viabilizar a formação de conceitos científicos e promover o desenvolvimento de competências e habilidades comunicacionais tem mobilizado muitas pesquisas na área de Ensino de Ciências (Kelly e Takão, 2002; Sá e Queiroz, 2011; Monteiro e Teixeira, 2019).

[www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF](http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF)

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. 2 (2021)

143

*La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la XIV Conferencia Interamericana de Educación en Física*

Teorias socioculturais na área de ensino, por exemplo, têm enfatizado a importância da prática da argumentação coletiva no âmbito de atividades em pequenos grupos como forma de potencializar o processo de ensino e aprendizagem em sala de aula (Monteiro, Santos e Texeira, 2007; Dede, 2019).

Nesse contexto, a modelagem matemática, se apresenta como uma possibilidade de viabilizar o trabalho em grupo e a prática argumentativa em sala de aula uma vez que neste tipo de abordagem o raciocínio cognitivo dos alunos é promovido ao contexto do mundo real, favorecendo assim a discussão, a cooperação entre si, a busca por soluções, a confecção de modelos, o confronto de ideias e o estabelecimento de consenso e conclusões (English e Sriraman, 2010; Dede, 2019).

Boavida (2005) explica que o desenvolvimento de práticas de argumentação em sala de aula na Educação Básica promove o surgimento de competências argumentativas e estas abrangem a capacidade de comunicar, ouvir, agir de forma crítica e atenciosa, contribuindo para tornar o aluno um sujeito mais autônomo para assumir suas posições de forma crítica e embasada.

Assim, diante dessa emergente valorização das práticas argumentativas em sala de aula, é necessário, portanto, que o professor tenha em mãos instrumentos de avaliação que possam ser utilizados para avaliar a qualidade do argumento produzido pelos alunos. Da mesma forma, pesquisadores na área de ensino necessitam do suporte de instrumentos metodológicos para analisar a qualidade do argumento produzido em diferentes situações argumentativas, como por exemplo em uma aula de modelagem.

A estrutura argumentativa de Toulmin (2006) também conhecida como TAP (*Toulmin's Argument Pattern*) é atualmente o modelo mais empregado por pesquisadores em Educação em Ciências para avaliar os argumentos produzidos por alunos e professores no contexto de sala de aula (Erduran, Simon e Osborne, 2004; Lin, 2018).

Este modelo permite a reflexão sobre a estrutura do argumento, evidencia os seus componentes estruturantes e as relações lógicas envolvendo eles, não se preocupando, portanto, com o desenvolvimento de heurísticas para avaliar a qualidade de um argumento (Kelly e Takao, 2002).

Em virtude desta e outras limitações do TAP surgiram então vários estudos (Kelly e Takao, 2002; Erduran, Simon e Osborne, 2004; Inglis, Mejia-Ramos e Simpson, 2007; Nardi, Biza e Zachariades, 2012; Conner, 2012) com o propósito de aperfeiçoar a forma de avaliar (qualitativamente e/ou quantitativamente) um argumento em diferentes contextos de ensino. Grande parte destes estudos propuseram modelos para avaliar a qualidade de um argumento inspirados em adaptações ou qualificações dos componentes do TAP sob a luz de novos referenciais teóricos.

Em nenhum destes estudos foi proposto, por exemplo, um modelo de avaliação do argumento de prova onde fosse possível combinar todos os elementos do TAP à teoria de Nicolas Balacheff (1987,1988) sobre os tipos e níveis de prova.

Nesse sentido, o trabalho proposto se insere na temática de pesquisa "*Elaboração de modelos*" (Sá e Queiroz, 2011) uma vez que tem por objetivo apresentar uma abordagem metodológica para avaliar a qualidade de argumentos produzidos por alunos durante a obtenção e validação de um modelo matemático em um contexto de ensino baseado em modelagem no Ensino de Física.

## II. LITERATURA RELACIONADA

### A. Etapas do processo de modelagem no ensino

A modelagem é um "*processo dinâmico utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos*" (Bassanezi, 2019, p.24). Este processo, de acordo com o autor, envolve abstração e generalização com a finalidade de realizar previsões de tendências.

