

---

## **Aprendizagens Significativas sobre a Natureza da Ciência: a abordagem histórico-investigativa no Ensino Fundamental<sup>+</sup>\***

---

Oscar Vitor dos Santos Borba<sup>1</sup>

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências  
Química da Vida e Saúde – Universidade Federal do Pampa

Ronan Moura Franco<sup>1</sup>

Secretaria Municipal de Educação de Uruguaiana

Carla Beatriz Spohr<sup>1</sup>

Universidade Federal do Pampa  
Uruguaiana – RS

### **Resumo**

*Neste artigo, investigamos indícios de aprendizagens significativas sobre a Natureza da Ciência em meio à implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, estruturada a partir de abordagens histórico-investigativas no contexto do ensino da Termodinâmica. A pesquisa foi realizada com 16 estudantes de uma turma de 7º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública de Uruguaiana, na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. A produção de dados envolveu a observação participante com registro em diário de bordo, além do emprego de dois questionários constituídos por questões abertas, no formato pré-teste e pós-teste, analisados mediante Análise Textual Discursiva. Os resultados indicam que a abordagem histórico-investigativa contribuiu para a assimilação, elaboração e diferenciação de subsunçores relacionados à Natureza da Ciência, evidenciada por compreensões mais elaboradas acerca da natureza provisória do conhecimento científico, dos processos de comunicação e validação da ciência e de seu caráter coletivo e sociocultural. Entretanto, observou-se a persistência de algumas visões simplificadas, especialmente relacionadas à experimentação e ao desenvolvimento das teorias científicas. Assim, embora a abordagem*

---

<sup>+</sup> Meaningful learning about the Nature of Science: the historical inquiry approach in elementary education

<sup>\*</sup> Recebido: 8 de janeiro de 2026.

Aceito: 17 de julho de 2026.

Publicado: 31 de agosto de 2026.

<sup>1</sup> E-mails: oscarborba.aluno@unipampa.edu.br; rmouraf franco@gmail.com; carlaspoehr@unipampa.edu.br

*histórico-investigativa tenha se mostrado potencialmente significativa, são necessárias novas investigações para aprofundar a compreensão de suas contribuições e limitações.*

**Palavras-chave:** *Metaciência; História e Filosofia da Ciência; Ensino por Investigação; UEPS; Termodinâmica.*

### **Abstract**

*This article investigates evidence of meaningful learning about the Nature of Science during the implementation of a Potentially Meaningful Teaching Unit, structured around historical inquiry-based approaches within the context of Thermodynamics instruction. The study was conducted with 16 seventh-grade students from a public school in Uruguaiana, Brazil. Data collection involved participant observation recorded in a field diary, as well as two open-ended questionnaires administered as pre-test and post-test, which were analyzed using Discursive Textual Analysis. The results indicate that the historical inquiry-based approach contributed to the assimilation, elaboration, and differentiation of subsumers related to the Nature of Science, as evidenced by more sophisticated understandings of the tentative nature of scientific knowledge, the processes of scientific communication and validation, and the collective and sociocultural character of science. However, the persistence of some simplified views was observed, particularly regarding experimentation and the development of scientific theories. Thus, although the historical inquiry-based approach proved potentially meaningful, further research is needed to deepen the understanding of its contributions and limitations.*

**Keywords:** *Metascience; History and Philosophy of Science; Inquiry-Based Teaching; PMTU; Thermodynamics.*

## **I. Introdução**

Enquanto professores e pesquisadores do ensino de Ciências, partilhamos do entendimento de que a alfabetização ou o letramento científico dos estudantes deve ocupar lugar de destaque nas propostas curriculares, nas estratégias didáticas e nos processos inerentes ao ensino-aprendizagem das disciplinas científicas na Educação Básica. Fundamentamos essa posição em vasta literatura e em documentos normativos da educação nacional e internacional, que ressaltam a importância de que as disciplinas científicas preparem os indivíduos, enquanto

membros da sociedade, para a tomada de decisões individuais e coletivas conscientes, críticas e bem embasadas (Allchin, 2011; Brasil, 2018; Praia; Gil-Pérez; Vilches, 2007; Ruppenthal; Coutinho; Marzari, 2020; Sasseron, 2010). Com vistas a contemplar tal objetivo, como destacam Hodson e Wong (2017), Allchin (2011) e outros pesquisadores da área, defendemos que o ensino de aspectos referentes à Natureza da Ciência (NdC) deve estar presente na educação formal, de modo que os estudantes tenham contato não apenas com os produtos da ciência, mas também com as práticas e contextos que os originam.

Ao compreendermos os processos de aprender e, conseqüentemente, de ensinar sob perspectivas construtivistas e cognitivistas, acreditamos ser de fundamental relevância que educadores e currículos deem destaque não apenas ao conteúdo das disciplinas científicas, mas também à forma como esse conteúdo é trabalhado em sala de aula. Afastando-nos de perspectivas educacionais behavioristas e estritamente mecânicas, rejeitamos os moldes descontextualizados e declarativos com que a NdC pode vir a ser abordada em sala de aula, posicionando-nos a favor de enfoques alternativos, como a *Whole Science* (Allchin, 2011), *Family Resemblance* (Irzik; Nola, 2014), *Temas e Questões* (Martins, 2015) e *Asserções Comentadas* (Peduzzi; Raicik, 2020). À luz dessas perspectivas, o ensino da NdC é adotado como tema central desta pesquisa, que busca compreender as percepções de estudantes da Educação Básica sobre aspectos epistemológicos e estruturais do empreendimento científico, bem como explorar o potencial de estratégias pedagógicas para a promoção de aprendizagens significativas sobre o tema.

Para a construção do problema de pesquisa, direcionamos nosso olhar à literatura científica sobre o assunto (Borba; Franco; Spohr, 2025), identificando diferentes linhas investigativas sobre a NdC ao longo da última década: (a) ensaios ou artigos teóricos; (b) pesquisas bibliográficas ou documentais; (c) investigações sobre concepções de NdC em grupos ou materiais; (d) proposição ou aplicação de instrumentos de pesquisa; (e) propostas para o ensino da NdC no Ensino Superior; e (f) propostas para o ensino da NdC na Educação Básica. Inserindo nossa pesquisa neste último grupo, buscamos elaborar e investigar uma proposta didático-pedagógica voltada ao Ensino Fundamental — etapa historicamente carente de estudos sobre o tema (Borba; Franco; Spohr, 2025). A proposta foi elaborada com base nos pressupostos teórico-metodológicos de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), com o objetivo de analisar o potencial de duas estratégias amplamente empregadas no ensino de conhecimentos metacientíficos: práticas investigativas e casos históricos da ciência.

A partir desse recorte, emerge nossa questão de pesquisa: *quais são as potencialidades dessas abordagens para o ensino da Natureza da Ciência no Ensino Fundamental?* Partindo desse questionamento, desenvolvemos este artigo com o intuito de investigar indícios de aprendizagens significativas sobre a NdC, potencializadas por meio de uma UEPS de abordagem histórico-investigativa, a fim de avaliá-la como estratégia para o ensino de saberes metacientíficos. Nas seções que seguem, apresentamos os fundamentos teóricos que sustentam a proposta, descrevemos o percurso metodológico do trabalho, discutimos os principais

resultados da análise e, por fim, expomos nossas considerações finais e perspectivas para futuras pesquisas.

## II. Por que, o que e como ensinar sobre a NdC?

Há, na literatura internacional, diferentes definições e perspectivas para se referir ao ensino de conhecimentos metacientíficos, representadas, segundo Allchin (2017), a partir de uma ampla gama de terminologias, como *práticas científicas*, *ideias sobre a ciência*, *identidade e métodos* ou *como a ciência funciona*. Todos esses rótulos, porém, compartilham significados em comum, que convergem para o que denominamos neste trabalho de *Natureza da Ciência* (do inglês, *Nature of Science*), isto é, “um conjunto de saberes ou olhares metateóricos que trata dos vários aspectos da atividade científica” (Bejarano; Aduriz-Bravo; Bonfim, 2019, p. 968), abrangendo desde seus métodos, processos e técnicas, até a natureza sociocultural, revolucionária e histórica do empreendimento científico. Diferentemente de outros autores, incluímos os aspectos da prática investigativa nesse rol de saberes, uma vez que compartilhamos da visão de Hodson e Wong (2017), que os consideram indissociáveis dos conhecimentos por eles gerados.

Ao nos debruçarmos sobre artigos científicos, trabalhos acadêmicos e documentos normativos da educação, encontraremos uma série de argumentos em favor da inclusão de aspectos da NdC nos currículos das disciplinas científicas em diferentes níveis e etapas do ensino formal. Ao abordar esse tema ainda na década de 1980, Thomas e Durant (1987), com base na literatura da época, identificaram nove justificativas para os indivíduos construírem percepções adequadas a respeito do empreendimento científico, fundamentadas em seus benefícios: para a própria ciência, para as economias nacionais, para o poder e a influência de uma nação, para os indivíduos, para a governança democrática e para a sociedade como um todo, além de benefícios de ordem utilitarista, democrática e moral. Nas décadas seguintes, o ensino de saberes metacientíficos, agora reunidos sob a nomenclatura NdC, passou a ser compreendido como parte integrante de propostas voltadas ao letramento científico funcional (Allchin, 2011) dos estudantes, além de compreender um dos eixos estruturantes da alfabetização científica, como enfatiza Sasseron (2010, p. 17-18):

*Duas contribuições essenciais à formação dos estudantes são destaque neste eixo. Uma delas reporta-se à ideia de Ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações, envolvendo processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes. Explora-se que o caráter humano e social inerente às investigações científicas seja colocado em pauta. A outra contribuição está relacionada às estratégias que podem ser utilizadas em sala de aula e ao comportamento assumido por alunos e professor sempre que defrontados com informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises.*

A compreensão de aspectos da NdC passou a ser considerada, ao longo das últimas décadas, um dos principais objetivos do ensino de Ciências, levando ao surgimento de discussões no sentido de definir quais aspectos do empreendimento científico seriam mais relevantes e adequados para serem explorados no contexto escolar. Reconhecendo a não existência de uma definição única, abrangente e universalmente aceita sobre o que conhecemos como ciência, alguns pesquisadores passaram a propor delineamentos que buscassem operacionalizar o ensino da NdC na Educação Básica, destacando aspectos considerados consensuais, voltados à formação dos estudantes. Desse movimento, surge a chamada *visão consensual* sobre a NdC, sintetizada em diferentes listas com declarações que descrevem características gerais da ciência, seus processos, produtos e contextos socioculturais, incluindo, por exemplo, a compreensão de que o conhecimento científico é provisório, criativo, empiricamente fundamentado, teoricamente orientado, social e culturalmente situado (Lederman *et al.*, 2002; McComas; Olson, 1998).