Na tentativa de ampliar o entendimento desta abordagem podemos ainda descrever a modelagem em termos de uma situação inicial (problemática), de uma situação final desejada (que representa a solução para a problemática) e de um conjunto de procedimentos e conceitos necessários para passar da situação inicial para a situação final (Almeida, Silva e Vertuan, 2012).

Nessa última perspectiva, adotada por este trabalho, chamaremos de modelo matemático um conjunto de símbolos e relações matemáticas que procura traduzir ou representar de alguma forma o objeto/fenômeno de estudo (Biembengut e Hein, 2007; Bassanezi, 2019).

Neste estudo, adotaremos a caracterização do processo de modelagem em três etapas, conforme propõe Biembengut e Hein (2007). Estas etapas se associam a ideia de início (familiarização com o problema), meio (formulação do problema e resolução em termos do modelo) e fim (validação e avaliação do modelo).

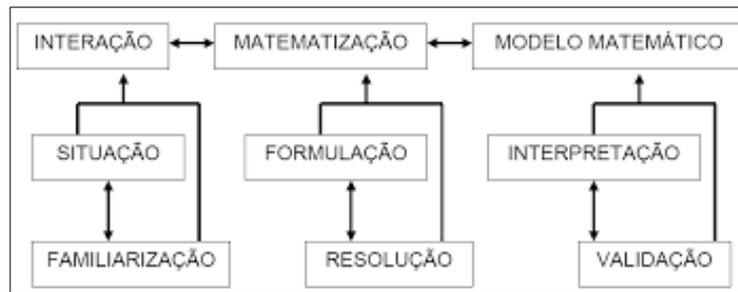


FIGURA 1: Etapas do processo de modelagem. Fonte: Biembengut e Hein (2007).

A primeira etapa, interação, compreende a exploração da situação problema de modo indireto (pesquisas em bibliografias) e direto (experimentação) visando a familiarização e interação com os dados (Biembengut e Hein, 2007).

A segunda etapa, matematização, envolve a formulação e resolução do problema. É caracterizada pela transição da linguagem natural para a linguagem matemática. Nesta etapa acontece a formulação de conjecturas, o uso de símbolos e variáveis matemáticas para descrever e estabelecer relações entre o concreto e o abstrato. O objetivo desta etapa é a obtenção do modelo e a resolução do problema em termos do modelo (Biembengut e Hein, 2007).

A terceira e última etapa, modelo matemático, ocorre a interpretação/avaliação e validação do modelo. Nesta etapa é necessária uma avaliação do modelo para verificar se ele é adequado à realidade, em termos de precisão (Biembengut e Hein, 2007).

Para este estudo, a etapa que realmente interessa é aquela que marca a transição da etapa de matematização para a etapa do modelo matemático, por onde acontece a obtenção e validação do modelo em uma atividade de modelagem.

## B. O modelo argumentativo de Toulmin

Toulmin (2006) define um argumento como sendo uma afirmativa acompanhada de sua justificativa. Ele propõe o modelo geométrico indicado na figura 1 para representar a estrutura completa de um argumento.

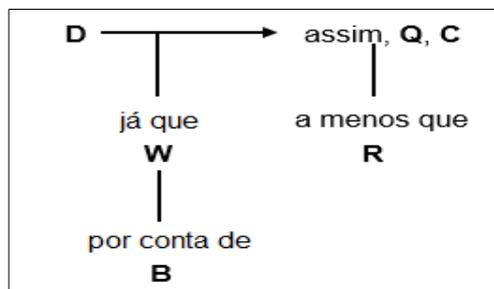


FIGURA 2: Estrutura completa do argumento. Fonte: Toulmin (2006).

Esta estrutura é composta pelos componentes: **D** – dados, **W** – garantia, **B** – apoio a garantia, **Q** – qualificador modal, **R** - refutação e **C** – conclusão.

De acordo com Toulmin (2006), a conclusão (C) é uma alegação cujo mérito pretende-se estabelecer, os dados (D) são declarações ou fatos explícitos, de cunho particular, que se recorre para fundamentar uma conclusão. Por sua vez a garantia (W) é uma proposição (justificação) de cunho hipotético, geral e que por meio de uma referência implícita aos dados (D) promove uma ligação entre este último e a conclusão (C). Há garantias de diversos tipos e estas podem ser utilizadas para conferir força a uma conclusão. Estes três primeiros elementos são denominados de componentes fundamentais da estrutura argumentativa (Toulmin, 2006).