A visão consensual e, conseqüentemente, as listas por ela originadas, passaram a ser adotadas como principais aportes teórico-metodológicos das pesquisas direcionadas ao ensino da NdC, não estando, no entanto, isentas de críticas (Allchin, 2011; Alters, 1997; Hodson; Wong, 2017; Irzik; Nola, 2014; Matthews, 2012). Diferentes pesquisadores citam, por exemplo, a abordagem estritamente mecânica e declaratória com que as características da ciência são selecionadas e apresentadas, não havendo garantia de que sua memorização implicaria no letramento científico funcional dos estudantes (Allchin, 2011). Desse movimento, surgem abordagens alternativas sobre a NdC, como as propostas *Family Resemblance* (Irzik; Nola, 2011, 2014) e *Whole Science* (Allchin, 2011, 2017), que passariam a defender um ensino contextualizado, reflexivo e crítico sobre a NdC, considerando suas diferentes dimensões (experimentais, conceituais e socioculturais) a partir de estudos de casos legítimos da ciência, sejam eles históricos ou investigativos.

De fato, tanto a História e Filosofia da Ciência (HFC) quanto o Ensino por Investigação (EI) têm sido extensivamente empregados em propostas didáticas e investigações direcionadas ao ensino da NdC, “apresentando resultados empíricos positivos ao contribuir com a promoção de mudanças conceituais nos sujeitos investigados e na transformação de visões ingênuas sobre a NdC” (Borba; Moura; Spohr, 2025). Segundo Allchin, Andersen e Nielsen (2014), embora tais abordagens apresentem grande potencial para o ensino-aprendizagem da NdC, ao reproduzirem ou ilustrarem diversos aspectos do empreendimento científico e dos processos investigativos, elas também possuem certas limitações, que podem ser superadas quando utilizadas de forma articulada e complementar. No entanto, é preciso destacar a importância de que o ensino da NdC seja deliberadamente planejado de forma explícita e incorporado tanto nos currículos quanto nas práticas pedagógicas (McComas, 2020), promovendo, por meio da integração entre HFC e o EI, espaços para reflexão crítica, argumentação e desenvolvimento de concepções mais alinhadas à prática científica e sua natureza.

### III. Aprendizagens significativas sobre a NdC

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), originalmente elaborada por Ausubel (1968), propõe uma explicação do processo de aquisição e retenção de conhecimentos sob uma perspectiva cognitivista, encarando a aprendizagem como a organização e integração de novos conceitos, ideias ou proposições à *estrutura cognitiva* de quem aprende. Aprender significativamente, nesse entendimento, remete a um processo em que novas informações interagem, de maneira não arbitrária e não literal (substantiva), com conhecimentos relevantes que o aprendiz já possui — chamados de *subsunçores* — os quais podem tornar-se mais claros, elaborados e diferenciados à medida em que servem como ancoradouro para esses novos conhecimentos (Fig. 1). Como reforça Moreira (2011a), os subsunçores (embora sejam conhecidos como *conceitos subsunçores*) podem apresentar naturezas diversas, não sendo conveniente materializá-los somente como conceitos, uma vez que podem se apresentar na forma de proposições, ideias, modelos ou representações, dentre outras formas de conhecimento.

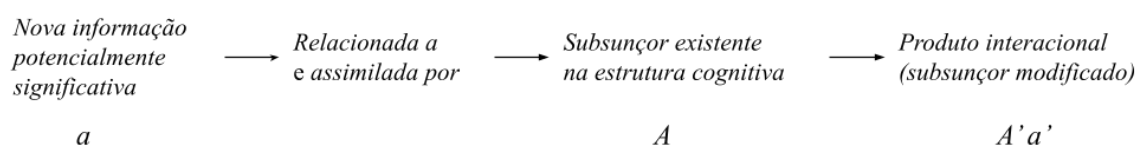


Fig. 1 – Esquema representativo do processo de assimilação. Adaptado de Moreira e Masini (1982).

Quando não há interação das novas informações com conhecimentos prévios ou, ainda, quando a relação se estabelece de maneira arbitrária e literal, dizemos que a aprendizagem é *mecânica*, a exemplo da simples memorização dos aspectos declarativos da visão consensual sobre a NdC, abordagem criticada por Allchin (2011) e Mathews (2012). Ao ampliarmos os paralelos entre a TAS e o ensino da NdC, as percepções dos indivíduos em relação à ciência, sejam elas alinhadas ou não ao que versa a literatura, podem vir a ser consideradas concepções, construtos, representações, modelos, proposições, ideias ou conceitos subsunçores, isto é, conhecimentos relevantes sobre a ciência. Nessa perspectiva, ao invés de somente apresentar, de modo expositivo e impositivo, certas características supostamente definidoras da ciência e do trabalho científico, um ensino que vise à aprendizagem significativa sobre a NdC deve considerar tais concepções prévias dos estudantes e, mediante materiais e propostas potencialmente significativas, promover sua interação com diferentes aspectos do empreendimento científico, a fim de transformá-las, diferenciá-las ou torná-las mais estáveis cognitivamente.

A diferenciação progressiva, definida como o “processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor [...] resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos” (Moreira, 2011a, p. 20), é considerada um dos pilares

que regem a dinâmica da estrutura cognitiva. Ao interagir com diferentes aspectos da NdC mediante o contato com atividades e materiais potencialmente significativos, as concepções prévias dos estudantes sobre o empreendimento científico podem se tornar mais ricas em significado, estabelecer novas interações com outros saberes, se diferenciando progressivamente à medida que tais interações se sucedem. Simultaneamente, os diferentes conhecimentos estabelecidos, assimilados e organizados na estrutura cognitiva do aprendiz passam pelo processo de reconciliação integrativa, que

*[...] do ponto de vista instrucional, é um princípio programático da matéria de ensino segundo o qual o ensino deve explorar relações entre ideias, conceitos, proposições e apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. Em termos cognitivos, no curso de novas aprendizagens, conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva podem ser reconhecidos como relacionados, reorganizarem-se e adquirir novos significados. Esta recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva é a reconciliação integrativa na óptica da organização cognitiva (Moreira, 2011c, p. 11).*

Para que tais processos ocorram de forma a propiciar aprendizagens significativas, três condições fundamentais devem ser satisfeitas: a) o material de instrução deve ser potencialmente significativo, ou seja, estruturado de forma a possibilitar a interação entre os conhecimentos prévios e novos; (b) a existência de subsunçores na estrutura cognitiva do aprendiz; e (c) a predisposição para se relacionar, de maneira não arbitrária e substantiva, os novos conteúdos aos seus conhecimentos prévios (Ausubel, 2003; Moreira, 2011a). Tais condições devem ser visadas por professores e pesquisadores em qualquer processo de ensino-aprendizagem, considerando, também, os processos da TAS na elaboração de materiais instrucionais e no planejamento de atividades pedagógicas, como empregado nas UEPS. Estas são definidas como “sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica” (Moreira, 2011c, p. 2), estruturadas e empregadas a partir de uma sequência não linear de passos (descritos na seção seguinte), que consideram os processos de assimilação, diferenciação progressiva, reconciliação integrativa em busca de potencializar aprendizagens significativas.

#### **IV. Aspectos metodológicos**

De abordagem *qualitativa*, o estudo caracteriza-se como *pesquisa participante*, haja vista a constante interação entre pesquisadores, sujeitos e situações investigadas, bem como a escolha dos procedimentos e métodos empregados em seu desenvolvimento (Gil, 2002; Prodanov; Freitas, 2013). Nesta perspectiva, o delineamento da investigação se deu a partir da imersão dos pesquisadores nos fenômenos de interesse, sob a óptica analítica da *observação participativa* (Moreira, 2011b), com registro em diário de bordo (Porlán; Martín, 1991) e aplicação de dois questionários, seguindo o modelo pré-teste e pós-teste. Com relação a seus

objetivos, classifica-se como uma *pesquisa exploratória* (Gil, 2002), uma vez que visa proporcionar maior aproximação ao potencial articulador de diferentes abordagens e referenciais teóricos ao ensino de Ciências ao identificar e relatar as potencialidades dessa articulação enquanto facilitadora de aprendizagens significativas.

A produção e coleta dos dados ocorreu ao longo de seis semanas de atividades de campo, entre os meses de setembro e novembro de 2024, período no qual os pesquisadores assumiram as aulas destinadas à disciplina de Ciências na grade curricular de uma turma de 7º ano do Ensino Fundamental. Os encontros ocorreram três vezes por semana, às tardes, em períodos de 55 minutos, totalizando mais de 18 horas de atividades realizadas em uma escola da rede municipal de ensino de Uruguaiana, na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. A escolha da instituição foi motivada pelo contato prévio dos pesquisadores com a comunidade e a gestão escolar, facilitando a comunicação e garantindo a colaboração necessária para o desenvolvimento da pesquisa no contexto local.

Embora 21 estudantes tenham participado das atividades, apenas 16 alunos (7 meninos e 9 meninas) foram considerados sujeitos da pesquisa, uma vez que, cientes da natureza da investigação e com a devida permissão de seus responsáveis, optaram por participar de forma voluntária. Um dos professores regentes da turma, responsável pela disciplina de Ciências, participou diretamente de todas as escolhas e ações envolvidas em cada etapa da pesquisa, do planejamento à produção e análise dos dados, facilitando a articulação entre pesquisadores, estudantes e a gestão escolar. Além disso, uma das auxiliares de inclusão da escola se fez presente durante todos os encontros, acompanhando três estudantes neurodivergentes durante a realização das atividades, conforme estabelecido pelas diretrizes e políticas educacionais vigentes no município.

O desenvolvimento da UEPS baseou-se na proposta de Moreira (2011c), considerando-se os pressupostos teóricos e o percurso metodológico originalmente sugerido pelo autor, organizado a partir de uma sequência de oito passos. Como reforçado por Garcia e Mendes (2023, p. 21), “esta sequência não deve ser considerada uma imposição, mas como uma sugestão, que deve ser flexível e planejada conforme as características dos conteúdos abordados e dos alunos em questão”. No Quadro 1, é apresentada uma breve sistematização dos aspectos sequenciais da UEPS, a partir da caracterização, descrição de informações essenciais e ações a serem executadas em cada etapa.

Durante as primeiras aulas, Moreira (2011c) propõe um movimento introdutório no sentido de realizar um contato inicial com os estudantes e identificar, reforçar e diferenciar conhecimentos prévios relevantes aos assuntos a serem abordados. Os aspectos mais gerais dos conteúdos devem ser apresentados na sequência, promovendo-se, gradativamente, a interação de seus significados com situações-problema de maior complexidade e especificidade, tendo em vista o processo de diferenciação progressiva. Nas etapas finais, as atividades propostas devem considerar o processo de reconciliação integrativa, promovendo a negociação de significados entre os estudantes em uma perspectiva avaliativa da aprendizagem individual e

coletiva, bem como da efetividade da própria unidade de ensino. Propomos nossa UEPS a partir de tais recomendações, como sistematizado no Quadro 2.