Outros três componentes, como o apoio, o qualificador e o elemento refutador tornam o argumento mais completo (Toulmin, 2006). Ainda de acordo com este autor, o apoio a garantia (B) é uma proposição de caráter teórico, específico do campo do argumento, fornece apoio/sustentação a uma garantia (G) e é aceita sem questionamento. O qualificador modal (Q) por sua vez refere-se a uma proposição que descreve o grau de certeza ou força conferida pela garantia (W) a uma conclusão (C). E por fim a refutação (R) consiste em uma declaração que especifica em que condições a garantia (G) não é válida para dar suporte a conclusão (C).

Para Toulmin (2006) o propósito do argumento é estabelecer uma conclusão (não necessariamente verdadeira) com a qual estamos inteiramente confiantes e que se apresenta sob respaldado de garantias, apoios e elementos qualificadores.

### C. Estudos que apresentaram aprimoramento do TAP

Na literatura alguns estudos apresentaram sugestões de aprimoramento da estrutura argumentativa de Toulmin.

Em particular, o estudo realizado por Conner *et al.* (2014), com foco na argumentação coletiva, abordou adaptações no layout da estrutura argumentativa de Toulmin para evidenciar as contribuições diretas do professor na construção de argumentos colaborativos em sala de aula.

Já Nardi, Biza e Zachariades (2012) com foco na argumentação do professor, apresentaram uma abordagem metodológica para analisar os argumentos apresentados por professores de matemática em uma atividade envolvendo, resolução, avaliação e feedback à problemas resolvidos por alunos do ensino secundário. Como resultado deste estudo, os autores apresentaram uma nova classificação para as garantias do argumento produzido pelo professor: garantia *a priori* (epistemológica ou pedagógica), garantia institucional (curricular ou epistemológico), garantia empírica (empírico profissional ou empírico pessoal) e garantia avaliativa.

Diferentemente do estudo anterior, Conner (2012) focou na argumentação dos alunos e investigou as garantias apresentadas durante a argumentação como indicação dos padrões de raciocínio dos alunos em aulas de matemática no ensino secundário. Para analisar o tipo de raciocínio matemático empregado nos argumentos produzidos pelos alunos o autor classificou as garantias em dez categorias principais: a) conhecimento matemático; b) verificação; c) autoridade ou validação externa; d) interpretação; e) padrões; f) cálculo; g) método; h) visual; i) conhecimento matemático não formatado; j) informações fornecidas (Conner, 2012).

Por fim, o estudo realizado por Inglis, Mejia-Ramos e Simpson (2007) propôs uma classificação das garantias (indutivo, intuitivo-estrutural, dedutivo) em um estudo que investigou os tipos de raciocínio utilizados por estudantes de matemática da pós-graduação durante uma aula com argumentação. Neste estudo as ideias de Nicolas Balacheff (1987,1988) sobre os tipos e níveis de prova foram utilizadas para fundamentar os tipos de garantias apresentadas pelos alunos.

Em relação aos autores citados, o primeiro estudo, Conner *et al.* (2014), propôs uma mudança no *layout* da estrutura argumentativa de Toulmin para contemplar a participação do professor na argumentação colaborativa. Por outro lado, os outros estudos, Nardi, Biza e Zachariades (2012), Conner (2012) e Inglis, Mejia-Ramos e Simpson (2007) se propuseram a tecer classificações para o componente garantia do TAP não propondo, portanto, classificação para os outros componentes do TAP e mudanças no layout do modelo argumentativo de Toulmin para ilustrar estas classificações.

Diante desse contexto, este estudo, portanto, pretende apresentar um modelo de avaliação do argumento de prova baseado na classificação das garantias e outros elementos do TAP tomando como referência os estudos de Nicolas Balacheff (1987,1988). Para além disso, será proposto uma adaptação no *layout* do TAP para ilustrar estas classificações propostas.

### D. A Teoria de Balacheff e os modos de validação

As provas produzidas por alunos em sala de aula podem ser analisadas a partir de duas perspectivas: a primeira contempla a própria lógica nela envolvida e a segunda refere-se as práticas matemáticas dos estudantes (Vaz, 2004). A teoria de Balacheff (1987,1988) sobre os tipos e níveis de prova, por exemplo, adota esta última perspectiva de análise.

Balacheff (1987) categoriza os tipos de provas produzidas por alunos em sala de aula em pragmáticas e intelectuais. As provas pragmáticas relacionam-se a um saber prático e envolve argumentações cujas justificativas são de natureza empírica e resultante de um processo de observação e ação direta do aluno sobre o seu objeto de estudo. A validação de uma proposição neste tipo de prova, falha em seu caráter geral, uma vez que a justificação se dá a partir de uma explicação baseada em casos particulares (ex: desenho e movimentação de objetos na tela do computador). Por outro lado, as provas intelectuais (ou conceituais), relacionam-se a um saber racional que envolve argumentações cujas justificativas resultam de ações interiorizadas que fluem do pensamento, formulações abstratas e sequencias de raciocínio que controlam toda a generalidade da situação. São provas que se constituem em discursos lógico-dedutivos em torno da caracterização do objeto de estudo e suas relações (Balacheff, 1987).

Da prova pragmática à prova intelectual, Balacheff (1987) descreve quatro formas de validação reconhecidas como prova pelos seus produtores (alunos): empirismo ingênuo, experimento crucial, o exemplo genérico e a experiência mental.

*Empirismo ingênuo:* Constitui o primeiro nível da prova pragmática e considera como modo de validação, a verificação ou exemplificação de uma proposição para alguns poucos casos. Possui um caráter indutivo, ou seja, promove uma generalização imprópria baseando-se apenas no teste empírico da conjectura para alguns poucos casos (Balacheff, 1987, 1988).

*Experimento crucial:* Constitui o segundo nível da prova pragmática e considera como modo de validação, a verificação de uma conjectura em uma instância (exemplo) mais complexa através da qual o aluno tem a falsa ideia da generalização pelo fato de não se tratar de um simples caso particular. Depois que a conjectura é validada para este caso não tão particular, conclui-se então que ela será válida para todos os outros casos. Nestes dois primeiros níveis de prova, a linguagem utilizada para realizar as justificações é informal, empírica, pouco elaborada, expressa por meios de cálculos, ilustrações, desenhos, gráficos e fundamentada em verificações experimentais (ibid.).

*Exemplo genérico:* Constitui o nível de transição da prova pragmática para a prova intelectual, sendo então classificado entre as duas categorias. O modo de validação parte de um exemplo particular do objeto de estudo (um representante da classe) e por meio de operações e transformações realizadas neste objeto explicita-se as razões que validam a conjectura e justificam a sua generalidade. Se a validação constituir uma ação focada em um raciocínio único e exclusivamente voltado para o caso particular então este nível de prova se concentra na categoria de prova pragmática. Por outro lado, se o caso particular oferecer suporte para expressar um tipo de raciocínio generalizador, então, este nível de prova pertencerá à categoria de prova intelectual (ibid.).

*Experiência mental:* Constitui o nível mais elevado de prova e está inserido na categoria de prova intelectual. O modo de validação é constituído de justificativas desprendidas de concretização e contextualização em um representante particular. O raciocínio argumentativo realizado por meio de operações e deduções flui por meio do pensamento que controla toda a generalidade da situação. Trata-se de um nível de prova onde ocorre construções cognitivas mais complexas, melhoria na estruturação do discurso e melhor encadeamento do raciocínio. De acordo com Balacheff (1987) é o momento em que o aluno passa a argumentar em linguagem natural, evidenciando assim uma evolução do meio de linguagem. A linguagem aqui é utilizada como ferramenta para deduções lógicas – característico do processo dedutivo (Balacheff, 1987).

Nesse contexto de provas pragmáticas e intelectuais, a demonstração matemática é categorizada por Balacheff (1987) como um tipo de prova intelectual no nível de experiência mental, sendo, portanto, mais complexa, uma vez que apresenta rigor e formalização na linguagem. Para Balacheff (1988) a demonstração é um tipo de argumentação, formal, que articula o uso de definições, teoremas e regras lógicas de dedução e que exprime uma validade socialmente compartilhada por toda a comunidade científica.