Quadro 1 – Sistematização dos aspectos processuais de uma UEPS. Adaptado de Moreira (2011c) e Garcia e Mendes (2023).

| Passo | Caracterização                                  | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | <i>Definição do conteúdo e dos conceitos</i>    | Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2     | <i>Investigação do conhecimento prévio</i>      | Propor situação(ões) que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta.                                                                                                                                                                                                          |
| 3     | <i>Situações-problema introdutórias</i>         | Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar.                                                                                                                                                                                                                  |
| 4     | <i>Diferenciação progressiva</i>                | Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos.                                                                                                                                               |
| 5     | <i>Situações-problema de maior complexidade</i> | Retomar os aspectos mais gerais, estruturantes, do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 6     | <i>Reconciliação integrativa</i>                | Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva, retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa.                                                                                                                                                                                                                       |
| 7     | <i>Avaliação da aprendizagem</i>                | A avaliação da aprendizagem deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. |
| 8     | <i>Efetividade da UEPS</i>                      | A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Quadro 2 – Sistematização dos aspectos processuais de uma UEPS. Adaptado de Moreira (2011c) e Garcia e Mendes (2023).

| Aula | Etapa da UEPS                                 | Conceitos                                                            | Aspectos da NdC                                           | Desenvolvimento                                                                                                            |
|------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | <i>Investigação dos conhecimentos prévios</i> | -                                                                    | -                                                         | Aplicação do Instrumento avaliativo inicial.                                                                               |
| 2    | <i>Situações-problema introdutórias</i>       | Sensação térmica<br>Temperatura<br>Calor                             | Instrumentos de medida                                    | Demonstração investigativa:<br><i>Sensação térmica</i><br>Caso histórico:<br><i>Invenção dos termômetros</i>               |
| 3    |                                               |                                                                      | Mutabilidade do conhecimento científico                   | Caso histórico:<br><i>Flogístico e a combustão</i><br>Demonstração investigativa:<br><i>O experimento de Lavoisier</i>     |
| 4    | <i>Diferenciação progressiva</i>              | Equilíbrio térmico<br>Temperatura                                    | Métodos de investigação<br><br>Comunicação na ciência     | Prática investigativa:<br><i>Medindo a temperatura</i><br>Caso histórico:<br><i>Comunicação na ciência</i>                 |
| 5    |                                               | Calor<br>Átomos<br>Energia                                           | Coletividade na ciência<br><br>Humanização dos cientistas | Caso histórico:<br><i>Calor e temperatura ao longo da história</i><br>Demonstração investigativa:<br><i>Simulação Phet</i> |
| 6    |                                               | Condutores e isolantes                                               | Publicação e revisão por pares                            | Caso histórico:<br><i>Publicação de artigos</i><br>Prática investigativa:<br>Considerações dos revisores                   |
| 7    |                                               | Máquinas térmicas                                                    | Financiamento de pesquisas                                | Caso histórico:<br><i>Revolução industrial e máquinas a vapor</i>                                                          |
| 8    | <i>Situações-problema complexas</i>           | Equilíbrio térmico<br>Calor<br>Temperatura<br>Condutores e isolantes | Erro e tentativa                                          | Prática investigativa:<br><i>Calor, temperatura e isolantes</i>                                                            |

Para a construção de nossa UEPS, selecionamos objetos do conhecimento e habilidades relativas ao ensino da Termodinâmica no Ensino Fundamental, previstas na estrutura curricular da escola, fundamentada a partir do Referencial Curricular Gaúcho (RCG)

e da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Os diferentes conceitos a serem trabalhados ao longo da unidade de ensino foram identificados e organizados sequencialmente para considerar os conhecimentos prévios dos estudantes, partindo de uma abordagem mais geral e inclusiva (como a noção intuitiva de temperatura) para os seus aspectos mais particulares. Paralelamente, selecionamos características da NdC comumente mencionadas na literatura (Borba; Franco; Spohr, 2025) passíveis de serem relacionadas aos referidos conteúdos e exploradas a partir de diferentes estratégias didáticas.

Ao longo da implementação da UEPS, nove instrumentos avaliativos foram aplicados, envolvendo a interpretação de textos de cunho histórico, a produção de textos dissertativo-argumentativos e a descrição de processos realizados durante as atividades investigativas. Os aspectos declarativos e procedimentais avaliados em cada instrumento foram adaptados aos diferentes momentos de sua aplicação, visando identificar, em cada etapa da UEPS, indícios de aprendizagem significativa, entendidos como a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis sobre a NdC. Neste trabalho, assumimos como *corpus* de análise o registro no diário de bordo dos pesquisadores e os resultados do questionário avaliativo inicial (pré-teste) e do questionário avaliativo final (pós-teste), realizados, respectivamente, durante o primeiro e o último encontro da unidade de ensino, considerando a necessidade de outros trabalhos para a investigação dos demais instrumentos.

Na estrutura de ambos os testes<sup>2</sup>, considerando os objetivos da pesquisa, foram incluídas atividades contextualizadas a partir de casos históricos da ciência e a “resolução de problemas de lápis e papel” (Carvalho, 2018), em uma perspectiva pautada no ensino investigativo. Seguindo as recomendações de (Allchin, 2011, 2017), optamos pelo emprego de questões dissertativas de formato aberto, buscando avaliar as habilidades analíticas e argumentativas de cada estudante, além da forma como diferentes aspectos da ciência eram descritos, articulados e aplicados a situações concretas. A posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis sobre a NdC foi analisada em uma perspectiva individual e coletiva, empregando-se o processo cíclico e auto-organizado da ATD (Moraes; Galianzi, 2016), organizado em três etapas.

Na primeira etapa, denominada de *unitarização*, os textos do corpus foram fragmentados em segmentos menores, chamados de Unidades de Significado ou Unidades de Análise. Os fragmentos provenientes do pré-teste e do pós-teste foram codificados como AI (avaliação inicial) ou AF (avaliação final), seguido da letra Q e do número correspondente à questão do instrumento de onde o fragmento foi retirado. Na sequência, foi atribuída a letra A acompanhada de um número natural para identificar o(a) aluno(a) que respondeu à questão, isto é, as unidades AIQ1A10.1 e AIQ1A10.2 representam, respectivamente, o primeiro e o segundo fragmento extraídos da resposta do aluno 10 (A10) à questão 1 (Q1) do instrumento avaliativo

---

<sup>2</sup> Os instrumentos empregados na coleta e análise dos dados encontram-se disponibilizados integralmente em repositório de acesso aberto, disponível em: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32588871>. Acesso em: 5 jun. 2026.

inicial (AI). De forma semelhante, foram atribuídas as iniciais DB para os fragmentos originados do diário de bordo, seguidas de um número natural indicando a aula em que foi registrada e sua posição no instrumento. Por fim, cada unidade de significado foi reescrita e intitulada, no intuito de conservar o seu significado a partir do contexto de origem, como exemplificado pelo Quadro 3.

Quadro 3 – Exemplificação do processo de unitarização. Elaborado pelos autores.

| Aluno(a) | Resposta à questão [sic]                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Unidade de Significado                                                                                                                             | Unidade de Significado Reescrita                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A10      | <i>"Iria fazer igual o modelo da pergunta anterior, colocando as duas 'tijelas' com gelo, com a mesma temperatura do local para visualizar com os próprios olhos, qual derreteria primeiro. Esse experimento também funciona com a mesma tijela, mas com a temperatura do local diferente uma da outra"</i> | <b>AIQ1A10.1 – Controle da temperatura ambiente</b><br><i>"[...] colocando as duas 'tigelas' com gelo, com a mesma temperatura do local [...]"</i> | Controle da temperatura ambiente, externa ao fenômeno investigado, mas sem mencionar o uso de instrumentos. |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>AIQ1A10.2 – Observação direta para comparar variável</b><br><i>"[...] para visualizar com os próprios olhos, qual derreteria primeiro."</i>     | Comparação da variável tempo através dos sentidos, sem uso de instrumentos.                                 |

Na etapa seguinte, conhecida como *categorização*, as unidades de significado constituintes do *corpus* passaram por um processo de combinação e classificação a partir de seus significados, individuais e coletivos, e relações destes aos objetivos da pesquisa. Neste processo, executado de forma cíclica, foram construídas categorias de caráter emergente, advindas da análise crítica dos dados e seus significados, obedecendo-se aos princípios da pertinência e homogeneidade (Moraes; Galiuzzi, 2016). As categorias foram organizadas em três níveis de abrangência — inicial, intermediário e final — sendo nomeadas e definidas com nível crescente de precisão, diferenciação e inclusão.

A última etapa, conhecida como *captação do novo emergente*, consistiu na produção de um metatexto, desencadeado pelo intenso envolvimento dos pesquisadores com os dois estágios anteriores, resultando na emergência de uma renovada compreensão dos dados analisados (Moraes; Galiuzzi, 2016). A execução deste processo ocorreu através do estabelecimento de interações entre as categorias emergentes e as novas interpretações dos dados advindas da análise, comunicadas mediante a produção de textos parciais que, ao longo do processo de ATD, estruturaram o metatexto final, apresentado na seção seguinte.

## V. Avaliação inicial: Concepções prévias sobre a NdC

A aplicação do instrumento avaliativo inicial foi realizada durante a aula inaugural da UEPS, com o objetivo de identificar concepções prévias dos estudantes e subsunções potencialmente relevantes, tanto para os objetivos da pesquisa quanto para o delineamento da unidade de ensino. Das sete questões que compunham o instrumento, duas eram destinadas à avaliação de conceitos relacionados à Termodinâmica, enquanto as cinco restantes tratavam de aspectos da NdC, sendo estas últimas aquelas consideradas para fins de análise neste artigo. Ao final do processo de análise, foram identificadas 33 unidades de significado agrupadas em 12 categorias iniciais (subsunções apresentados pelos estudantes) que, por sua vez, deram origem a 4 categorias intermediárias e 2 categorias finais, como sistematizado no Quadro 4.