### III. UMA PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DO ARGUMENTO DE PROVA NO ENSINO DE FISICA

#### A. Proposta de um modelo para avaliar o argumento de prova em uma atividade de modelagem

O modelo apresentado nessa seção integra a estrutura argumentativa de Toulmin (2006) à teoria de Nicolas Balacheff (1987,1988) sobre os tipos e níveis de prova.

Trata-se, portanto, de um modelo teórico-metodológico para avaliar a qualidade do argumento de prova na transição da etapa 2 para a etapa 3 do processo de modelagem matemática (Biembugut e Hein, 2007).

O modelo, portanto, sob a luz da teoria de Nicolas Balacheff (1987, 1988) sobre os tipos e níveis de prova constitui assim uma versão aprimorada da estrutura argumentativa de Toulmin (2006) conforme indicado na figura 3.

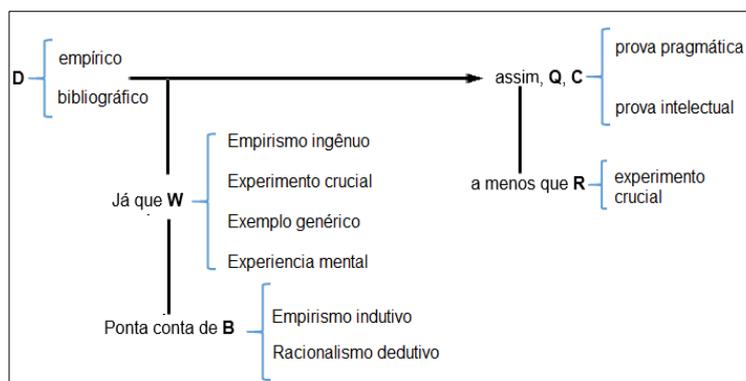


FIGURA 3: TAP no contexto da teoria de Balacheff (1987,1988). Fonte: Autores (2021).

O modelo representado na figura 3 ilustra de forma sintética a abordagem proposta para avaliar a qualidade do argumento de prova em uma situação que envolve a obtenção e validação do modelo matemático.

Todos os elementos indicados: dados (D), garantia (W), apoio da garantia (B), qualificador (Q), Refutação (R) e conclusão (C) são definidos por Toulmin (2006).

O que a abordagem apresenta de inovador é a possibilidade de classificar os componentes do argumento sob a luz da teoria de Balacheff (1987,1988). A classificação da garantia, em especial, por si só, orienta a classificação dos outros componentes do argumento: dados, apoio, qualificadores, elemento de refutação e conclusão. Em particular:

Os dados (D) podem ser classificados como empíricos ou bibliográficos. O dado é empírico quando é coletado diretamente do fenômeno ou objeto de estudo por meio da observação e manipulação do objeto. Por outro lado, o dado é classificado como bibliográfico quando é coletado indiretamente pelo aluno por meio de buscas a fontes bibliográficas no intuito de compreender melhor a situação problema.

A natureza da garantia (W) pode ser compreendida através do modo como o aluno obtém o modelo e realiza a sua validação. Para Balacheff (1987) esse “*modo*” está relacionado com estratégias/raciônios utilizados pelos alunos em sua argumentação para produzir provas.

Nesse sentido a garantia apresentada se baseia em alguma das seguintes categorias já descritas na seção anterior: empirismo ingênuo, experimento crucial, exemplo genérico e experiência mental (Balacheff, 1987).

Durante essa classificação, o professor deverá ficar atento ao tipo de raciocínio empregado pelo aluno durante a obtenção e validação do modelo matemático. Um raciocínio indutivo em que o aluno esboça uma tentativa de generalização através de testes particulares permitirá ao professor analisar o tipo de teste realizado e então classificar a garantia em empirismo ingênuo ou experimento crucial (Balacheff, 1987). Por outro lado, a depender do tipo de raciocínio dedutivo que o aluno vier a praticar, seja ele, amparado em um caso particular ou geral, irá corroborar para que o professor possa classificar a garantia como exemplo genérico ou experiência mental (Balacheff, 1987).

Os apoios (B), podem aparecer implícitos na explicação do aluno fazendo referência ao raciocínio empregado e são classificados em: empirismo indutivo e racionalismo dedutivo. O empirismo indutivo é caracterizado por uma corrente epistemológica em que o conhecimento é construído a partir da ação-experiência-observação. Já o racionalismo dedutivo, remete ao mundo da razão, ao conhecimento construído de forma lógica, através de operações mentais.

A classificação do apoio depende do tipo de garantia apresentada, ou seja, os tipos de garantias denominadas de empirismo ingênuo e experimento crucial remetem a corrente teórica ligada ao Empirismo indutivo. A garantia baseada na experiência mental tem apoio na teoria do racionalismo dedutivo. E por fim a garantia com base no exemplo genérico, a depender do nível de dedução realizado pelo aluno e grau de apego deste ao caso particular, pode tanto variar de empirismo indutivo ao racionalismo dedutivo.

O professor deverá estar atento ao tipo de explicação e raciocínio empregado pelo aluno para identificar o tipo de apoio. Se a explicação do aluno for baseada na ação experimental, na experiência de manipulação do objeto de estudo em questão, trata-se de um apoio associado ao empirismo indutivo. Caso contrário, se a explicação do aluno envolver conceitos e teorias para fundamentar o raciocínio, o apoio tem fundamentação na razão, trata-se, portanto, de uma referência ao racionalismo para realizar deduções.

O qualificador modal (Q), pode ser analisado com base no tipo de teste realizado pelo aluno para então proferir um grau de força a conclusão. Em um nível de força, do menor para o maior, os testes podem ser classificados como: teste ingênuo, teste crucial e teste genérico. Dessa forma um argumento baseado em um teste genérico, a conclusão tem mais força do que uma conclusão baseada em argumentos associados a testes ingênuos e crucial.

O elemento de refutação (R) é parte integrante da estrutura completa do argumento de Toulmin (2006). Neste estudo, compreendemos o elemento de refutação também como um experimento crucial (Balacheff, 1987), cujo contraexemplo desprovido do caráter generalizador, atua na refutação parcial de uma conclusão.

Por fim o tipo de conclusão proferida, seja ela, pragmática ou intelectual, é designada com base na avaliação da classificação das garantias e dos apoios fornecidos. A classificação do apoio decorre da classificação da garantia e nesse caso, o apoio em última instância, por si só, é capaz de direcionar o tipo de conclusão do argumento.

O argumento, portanto, é forte e bem elaborado se a conclusão for classificada como prova intelectual ou se a conclusão for um elemento de prova pragmática, do tipo experimento crucial à serviço da refutação de um argumento. Por outro lado, o argumento será classificado como fraco e de pouca elaboração quando a conclusão estiver baseada uma prova pragmática de caráter não refutador.

Indicamos a utilização deste modelo como um instrumento para avaliar a qualidade do argumento de prova, com fins de validação, produzido por alunos da Educação Básica especialmente no Ensino Médio. É neste último nível de ensino que os alunos deverão estar aptos demonstrar competências e habilidades argumentativas para produzir provas mais elaboradas (Balacheff, 1987,1988).

## B. Utilização do modelo como instrumento de avaliação de argumento de prova em sala de aula

O modelo apresentado na secção anterior pode ser útil ao professor de física enquanto instrumento de avaliação para avaliar a compreensão do argumento de prova do aluno em uma atividade de ensino no contexto da modelagem. Pode revelar ainda ao professor que aspectos específicos da prova o aluno compreendeu e quais aspectos ele ainda precisa compreender.

Por meio do modelo e com base na avaliação da garantia apresentada na justificação da conclusão, o professor poderá avaliar o nível de compreensão<sup>1</sup> de prova do aluno a partir de quatro níveis, do mais elementar ao mais complexo: Nível 1: Empirismo ingênuo; Nível 2: Experimento crucial; Nível 3: Exemplo genérico e Nível 4: Experiência mental, sendo esta última subdivida em experiência dedutiva simples e experiência dedutiva formal (Balacheff, 1987).

Com base na avaliação da garantia, o professor poderá avaliar também o tipo de raciocínio (empírico-indutivo, racional dedutivo) empregado pelo aluno na justificação da sua conclusão. No nível 1 e no nível 2 os alunos exercem um raciocínio apoiado no empírico-indutivo. No nível 3, os alunos estão em uma fase de transição do empirismo indutivo para o racionalismo dedutivo. Já no nível 4, os alunos são capazes de produzir provas conceituais simples ou complexas e apoiados em um racionalismo dedutivo.