Quadro 4 – Processo de categorização do pré-teste. Elaborado pelos autores.

| Categorias iniciais (subsunçores)                   | Categorias intermediárias                               | Categorias finais                                            |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Registro do experimento (n = 3)                     | Instrumentalização da prática investigativa (n = 5)     | Dimensão experimental do empreendimento científico (n = 15)  |
| Instrumentos de medida (n = 2)                      |                                                         |                                                              |
| Experimentos controlados (n = 3)                    | Técnicas e processos da ciência (n =10)                 |                                                              |
| Observação direta (n = 3)                           |                                                         |                                                              |
| Experimentos como sinônimo de ciência (n = 4)       |                                                         |                                                              |
| Tecnologia como produto da ciência (n = 5)          | Relações entre ciência, tecnologia e sociedade (n = 14) | Dimensão sociocultural do empreendimento científico (n = 18) |
| Interdependência entre ciência e tecnologia (n = 5) |                                                         |                                                              |
| Distinção entre ciência e tecnologia (n = 3)        |                                                         |                                                              |
| Ciência associada a demandas sociais (n = 1)        |                                                         |                                                              |
| Empreendimento individual (n = 1)                   | Colaboração entre cientistas (n = 4)                    |                                                              |
| Coletividade na produção científica (n = 1)         |                                                         |                                                              |
| Comunicação entre cientistas (n = 2)                |                                                         |                                                              |

A categoria *Dimensão experimental* do empreendimento científico compreende unidades de significado que expressam percepções dos sujeitos sobre aspectos metodológicos, procedimentais e instrumentais da ciência, concebida como um “sistema cognitivo-epistemológico de pensamento e prática” (Irzik; Nola, 2014, p. 1003, tradução nossa). Consideramos que as competências e habilidades mobilizadas na realização de práticas científico-investigativas — como a formulação de hipóteses, coleta de dados e a manipulação de variáveis — integram o escopo da NdC, pois, como argumentam Hodson e Wong (2017),

estão intimamente associadas à atribuição de status, validade e confiabilidade do conhecimento científico. Sob essa perspectiva, a análise do instrumento inicial permitiu a identificação de subsunçores que, embora apresentem certas limitações, indicam posse de significados adequados sobre a NdC por parte de alguns estudantes.

Na primeira questão do instrumento, solicitou-se aos alunos que elaborassem e descrevessem um experimento com o objetivo de comparar o tempo de fusão de cubos de gelo em duas condições distintas: (a) no interior de uma tigela e (b) envoltos por um pano de lã. Em trecho do diário de bordo (DB1.1), há registro de que alguns alunos demonstraram dificuldades na compreensão da tarefa proposta, o que pode indicar, senão o desconhecimento, ao menos uma familiaridade limitada com procedimentos investigativos no contexto escolar.

*A questão envolvendo o experimento científico deixou os estudantes, em um primeiro momento, um pouco desconfortáveis, demonstrando dificuldade em compreender o que deveria ser feito. Alguns alunos perguntaram se poderiam descrever o mesmo experimento da imagem, não identificando outros elementos importantes para a realização de uma investigação científica. Tive de explicar o objetivo da questão mais de uma vez até que todos a tivessem compreendido.*

Uma compreensão abrangente, contextualizada e adequada da NdC deve envolver a internalização de uma série de significados inerentes aos padrões legitimados de condução, registro e validação empregados nas investigações científicas (Allchin, 2011, 2017; Hodson; Wong, 2017; Irzik; Nola, 2014). Ao transpor tal escopo ao contexto e ao currículo do Ensino Fundamental, espera-se que ao menos noções básicas sobre a atividade investigativa, como o entendimento de possíveis erros decorrentes de medições não padronizadas, resultados do mau uso de instrumentos, a importância da coleta e registro dos dados e o controle de variáveis sejam reconhecíveis e empregados pelos estudantes. Apesar da hesitação inicial perante a atividade, como relatado no diário de bordo, a posterior análise dos resultados evidenciou indícios da internalização de certos aspectos procedimentais e instrumentais da prática científica nas respostas dos estudantes.

Em *Instrumentalização da prática científica*, agrupam-se unidades de significado que indicam percepções acerca da importância do emprego de instrumentos no processo de planejamento, condução, registro e validação experimental. As respostas de alguns estudantes revelam uma valorização da tecnologia como ferramenta de apoio à observação e ao registro sistemático de experimentos, evidenciando um entendimento sobre a presença da instrumentalização no cerne da produção de dados científicos confiáveis (Irzik; Nola, 2014; Rau; Antink-Meyer, 2020). Enquanto os alunos A1, A12 e A15 destacam o uso do celular para registrar e analisar o fenômeno, os alunos A6 e A11 mencionam o emprego de instrumentos de medida (relógio e cronômetro), indicando aproximação às práticas próprias da investigação científica, em que a mediação instrumental é elemento essencial da validação e rigorosidade empírica.

O fato de somente cinco unidades de significado terem sido identificadas na referida categoria indica uma compreensão ainda restrita por parte da turma sobre a importância da instrumentalização para a prática científica ou, ao menos, subsunções pouco elaborados sobre o assunto. Durante a quarta aula da UEPS, os estudantes realizaram a primeira prática investigativa em grupo, na qual, a partir de um problema proposto pelos pesquisadores, tiveram autonomia para elaborar hipóteses, planejar e conduzir um experimento utilizando os recursos disponíveis no laboratório de ciências da escola. Em trecho do diário de bordo (DB4.2), é possível identificar dificuldades dos alunos no uso e manuseio de instrumentos de medição, que reforçam os indícios da necessidade de maior familiarização com os aspectos operacionais da prática científica.

*Alguns estudantes apresentaram dificuldades na utilização dos termômetros durante a realização dos experimentos, os utilizando com a capa de proteção (que deve ser retirada) e, por conta disso, obtendo resultados insatisfatórios. Outros grupos acabaram demonstrando dificuldade na leitura do instrumento, optando por não registrar os valores de temperatura observados ao longo da atividade em seus relatórios. Nenhum grupo fez uso de celulares para cronometrar ou mesmo registrar o experimento.*

Na categoria *Técnicas e processos da ciência*, reúnem-se unidades de significado que revelam compreensões variadas e, em certos casos, complementares, sobre aspectos do domínio observacional da ciência (Allchin, 2017). Em *Experimentos controlados*, destaca-se a atenção dos estudantes A10 e A15 à temperatura ambiente, e do estudante A14 ao tempo de exposição ao fenômeno, indicando noções básicas sobre a importância da manipulação e controle de variáveis para a validade de experimentos. Embora os discursos indiquem indícios de aprendizagens do domínio experimental da ciência, os alunos apresentam dificuldades em relacionar tais conhecimentos aos contextos práticos das atividades investigativas, o que pode sugerir a posse de subsunções pouco discriminados ou inclusivos sobre o assunto.

Tal constatação também se apoia em observações diretas feitas pelos pesquisadores, como relatado em trecho do diário de bordo (DB6.1) a respeito das atividades desenvolvidas durante a quarta aula da UEPS:

*Há algumas aulas atrás [aula 4], os alunos haviam realizado uma prática investigativa em grupo, na qual tiveram de elaborar e realizar experimentos para testar hipóteses sobre o tema “equilíbrio térmico”. Ao corrigir os resultados entregues pelos estudantes, percebi que muitos grupos haviam cometido erros básicos relacionados à condução de investigações sistemáticas, como a ausência de registro dos dados aferidos e a falta de grupo controle, demonstrando falta de familiaridade com tais aspectos das atividades experimentais.*

No grupo *Observação direta*, as respostas revelam uma valorização dos estudantes A3, A10 e A14 à observação como alternativa primeira à prática investigativa, o que pode indicar tanto a ausência de percepções sobre o emprego de técnicas instrumentais quanto a posse de

visões empírico-indutivistas e a-teóricas (Gil-Pérez *et al.*, 2001; Peduzzi; Raicik, 2020). De forma semelhante, ao analisarmos o agrupamento *Experimentos como sinônimo de ciência*, observamos uma concepção estritamente empírica de ciência (A8, A6 e A15), centrada na experimentação como núcleo da atividade investigativa, o que pode indicar posse de subsunçores pouco discriminados e não hierarquizados. A partir da reunião de tais indícios, interpretamos que, apesar de os discursos de alguns estudantes apresentarem aspectos da dimensão experimental da ciência, tais subsunçores carecem de maior diferenciação, clareza e, principalmente, interações com outros aspectos da NdC.

A segunda categoria final, *Dimensão sociocultural do empreendimento científico*, abrange unidades de significados relativas às compreensões dos sujeitos sobre a existência de diferentes agentes que, deliberadamente ou não, influenciam o desenvolvimento científico e são por ele influenciados. As categorias intermediárias agrupam-se em dois níveis de atuação e contexto, que incluem tanto as percepções sobre características internas à comunidade científica (*Competição e colaboração entre cientistas*), quanto externas, no entendimento da multiplicidade de interações entre a ciência e os seus entornos (*Relações entre ciência, tecnologia e sociedade*). Os resultados da análise sugerem que, embora alguns estudantes apresentem subsunçores relacionados à natureza histórico-social do desenvolvimento científico, ainda prevalecem visões distorcidas sobre a natureza humana da ciência e sua relação com a produção tecnológica, frequentemente marcadas por percepções simplificadas, utilitaristas e individualistas.

Na categoria *Relações entre ciência, tecnologia e sociedade*, agrupam-se unidades de significado que indicam o reconhecimento, por parte dos estudantes, das múltiplas interações entre o desenvolvimento científico e a criação de novas tecnologias, em direção ao que propõe o movimento CTS (ou CTSA). Em *Tecnologia como produto da ciência*, as respostas (A7, A8, A11 e A14) sugerem uma percepção utilitarista da ciência, a partir da qual a produção tecnológica é percebida como resultado da ciência aplicada. Tal percepção, comumente identificada nos discursos de estudantes, professores e materiais didáticos (Gil-Pérez *et al.*, 2005; McComas, 2020; Rau; Antink-Meyer, 2020), muitas vezes reforçadas pela ausência de certas características da tecnologia ou práticas investigativas no ensino de Ciências, podem resultar na manutenção ou fortalecimento de visões distorcidas sobre a NdC, como as visões neutras, descontextualizada, elitistas e rígidas da ciência, bem como sua exaltação enquanto forma absoluta de progresso (Gil-Pérez *et al.*, 2005).

Por outro lado, na categoria *Distinção entre ciência e tecnologia*, o aluno A11 sugere que a “*ciência não necessita tanto da tecnologia*” (AIQ3A11.2), posicionando seu discurso na contramão de seus colegas, relativizando a conexão entre a produção científica e tecnológica, e reforçando demarcações claras entre ambos. Embora esteja parcialmente adequada ao que versa a literatura, ao considerar, por exemplo, os experimentos mentais como parte integrante da compreensão do fazer científico (Peduzzi; Raicik, 2020), a resposta do aluno pode dar margem a interpretações que excluam ou subjuguem a importância das tecnologias como centro do

processo investigativo. Nesse sentido, as unidades de significado agrupadas na categoria *Interdependência entre ciência e tecnologia* revelam respostas (A6, A10, A11, A14 e A15) que indicam visões adequadas sobre o tema, considerando que, embora não sejam similares, ciência e tecnologia compartilham aspectos e objetivos em comum.