Uma vez que o professor, por meio do modelo, possa identificar que o argumento de prova do aluno se encontra nos níveis 1 e 2 torna-se necessário, portanto, o desenvolvimento de estratégias promotoras de argumentação para viabilizar a transição da passagem da prova pragmática para a prova intelectual.

Para além de garantias e apoios, o modelo ainda permite ao professor identificar a possibilidade de o aluno utilizar o experimento crucial como um elemento refutador de um argumento. A presença da refutação em uma argumentação é defendida por alguns autores como uma habilidade cognitiva de alto nível, e que deve ser valorizado pelo professor em uma argumentação (Balacheff, 1987; Toulmin, 2006; Erduran, Simon e Osborne, 2004).

Em um diagnóstico final, o professor poderá classificar, com base em garantias, apoios e na refutação, o argumento de prova produzido pelo aluno, em 1- Prova pragmática ou 2- Prova intelectual. O aluno avaliado como produtor de provas pragmáticas, elabora, portanto, argumentos fracos e pouco elaborados uma vez que a garantia e o apoio estão pautados em testes empíricos e no raciocínio indutivo.

Por outro lado, o aluno avaliado como produtor de provas intelectuais é capaz de elaborar um argumento forte e bem elaborado, uma vez que justifica a sua conclusão com base em processos mentais envolvendo deduções.

Enquanto instrumento de avaliação diagnóstica, este modelo pode ser utilizado para fornecer subsídios ao professor de física para que este possa identificar o tipo e nível de argumento de prova dos alunos e então reorientar o seu processo de ensino e aprendizagem em função do perfil de alunos com o qual está a trabalhar.

## C. Utilização do modelo como instrumento de pesquisa

Em particular para os pesquisadores da área de ensino de física o modelo constitui uma forma de compreender as formas de validação utilizadas pelos alunos enquanto argumento de prova, corroborando assim para avaliação do processo de ensino e aprendizagem.

Ele se fundamenta numa abordagem qualitativa de avaliação, a partir do qual oferece subsídios ao pesquisador para realizar inferências sobre o tipo de raciocínio empregado na obtenção e justificação do modelo bem como compreender a natureza do argumento de prova com base na classificação das garantias, apoios, dados, elemento de refutação, qualificadores e conclusão. Para além disso, sob a luz da teoria de Balacheff (1987,1988) permite ao pesquisador estabelecer relações entre os componentes do argumento de Toulmin (2006) em um contexto de prova.

O modelo também pode ser utilizado para investigar o ensino explícito da argumentação, em especial, a evolução da construção do argumento de prova. Nesse caso, o pesquisador pode investigar: como ou em que medida o ensino desta ferramenta pode melhorar a compreensão e elaboração de provas?

Para além disso pode ser utilizado como um instrumento metodológico para análise de dados de pesquisas que abordam intervenções instrucionais em sala de aula, questões mais específicas como: Que atividades propiciam a transição da elaboração de provas pragmáticas para provas intelectuais? Que tipo de argumento de prova os alunos produzem para justificar a produção e validação de um modelo em uma aula de modelagem?

---

<sup>1</sup> Estes níveis de compreensão foram assumidos com base nos tipos e níveis de prova de Balacheff (1987,1988).

#### IV. CONCLUSÃO

A abordagem apresentada, combinou a estrutura do argumento de Toulmin (2006) e a teoria dos tipos e níveis de prova de Nicolas Balacheff (1987, 1988) em um contexto de ensino baseado em modelagem.

Nesse sentido, o modelo apresentado, tem por objetivo avaliar a natureza e qualidade do argumento de prova na obtenção e validação de um modelo matemático, podendo ser utilizado como ferramenta de avaliação/investigação tanto para o professor realizar diagnósticos em sala de aula e fomentar habilidades argumentativas quanto para pesquisadores interessados e avançar com a pesquisa na área.

Por meio deste estudo esperamos ter avançado na discussão sobre a avaliação da qualidade do argumento de prova. Alguns estudos citados neste trabalho avaliaram o argumento com base apenas na garantia. Nossa abordagem, no entanto, foi além e propôs uma avaliação para além da garantia, envolvendo também a classificação dos outros elementos do argumento de Toulmin (2006): dados, apoios, conclusão, elementos qualificadores e refutação sob a luz da teoria de Balacheff (1987,1988) em um contexto de ensino baseado em modelagem.

#### AGRADECIMENTOS:

CAPES/PROAP – Brasil.

#### REFERÊNCIAS

- Almeida, L. W., Silva, K. P e Vertuan, R. E. (2012). *Modelagem Matemática na Educação Básica (1ªed)*. São Paulo : Contexto.
- Balacheff, N. (1987). Processus de Preuve et situations de Validation. *Education Studies in Mathematics*,18 (2), 147-176.
- Balacheff, N. (1988). Aspects of proof in pupils' practice of school mathematics. Pimm D. (ed.) *Mathematics, Teachers and Children*. 230-316.
- Bassanezi, R. C. (2019). *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática (4ª ed.)*. São Paulo: Contexto.
- Biembengut, M. S., Hein, N. (2007). *Modelagem matemática no ensino. (4ª ed.)*. São Paulo: Contexto.
- Boavida, A. M. R. (2005). A argumentação em Matemática Investigando o trabalho de duas professoras em contexto de colaboração. 975f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Conner, A. (2012). Warrants as indications of reasoning patterns in secondary mathematics classes. In Proceedings of the *12th International Congress on Mathematical Education (ICME-12)*, 2819–2827. Seoul, Korea, Disponível em: [http://www.lettredelapreuve.org/pdf/ICMI-12/TSG14\\_Conner.pdf](http://www.lettredelapreuve.org/pdf/ICMI-12/TSG14_Conner.pdf). Acesso em 24 jul. 2020.
- Conner, A. M., Singletary, L. M., Smith, R. C., Wagner, P. A. e Francisco, R. T. (2014). Identifying Kinds of Reasoning in Collective Argumentation, *Mathematical Thinking and Learning*, 16(3), 181-200. <https://doi.org/10.1080/10986065.2014.921131>
- Dede, A. T. (2019). Arguments constructed within the mathematical modelling cycle, *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(2), 292-314, <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1501825>
- Erduran S., Simon S. e Osborne J. (2004). TAPPING into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933. DOI:10.1002/sc.20012
- English L. D. e Sriraman B. (2010). Problem solving for the 21st century. In: English L. D., Sriraman B., editors. *Theories of mathematics education: seeking new frontiers*. (263–285). Berlin: Springer.
- Inglis, M., Mejia-Ramos, J.P e Simpson, A. (2007). Modelling mathematical argumentation: the importance of qualification. *Educ Stud Math*, 66, 3-21. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-9059-8>

Kelly, G.J e Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument an analysis of university oceanography student's use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342. <https://doi.org/10.1002/sce.10024>

Lin, Pi-Jen. (2018). O Desenvolvimento da Argumentação Matemática por Estudantes de uma Turma do Ensino Fundamental. *Educ. Real.* 43(3), 1171-1192. <https://doi.org/10.1590/2175-623676887>

Monteiro, M.A.A., Santos, D.A., Teixeira, O. P. B. (2007). Caracterizando a autoria no discurso em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(2), 205-225. Recuperado de: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/472/274>. Acesso em 20 de maio de 2021.

Monteiro, M.A.A., Teixeira, O.P.B. (2019). Contextos argumentativos e processos interativos em sala de aula. In: Bozelli, F.C.; Teixeira, O.P.B. *Contextos argumentativos e discursivos no ensino de ciências (1ª ed.)*. São Paulo: Espelho D'alma.

Nardi, E., Biza, I., Zachariades, T. (2012). "Warrant" revisited: Integrating mathematics teachers' pedagogical and epistemological considerations into Toulmin's model for argumentation. *Educational Studies in Mathematics*, 79(2), 157–173, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10649-011-9345-y>.

Sá, L. P. e Queiroz, S. L. (2011). Argumentação no ensino de ciências: contexto brasileiro. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte) [online]*, 13(2), 13-30. <https://doi.org/10.1590/1983-21172011130202>.

Toulmin, S. (2006). *Os usos do argumento (2ª ed.)* Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes.

Vaz, R. (2004). *O uso das isometrias do software Cabri-Gèomètre como recurso no processo de prova e demonstração*. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática). São Paulo: PUC/SP