Na categoria *Ciência associada a demandas sociais*, formada por somente uma unidade de significado, observa-se a intenção do aluno A11 em relacionar o trabalho de Thomas Savery — inventor de uma das primeiras máquinas a vapor da história — à atuação dos cientistas e, conseqüentemente, à produção do conhecimento científico, associando-o ao “contexto no qual ele é produzido” (Moura, 2014, p. 36). Nessa perspectiva, o fazer científico assume uma natureza prática, mas que, diferentemente das percepções identificadas anteriormente na categoria *Tecnologia como produto da ciência*, revela-se influenciada pelas necessidades e reivindicações de uma sociedade situada em um dado contexto histórico, social e cultural. Aqui, interpretamos, ainda que sutilmente, uma percepção do aluno sobre a atuação de fatores externos ao empreendimento científico (Bejarano; Aduriz-Bravo; Bonfim, 2019; Moura, 2014), que, através de determinantes políticos, econômicos, ideológicos e culturais, influenciam em seu desenvolvimento e validação.

Nesta mesma perspectiva, a categoria *Colaboração entre cientistas* reúne respostas dos estudantes que sugerem percepções sobre o papel das relações humanas no fazer científico, ressaltando tanto a natureza coletiva da produção científica, quanto a necessidade de comunicação entre pesquisadores e grupos de pesquisa. Quantitativamente, a categoria agrupa a menor quantidade de unidades de significado (apenas 4), o que pode indicar a necessidade de que essas características sejam apresentadas aos estudantes com maior grau de inclusividade de generalização, a fim de que possam servir como ponto de ancoragem para novos aspectos da NdC. Somado a isso, a categoria *Empreendimento individual* revela uma percepção sobre a construção do conhecimento científico que se apoia no mito dos grandes gênios, reforçando estereótipos individualistas e elitistas, como destacado no seguinte trecho do diário de bordo:

*Quando perguntei onde seria o local de trabalho de um cientista, a resposta mais óbvia, “laboratório”, veio em uníssono. Ao provocá-los a pensar em outros exemplos, no entanto, eles não conseguiram sugerir nada além disso. [...] O cientista é colocado em uma posição distante da realidade dos alunos, mas de prestígio, o que fez com que eles, em dado momento, se sentissem elogiados ao serem comparados a pesquisadores. Quando questionei se eu, aluno de pós-graduação, poderia ser considerado um cientista, recebi olhares e respostas cheios de dúvidas (DB2.1).*

Essa percepção, como mencionam Peduzzi e Raicik (2020), “exalta o individualismo na figura de seres especiais, diferenciados, com contribuições relevantes à ciência” ao omitir equívocos, personagens importantes e outras possibilidades de conhecimentos alternativos ao paradigma vigente (Kuhn, 1962) e as pesquisas que o contemplam. Em contraste, as duas últimas categorias iniciais, *Coletividade na produção científica* e *Comunicação entre cientistas*, revelam percepções que, embora referentes a somente dois estudantes, tensionam essa visão

individualista, ao destacarem que o desenvolvimento da ciência se dá por meio da interação, da troca de ideias e da cooperação entre pesquisadores. Ainda assim, em trecho do diário de bordo, ressaltam-se fragilidades nas compreensões dos estudantes frente ao que tange tal aspecto da NdC:

*O desconhecimento, por parte da turma, da existência de uma comunidade científica me chamou a atenção. Os alunos, ao serem questionados de que forma os cientistas partilham informações, deram respostas como “mensagens”, “dialogando entre si” e “através do WhatsApp”. Provoquei eles a respeito da divulgação científica feita em matérias televisivas e documentários, mas, ainda assim, ninguém mencionou artigos científicos, livros ou outras publicações científicas de qualquer natureza (DB2.2).*

Apesar de essas categorias reunirem unidades de significado que ressaltam a troca de informações e ideias entre pesquisadores como característica da atividade científica, o registro no diário de bordo sugere que, de forma geral, os estudantes mantêm um contato bastante superficial com os modos como essa socialização ocorre no contexto real da ciência. Ao serem questionados sobre como os cientistas compartilham informações, muitos recorreram a respostas como “mensagens” e “WhatsApp”, e, mesmo quando provocados sobre divulgação científica, não citaram livros, periódicos ou artigos. Ao nosso entender, embora haja indícios de compreensão pontual sobre a colaboração entre cientistas, esse conhecimento mostra-se pouco elaborado e discriminado, o que pode acabar dificultando a ancoragem de novos significados relacionados à comunicação científica e ao papel da coletividade na validação do conhecimento, como observado durante a UEPS.

## **VI. Avaliação final — revisitando olhares sobre a NdC**

O instrumento avaliativo final foi aplicado a todos os 16 sujeitos participantes da pesquisa no último encontro previsto para a UEPS, no intuito de investigar suas concepções sobre a NdC e potenciais indícios de aprendizagens significativas sobre o tema. Das dez questões que compunham o instrumento, cinco voltavam-se à avaliação de conceitos relacionados à Termodinâmica, enquanto as outras cinco tratavam de aspectos da NdC, sendo estas últimas aquelas consideradas para fins de análise neste artigo. Após a aplicação da ATD, foram identificadas 79 unidades de significado agrupadas em 20 categorias iniciais que, por sua vez, deram origem a 7 categorias intermediárias e 3 categorias finais, como sistematizado no Quadro 5.

Quadro 5 – Processo de categorização do pós-teste. Elaborado pelos autores.

| Categorias iniciais                                                          | Categorias intermediárias                                            | Categorias finais                                            |  |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--|
| Teorias são confirmações de uma hipótese (n = 2)                             | O conhecimento científico possui respaldo empírico (n = 10)          | Dimensão experimental do empreendimento científico (n = 21)  |  |
| Hipóteses são suposições sobre um resultado (n = 2)                          |                                                                      |                                                              |  |
| Teorias resultam de testes e experimentos (n = 4)                            |                                                                      |                                                              |  |
| A observação precede a escrita de um artigo (n =1)                           |                                                                      |                                                              |  |
| Hipóteses são vinculadas a atividade experimental (n = 1)                    |                                                                      |                                                              |  |
| Apenas teorias verdadeiras são publicadas em revistas (n = 1)                | O conhecimento científico é validado a partir de critérios (n = 11)  |                                                              |  |
| Artigos atendem a padrões de qualidade (n = 10)                              |                                                                      |                                                              |  |
| Teorias são revistas frente a novos resultados empíricos (n = 9)             | O conhecimento científico pode ser questionado e modificado (n = 12) | Dimensão conceitual do empreendimento científico (n = 16)    |  |
| Teorias são substituídas por outras mais adequadas (n = 3)                   |                                                                      |                                                              |  |
| Teorias são explicações para um fenômeno (n = 1)                             | As teorias apresentam uma natureza e uma função (n = 4)              |                                                              |  |
| Indistinção entre hipóteses e teorias (n = 2)                                |                                                                      |                                                              |  |
| Teorias são verdades incontestáveis (n = 1)                                  |                                                                      |                                                              |  |
| Artigos são produzidos de forma colaborativa (n = 7)                         | O conhecimento científico é uma construção coletiva (n = 18)         | Dimensão sociocultural do empreendimento científico (n = 42) |  |
| Teorias são construídas a partir de múltiplas pesquisas (n = 3)              |                                                                      |                                                              |  |
| Hipóteses são previsões individuais ou coletivas (n = 8)                     |                                                                      |                                                              |  |
| O trabalho científico é eminentemente masculino (n = 2)                      | Humanização do cientista e do trabalho científico (n = 7)            |                                                              |  |
| Mulheres foram invisibilizadas o longo do tempo (n = 2)                      |                                                                      |                                                              |  |
| Todos podem fazer ciência (n = 1)                                            |                                                                      |                                                              |  |
| Relações pessoais dos pesquisadores podem influenciar suas pesquisas (n = 2) |                                                                      |                                                              |  |

|                                                                       |                                                         |  |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--|
| Questões sociais impactam o desenvolvimento científico (n = 6)        | A ciência é influenciada por questões externas (n = 17) |  |
| O desenvolvimento tecnológico impacta a produção científica (n = 2)   |                                                         |  |
| Questões ambientais influenciam no desenvolvimento da ciência (n = 2) |                                                         |  |
| Tecnologias influenciam novas pesquisas e teorias (n = 1)             |                                                         |  |
| Ciência e sociedade se impactam mutuamente (n = 6)                    |                                                         |  |

Na primeira questão do instrumento avaliativo final, foi proposto aos estudantes que descrevessem suas percepções sobre hipóteses e teorias científicas, diferenciando-as a partir de suas caracterizações. Com exceção de dois alunos (A5 e A9), cujas respostas não apresentaram significados claros e bem discriminados sobre ambos os conceitos, ao afirmarem que uma *“teoria científica é o que os cientistas acreditam”* (AFQ1A5.1) e que *“um experimento que nunca foi testado”* (AFQ1A9.1), encontramos resultados potencialmente positivos, especialmente em comparação com a análise do pré-teste. Ressaltamos que, embora a posse de significados claros sobre tais termos, por si só, não indique domínio funcional da NdC (Allchin, 2017) ou mesmo aprendizagens significativas sobre o assunto (Ausubel, 2003), ao dissertar sobre o tema, os estudantes mobilizam diferentes conhecimentos acerca da ciência que, através da ATD, puderam ser investigados.

Nas categorias *Hipóteses são previsões individuais ou coletivas* e *Hipóteses são suposições sobre um resultado*, diferentes alunos (A2, A3, A6, A7, A10, A11, A13, A14, A15 e A16) estabeleceram uma relação direta entre a formulação de hipóteses e a previsão de resultados em um contexto científico e investigativo, a exemplo da aluna A14, ao dizer que a *“hipótese é uma possível resposta para uma pergunta”* (AFQ1A14.2), ou do aluno A7, ao afirmar que *“hipótese é uma opinião (chute) de um possível resultado”* (AFQ1A7.1). Interpretamos tais percepções como positivas, uma vez que, ao resgatarmos a análise do pré-teste, iremos verificar a ausência completa de unidades que tratem do assunto, indicando a possibilidade de assimilação desses significados ao longo dos encontros da UEPS. Além disso, identificamos unidades de significado (AFQ1A2.2, AFQ1A11.2, AFQ1A6.1, AFQ1A3.1) em que há uma referência indireta ao desenvolvimento científico enquanto um trabalho colaborativo, considerando as hipóteses como construções que emergem da coletividade entre cientistas, sugerindo uma compreensão da natureza social da ciência.

Por outro lado, identificamos recorrentemente nas respostas do pós-teste alguns termos contestáveis, como os verbos “achar”, “pensar” e “acreditar”, indicando, a exemplo da unidade AFQ1A7.1, uma aproximação das visões de alguns estudantes ao relativismo metodológico e

conceitual extremo do método científico e da neutralidade do processo investigativo, omitindo o papel dos conhecimentos prévios na construção de hipóteses de pesquisa (Gil-Pérez *et al.*, 2001; Peduzzi; Raicik, 2020). Ademais, na categoria *Hipóteses são vinculadas à atividade experimental*, a aluna A12 afirma que “*uma hipótese é uma coisa relacionada a experiência*” (AFQ1A12.1), o que pode indicar a manutenção de uma percepção equivocada sobre a experimentação como único meio legítimo de se produzir conhecimentos científicos. Associada a essa constatação, observamos na unidade AFQ1A16.1 — “*hipótese é achar que aquilo dá certo ou errado*” — o uso dos termos “certo” e “errado”, que se distancia da natureza falseável do conhecimento científico (Popper, 2005) e sugere a compreensão de hipóteses como verdades a serem confirmadas, e não como proposições suscetíveis à refutação.

A construção de teorias científicas, na visão de alguns estudantes (A2, A11 e A12), está diretamente relacionada ao resultado de pesquisas, investigações e experimentos, como pode ser observado em *Teorias são construídas a partir de múltiplas pesquisas* e em *Teorias resultam de testes e experimentos*. Na primeira categoria, observamos a intenção dos alunos em reforçar o papel da comunidade científica no que diz respeito à validação de ideias e a construção de corpos teóricos, a exemplo do aluno A11, ao afirmar que “*uma teoria científica depende de várias pesquisas*” (AFQ1A11.1). Já na segunda categoria, as teorias científicas parecem ser percebidas como a forma final de hipóteses supostamente corretas, o que envolveria a realização de testes e a condução de experimentos controlados, a exemplo da resposta “*uma teoria é algo que aconteceu no nosso experimento, e que achamos que está certo*” (AFQ1A3.2), dada pela aluna A3.

O termo “certo”, empregado em algumas respostas, sugere a adesão a concepções baseadas em modelos tradicionais, positivistas, rígidos, estritamente empíricos e indutivistas do processo científico (Gil-Pérez *et al.*, 2001; Popper, 2005). Como destacam Peduzzi e Raicik (2020), o conhecimento científico — especialmente as leis e teorias — não emerge exclusivamente da observação ou da experimentação, mas da interação desses elementos com a criatividade e a capacidade interpretativa do intelecto humano, uma vez que os dados, por si só, não geram teorias. Nesse contexto, a categoria *Teorias são explicações para um fenômeno*, embora composta unicamente pela unidade AFQ1A14.1, revela uma compreensão mais consistente com essa perspectiva sobre a NdC, diferindo das categorias *Teorias são confirmações de uma hipótese* e *Teorias são verdades incontestáveis*, as quais refletem concepções ingênuas e alinhadas à falácia da progressão linear do conhecimento científico e da transformação de hipóteses em leis e teorias (Kuhn, 1962; McComas, 2020).

Na segunda questão do instrumento avaliativo final, os estudantes apontaram motivos que poderiam levar à modificação ou substituição de uma teoria científica ao longo do tempo, com o objetivo de investigar suas percepções sobre a natureza provisória do conhecimento científico e, em sentido mais amplo, sobre os conceitos de paradigmas e revoluções científicas (Kuhn, 1962). Como destaca McComas (2020), uma das regras fundamentais que orientam o desenvolvimento da ciência — e que sustenta a confiabilidade de seus produtos — é o princípio

de que as interpretações científicas são passíveis de revisão, a partir dos próprios mecanismos de autocorreção que estruturam a prática científica. Nessa perspectiva, os dados analisados resultaram em três categorias iniciais que refletem compreensões alinhadas a essa natureza provisória e ao caráter evolutivo do conhecimento científico.

Na categoria *Teorias são revistas frente a novos resultados empíricos*, identificamos diversas unidades de significado (A1, A7, A11, A12, A13, A14 e A15) que associam o caráter provisório das teorias científicas à realização contínua de pesquisas e a produção de novas evidências sobre um certo assunto. Os termos “errado” e “correto” aparecem com frequência nas respostas dos alunos, como nas unidades AFQ2A11.1 — “*Quando muitas pesquisas mostram que ela está errada [...]*” — e AFQ2A14.1 — “*Pesquisas que comprovem que a teoria não estava correta*”, corroborando com a nossa interpretação de que os significados assimilados pelos alunos ainda refletem uma compreensão simplista e positivista sobre o desenvolvimento científico. Apesar de a percepção dos estudantes sobre a provisoriedade do conhecimento ser positiva, considerando a sua não identificação na análise do pré-teste, ainda requer maior elaboração, na medida em que a ciência trabalha com modelos explicativos em uma perspectiva evolutiva e não linear, em que teorias são substituídas ou refinadas, e não simplesmente classificadas como verdadeiras ou falsas (Kuhn, 1962; Popper, 2005).

Novas ferramentas, técnicas e processos podem modificar as percepções e interpretações dos cientistas frente aos dados, além de possibilitar a obtenção de evidências com maior grau de precisão, confiabilidade e abrangência, contribuindo diretamente para a revisão ou até a substituição de teorias científicas inseridas em um dado paradigma (McComas, 2020). Na categoria *Tecnologias influenciam novas pesquisas e teorias*, a aluna A1 reconhece que as teorias científicas podem ser revistas a partir da realização de novos testes e investigações, destacando que “[...] *a gente criou várias máquinas e objetos para nos ajudar*” (AFQ2A1.2), sugerindo a percepção do papel das tecnologias no desenvolvimento da ciência. A relação entre ciência e tecnologia se destacou nos resultados do pré-teste, motivo pelo qual se esperava que essa compreensão também se refletisse de forma mais consistente na percepção dos estudantes sobre a provisoriedade do conhecimento científico. No entanto, sua emergência em apenas uma unidade de significado pode indicar que essa interação ainda não foi devidamente consolidada na estrutura cognitiva dos alunos ao longo da UEPS.

Já na categoria *Teorias são substituídas por outras mais adequadas*, identificamos unidades (A3, A6 e A10) que atribuem as mudanças teóricas à formulação de novas explicações mais consistentes e melhor alinhadas às evidências disponíveis. Esse entendimento é ilustrado na fala do aluno A10, que afirma: “*Os cientistas acham uma teoria que seja melhor ou que se encaixe melhor*”, revelando a compreensão de que a ciência opera em um processo de comparação, avaliação e substituição de modelos, em busca de explicações mais coerentes sobre a natureza. Essa percepção dialoga com a visão de Kuhn (1962), segundo a qual as revoluções científicas ocorrem quando teorias concorrentes oferecem soluções mais

satisfatórias aos problemas não resolvidos pelos paradigmas anteriores, indicando posse de uma visão não linear do desenvolvimento da ciência.

Na terceira questão do instrumento, investigamos as compreensões dos estudantes sobre os contextos, etapas e agentes envolvidos na comunicação da ciência, propondo que explicitassem seus entendimentos sobre os processos de revisão por pares e a publicação de artigos em revistas científicas. Ao resgataremos a análise dos conhecimentos prévios dos estudantes (resultados do pré-teste), observamos indícios de assimilação de novos significados referentes a esses aspectos da NdC, a partir da identificação de unidades de análise que expressam uma compreensão bastante coerente a respeito de diferentes dimensões do processo de produção e socialização da ciência. Na categoria *Artigos são produzidos de forma colaborativa*, os alunos se referem ao processo de revisão por pares como uma “avaliação” das pesquisas enviadas para um periódico científico, realizadas por outros cientistas, a exemplo das unidades AFQ3A2.1 — “o editor manda os seus resultados para outros cientistas avaliarem” — e AFQ3A10.1 — “outros cientistas recebem o artigo e revisam se está tudo certo”.

Já em *Artigos atendem a padrões de qualidade*, os estudantes mobilizam entendimentos relacionados ao funcionamento do sistema de publicação em periódicos científicos, articulando alguns dos elementos que garantem seu rigor, validação e confiabilidade. Diferentes alunos (A1, A3, A6, A8, A9, A10, A11, A13, A14 e A16) referem-se a certos padrões ou critérios de qualidade adotados pelas revistas científicas, como exemplifica a aluna A6, ao afirmar que, ao ser submetido, “[...] esse artigo passa pelo processo de revisão, e se [...] satisfazer os padrões da revista, ele é publicado” (AFQ3A6.1). A prática do anonimato na avaliação foi destacada pelo aluno A16, que explica que “os cientistas, sem revelar suas identidades, enviam os artigos [...]” (AFQ3A16.1), sugerindo uma compreensão sobre a imparcialidade no processo de publicação científica. Já a aluna A10 menciona que, após a revisão por pares. “[...] o artigo é mandado de volta para o cientista [...]” (AFQ3A10.2), referindo-se ao processo de devolutiva do editor da revista aos autores da pesquisa.

Em trecho do diário de bordo (DB2.2), citado durante a análise do pré-teste, destacamos o desconhecimento dos estudantes quanto à existência de uma comunidade científica, bem como das diferentes mídias através das quais as pesquisas são compartilhadas e socializadas entre cientistas e perante a sociedade. Em contraste, a análise do pós-teste nos indica que, posteriormente à aplicação da UEPS, os estudantes não somente passaram a evidenciar elementos com alto nível de especificidade em suas falas, mas articulá-los a outros aspectos da NdC, como a natureza anônima da revisão por pares e a dinâmica de feedback envolvida entre a revista e os autores. Todavia, identificamos indícios da manutenção de entendimentos pautados em um positivismo ingênuo, tanto na fala da aluna A12, ao afirmar que apenas teorias verdadeiras são publicadas em revistas científicas, quanto na resposta da aluna A13, ao responder que a observação precede a escrita de um artigo, sugerindo uma concepção estritamente empirista e linear sobre o fazer científico.

Na quarta questão do instrumento avaliativo final, questionamos os alunos a respeito dos motivos pelos quais as mulheres cientistas são raramente mencionadas em materiais didáticos, buscando evidenciar se os estudantes reconhecem a influência de fatores sociais, culturais e históricos, como o machismo estrutural, a invisibilização das contribuições femininas na história da ciência e a reprodução de estereótipos sobre a imagem dos cientistas. Gil-Pérez *et al.* (2001, p. 133) falam sobre a perspectiva individualista e elitista com que, comumente, a ciência é retratada, sendo apresentada como uma atividade eminentemente masculina “em que o trabalho científico é um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo-se assim expectativas negativas à maioria dos alunos, com claras discriminações de natureza social e sexual”. Na análise do pós-teste, identificamos duas unidades de significado que expressam compreensões alinhadas às visões criticadas pelos autores, sugerindo que “[...] a maioria das mulheres não se interessava pela ciência e não contribuíram para a ciência crescer e melhorar cada vez mais” (AFQ4A10.1) e que elas buscavam “[...] achar trabalho menos difícil” (AFQ4A13.1).

Todavia, na categoria *Questões sociais impactam o desenvolvimento científico*, emergiram unidades de significado que evidenciam a percepção de alguns estudantes sobre como o machismo influencia o reduzido reconhecimento de mulheres na carreira científica, como exemplificado pela unidade AFQ4A1.1 — “*porque a sociedade é machista e as pessoas acham que as mulheres não podem ser cientistas [...]*”. De forma similar, a aluna A3 amplia essa reflexão ao afirmar que “*o mundo, antigamente, era extremamente preconceituoso [...] com mulheres e homens negros, ou seja, eles(as) não tinham oportunidade de fazer teorias, pesquisas ou experimentos*” (AFQ4A3.1), dando destaque a outras formas de discriminação. A desigualdade de oportunidades e direitos também emerge como elemento nas respostas dessa categoria a partir da fala da aluna A9, ao sugerir que “*naquela época, mulheres não tinham poder, mas hoje em dia mulheres tem direitos*” (AFQ4A9.1), reforçando, como nos exemplos anteriores, o entendimento de que aspectos sociais, culturais e históricos impactam diretamente o acesso à ciência e o desenvolvimento científico.

Na categoria *Mulheres foram invisibilizadas ao longo do tempo*, a aluna A6 aponta que “[...] poucas cientistas são reconhecidas” (AFQ4A6.1); a aluna A11 complementa afirmando que “*outras são ignoradas por conta do tempo*” (AFQ4A11.1); e a aluna A2 reforça essa percepção ao dizer que as mulheres “*são completamente ignoradas*” (AFQ4A2.1). Observa-se o reconhecimento por parte dessas alunas de que as contribuições das mulheres foram historicamente ignoradas ou invisibilizadas na construção do conhecimento científico, ainda que tal percepção se apresente de forma não tão clara e discriminada em suas respostas. A aluna A12, por outro lado, apresenta o discurso de que “[...] não são só homens que podem ser cientistas, [...] qualquer pessoa pode mostrar interesse em seu trabalho”, na direção do que foi explorado durante a quarta aula da UEPS, conforme descrito em trecho do diário de bordo:

*A última ideia [...] que abordei [durante a quarta aula] refere-se ao fato de os cientistas serem pessoas comuns e, portanto, passíveis de cometerem erros, sentirem medo, apresentarem interesses*

*distintos. Nesse momento, uma das estudantes comentou “todos podem ser cientistas” e, aproveitando sua fala, reforcei a ideia mais uma vez, frisando que a ciência pode ser realizada por qualquer pessoa (DB4.3).*

A categoria *Ciência e sociedade se impactam mutuamente* evidencia que alguns estudantes reconhecem a interdependência entre o desenvolvimento científico e o contexto social, alinhando-se aos pressupostos do movimento CTSA. As unidades de significado revelam a percepção de que a produção científica gera impactos diretos à sociedade, como expressa a aluna A16 — “*uma hipótese, teoria ou experimento também pode mudar coisas na sociedade*” (AFQ5A1A16.1) —, e pela aluna A7, ao afirmar que cientistas “*podem fazer experimentos para ajudar a sociedade*” (AFQ5A1A7.1). Por outro lado, também emerge o entendimento de que os contextos sociais mobilizam e inspiram a própria prática científica, como aponta a aluna A6 — “*os cientistas se inspiram com os acontecimentos da sociedade e criam várias teorias científicas*” (AFQ5A1A6.1) — e a aluna A12, que diz: “*o avanço da sociedade afeta o desenvolvimento da ciência*” (AFQ5A1A12.2), destacando, também, o papel das pesquisas em saúde para o combate e prevenção de doenças (AFQ5A1A12.1).

Em duas outras unidades de significado (AFQ5A1A2.1 e AFQ5A1A11.1), o termo “natureza” é mencionado pelos estudantes, possivelmente indicando uma interação, ainda que preliminar, entre questões ambientais — como desastres, mudanças climáticas e degradação dos ecossistemas — e a geração de demandas que impulsionam o avanço científico, embora faltem evidências mais consistentes para sustentar essa interpretação. De modo semelhante, a “família” é citada por dois estudantes, sugerindo a compreensão de que as relações interpessoais podem influenciar diretamente a prática dos pesquisadores, visto que fatores do contexto familiar podem afetar suas escolhas, interesses e desafios no desenvolvimento científico. A tecnologia também aparece em algumas falas, como na da aluna A15, ao afirmar que, ao observar a sociedade, “[...] *os cientistas poderiam ver os efeitos de suas máquinas*” (AFQ5A1A15.1), o que revela uma visão ainda simplista da relação ciência-tecnologia, porém sinaliza a interação entre conhecimentos sobre a produção científica e seus impactos em sociedade.

## **VII. Um panorama em direção a perspectivas**

Ao longo do trabalho, identificamos que, de forma geral, as concepções prévias dos estudantes sobre a ciência partiram de entendimentos pouco elaborados, indiferenciados e não articulados às dimensões da NdC, respaldando tal interpretação nas respostas do pré-teste, em associação com registros no diário de bordo. Embora alguns poucos alunos tenham reconhecido a importância da instrumentalização na produção do conhecimento científico, predominaram visões limitadas sobre esse aspecto, somadas a dificuldades significativas no manuseio dos instrumentos, sugerindo uma baixa familiaridade com os procedimentos operacionais da prática científica e pouca capacidade de transmissão de significados. Em relação ao domínio de

técnicas e processos da ciência, surgiram indícios de compreensão sobre o controle de variáveis, como tempo e temperatura, mas essa percepção se apresentou de forma pouco desenvolvida e, muitas vezes, os alunos reduziram a ciência à experimentação e à observação, sustentando concepções estritamente empiristas, indutivistas e a-teóricas.

As relações entre ciência, tecnologia e sociedade foram, em sua maioria, percebidas de maneira utilitarista, com o desenvolvimento de novas tecnologias sendo entendido como produto da ciência aplicada, embora alguns estudantes tenham evidenciado compreensões mais alinhadas à interdependência e às distinções conceituais entre esses campos. A influência de fatores sociais no desenvolvimento científico praticamente não foi reconhecida, aparecendo de forma pontual e restrita a uma única unidade de significado. Da mesma forma, a dimensão social e colaborativa da prática científica mostrou-se pouco elaborada, predominando concepções individualistas, ancoradas no mito dos grandes gênios, com escassos indícios de compreensão da ciência como empreendimento coletivo e comunicativo. A Fig. 2 sintetiza as concepções prévias identificadas durante a análise do pré-teste, destacadas com linhas tracejadas àquelas potencialmente deformadas.

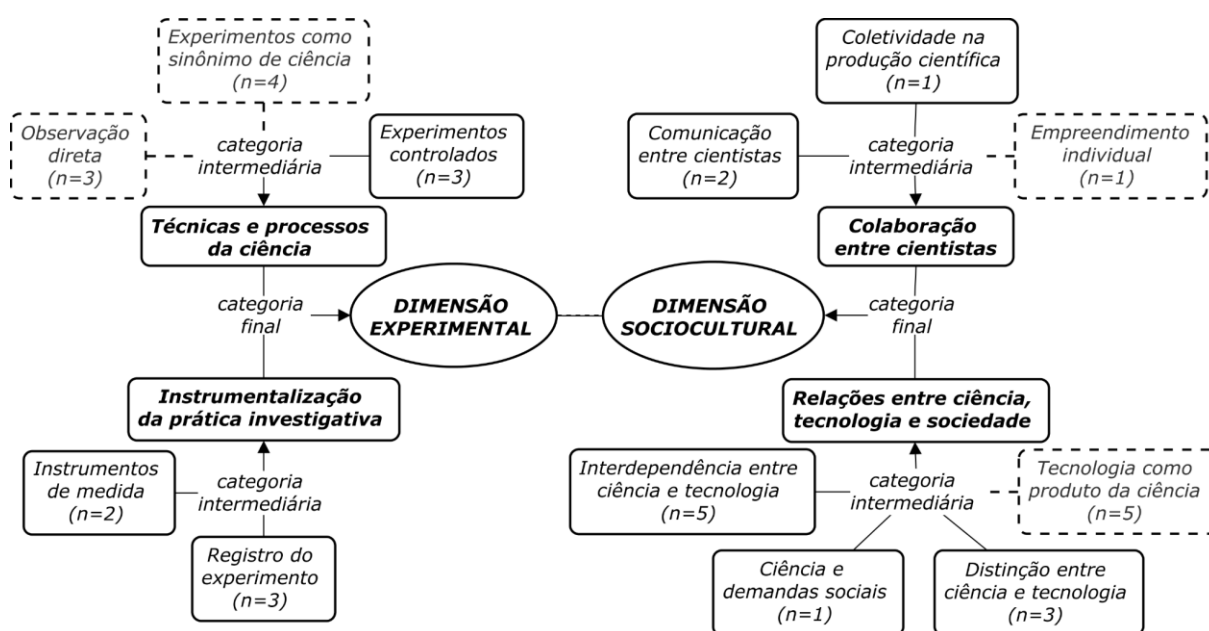


Fig. 2 – Panorama das concepções prévias. Elaborado pelos autores.

Em uma perspectiva comparativa, identificamos uma riqueza maior de aspectos da NdC nas respostas do pós-teste (Fig. 3), com a adição de entendimentos variados, mais elaborados, diferenciados e articulados às dimensões do desenvolvimento científico, embora algumas concepções alternativas persistam. A categoria Dimensão sociocultural do empreendimento científico destacou-se das demais, abrangendo uma quantidade significativamente superior de unidades de significado e, conseqüentemente, de categorias

iniciais. Observou-se, também, a emergência de uma nova categoria final, denominada de Dimensão conceitual do empreendimento científico, que, embora quantitativamente inferior às outras, representa resultados bastante positivos, ao representar a percepção dos estudantes sobre o caráter provisório e histórico do empreendimento científico, não identificada anteriormente.

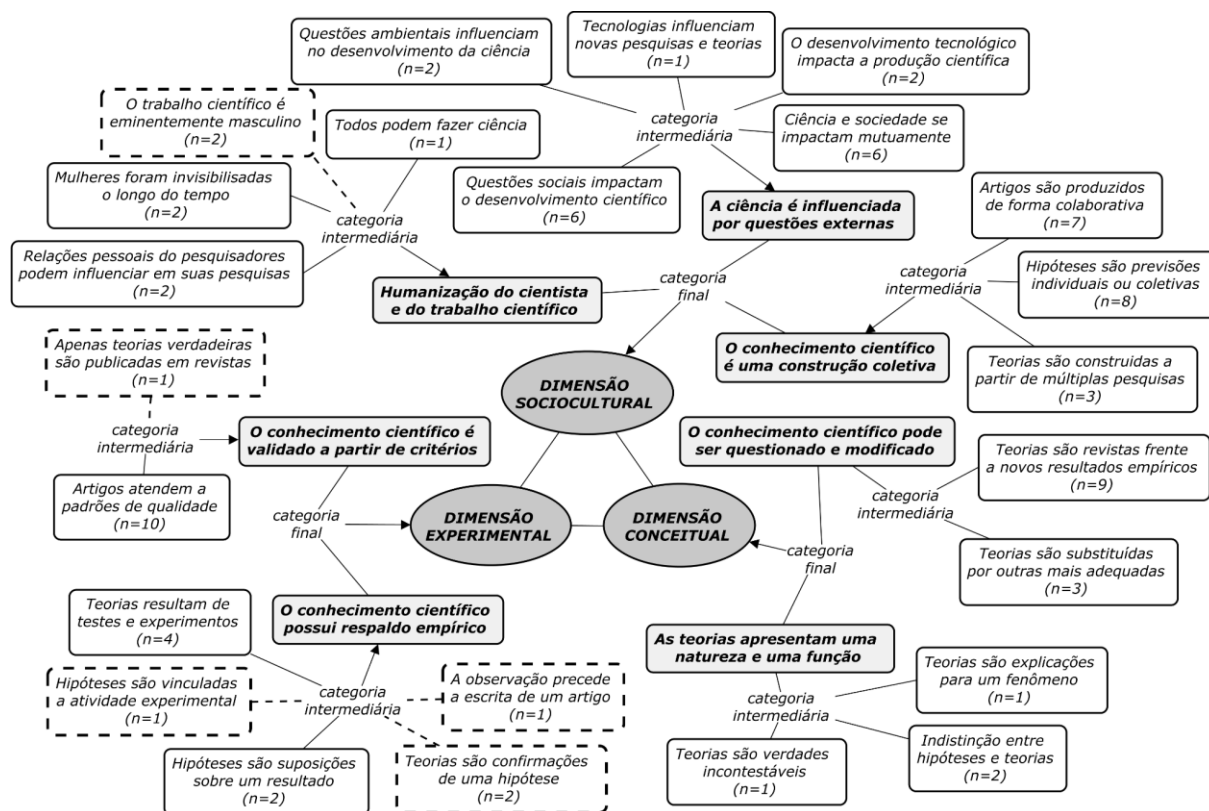


Fig. 3 – Panorama das concepções finais. Elaborado pelos autores.

Na *Dimensão experimental do empreendimento científico*, reuniram-se significados relativos a aspectos do caráter empírico, sistemático e coletivo da ciência, através do reconhecimento de que *O conhecimento científico é validado a partir de critérios* e de que “*O conhecimento científico possui respaldo empírico*”. Os resultados sugerem a progressiva diferenciação do subsumor experimentação por parte dos estudantes, sendo associado à etapa de publicação de artigos científicos e, conseqüentemente, ao processo colaborativo da ciência, tornando-se mais rico em significados para além de seu papel na produção de evidências e dados. A diferenciação dos significados de hipótese e teoria também merece destaque, embora tais aspectos ainda careçam de maior elaboração conceitual, sendo recorrentemente associados a concepções estritamente empiristas, indutivistas e a-teóricas, que ainda persistem na fala de alguns estudantes.

Os entendimentos sobre a importância da instrumentalização na condução de práticas científicas autênticas limitaram-se a uma única unidade de significado na análise do pós-teste,

na qual a aluna A1 relaciona o caráter mutável da ciência ao desenvolvimento de “*máquinas e objetos*” (AFQ2A1.2). Contudo, a observação de alguns encontros e a análise de outras atividades evidenciaram uma melhora significativa na familiarização dos alunos com o uso desses instrumentos em contextos investigativos, revelando “[...] *familiaridade com o termômetro, as vidrarias e os processos a serem executados durante a investigação*” (DB4.1). Por outro lado, não foram observados indícios de aprendizagem significativa quanto à necessidade de registrar os resultados experimentais e articular grupos controle na elaboração dos experimentos, embora essas percepções tenham sido reconhecidas previamente pelos estudantes, indicando pouca capacidade de transmissão dos significados.

Na *Dimensão sociocultural do empreendimento científico*, reuniram-se um número expressivo de unidades de significado, que sugerem indícios de assimilação de proposições e conceitos relacionados à percepção da ciência como prática socialmente construída. A emergência dessa categoria representa um resultado bastante significativo à pesquisa, uma vez que, na análise do pós-teste e observações realizadas nos primeiros encontros da UEPS, as ações e falas dos estudantes pouco incorporaram elementos colaborativos, competitivos, sociais e comunicativos da ciência, indicando, senão sua assimilação, ao menos algum grau de elaboração na estrutura cognitiva. Se, anteriormente, os estudantes sequer demonstravam conhecimento da existência de uma comunidade científica, a complexidade das relações humanas inerentes às dinâmicas envolvidas na prática científica se tornou, ao menos, reconhecíveis em seus discursos, a exemplo das categorias *Artigos são produzidos de forma colaborativa* e *Teorias são construídas a partir de múltiplas pesquisas*.

As relações entre tecnologia e ciência, no entanto, não emergiram de forma proeminente nas respostas do pós-teste, sendo identificadas somente três unidades de significado distribuídas nas categorias *Tecnologias influenciam novas pesquisas e teorias* e *O desenvolvimento tecnológico impacta a produção científica*. Para além do impacto da tecnologia, pois, observamos indícios de diferenciação progressiva e elaboração dos significados associados a influência de fatores externos à ciência no desenvolvimento científico em *Questões ambientais influenciam no desenvolvimento da ciência*, *Ciência e sociedade se impactam mutuamente* e *Questões sociais impactam o desenvolvimento científico*.

Por fim, na *Dimensão conceitual do empreendimento científico*, observam-se indícios de assimilação de novas percepções sobre a NdC, especialmente no que se refere à sua natureza provisória, histórica e mutável, evidenciada pelas categorias *Teorias são revistas frente a novos resultados empíricos* e *Teorias são substituídas por outras mais adequadas*. Os significados associados às teorias, no entanto, ainda carecem de maior elaboração conceitual, visto que apenas uma unidade de significado apresentou explicitamente sua relação com explicações de um dado fenômeno científico, enquanto outras a associam a verdades incontestáveis. De todo modo, interpretamos os resultados como positivos, especialmente ao associá-los a trechos do diário de bordo em que relatamos como os estudantes, ao longo da UEPS, passaram a apresentar

a “*compreensão sobre a importância de evidências para a construção do conhecimento científico e o fato de que estas evidências podem se modificar ao longo do tempo*” (DB4.1).

### **VIII. Considerações finais**

De forma geral, os resultados indicam indícios de aprendizagens significativas potencializadas a partir da UEPS, revelando não apenas a assimilação de novos conhecimentos, mas a reorganização da estrutura cognitiva dos estudantes, conferindo-lhe maior elaboração e complexidade à imagem da ciência incorporada por eles. De forma progressiva, os alunos apresentaram modificações em sua forma de pensar e falar sobre diferentes dimensões da NdC, passando a integrar aspectos epistemológicos, metodológicos e sociais aos significados relativos ao empreendimento científico. Contudo, a recorrência de termos como “certo”, “errado” e “acreditar”, bem como a persistência de algumas concepções simplificadas diante dos contextos promovidos através da pesquisa, indicam que parte desses significados permanece superficial ou não completamente reconciliados com os referenciais sobre a NdC.

A presença simultânea de significados alinhados e em desacordo com os referenciais teóricos contemporâneos sobre a NdC no discurso dos alunos pode sinalizar a ocorrência de subsunção subordinada instável sobre alguns aspectos da ciência. Isso significa que os significados dos diferentes aspectos da atividade científica com os quais os estudantes tiveram contato ao longo dos encontros foram incorporados, mas não plenamente diferenciadas e reconciliadas, em suas estruturas cognitivas. É necessário, pois, que se favoreçam os processos de diferenciação progressiva e a reconciliação integradora entre novas percepções e as já existentes sobre a ciência, estratégia que pode ser operacionalizada, conforme os resultados aqui apresentados, por meio das abordagens históricas e investigativas sobre a ciência.

Embora os resultados revelem indícios consistentes de diferenciação e elaboração dos significados atribuídos pelos estudantes à NdC, a interpretação desses achados deve ser compreendida à luz do delineamento metodológico adotado. A pesquisa não contemplou avaliações em momentos posteriores à intervenção nem instrumentos especificamente voltados à investigação da estabilidade cognitiva ou da transferência desses significados para novos contextos, aspectos considerados relevantes na caracterização da aprendizagem significativa (Ausubel, 2003; Moreira, 2011a). Assim, os resultados devem ser interpretados como evidências iniciais do potencial da proposta didática.

Destacamos, nesse sentido, a importância de que investigações futuras acompanhem a mobilização dessas aprendizagens durante um período de tempo consideravelmente maior, além da ampliação das intervenções para outros contextos escolares. Sugere-se, ainda, intervenções que se apropriem de contextos históricos e investigativos relativos a conteúdos para além da Física no Ensino Fundamental, havendo necessidade de se produzir conhecimentos sobre o ensino a NdC nessa perspectiva. Por fim, ressaltamos a importância de se investigar a interface entre as perspectivas acadêmicas sobre a NdC com sua real

implementação em processos autênticos de ensino-aprendizagem, favorecendo o trabalho de professores tendo em vista a promoção de aprendizagens significativas sobre o tema.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e à Escola Municipal de Ensino Fundamental Moacyr Ramos Martins pelo apoio e colaboração que possibilitaram a realização desta pesquisa.

### **Referências bibliográficas**

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, Hoboken, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

ALLCHIN, D. Beyond the Consensus View: Whole Science. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, Toronto, v. 17, n. 1, p. 18-26, 2017.

ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. Complementary approaches to teaching Nature of Science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. **Science Education**, Hoboken, v. 98, n. 3, p. 461-486, 2014.

ALTERS, B. Whose nature of science? **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.

BEJARANO, N. R. R.; ADURIZ-BRAVO, A.; BONFIM, C. S. Natureza da Ciência (NOS): para além do consenso. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 25, n. 4, p. 967-982, 2019.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

GARCIA, I. K.; MENDES, F. **UEPS**: contribuições em ensino de Ciências da Natureza e Matemática. v. 1. São Carlos: Pedro & João Editores, 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL-PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIL-PÉREZ, D. *et al.* Technology as "Applied Science": a serious misconception that reinforces distorted and impoverished views of science. **Science & Education**, Dordrecht, v. 14, n. 3-5, p. 309-320, 2005.

HODSON, D.; WONG, S. L. Going beyond the consensus view: broadening and enriching the scope of NOS-oriented curricula. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, Toronto, v. 17, n. 1, p. 3-17, 2017.

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, Dordrecht, v. 20, n. 7, p. 591-607, 2011.

IRZIK, G.; NOLA, R. New directions for Nature of Science research. In: MATTHEWS, M. R. (Org.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 999-1021.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1962.

LEDERMAN, N. *et al.* Views of Nature of Science Questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MATTHEWS, M. R. Changing the focus: from Nature of Science to features of science. In: KHINE, M. S. (Org.). **Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 3-26.

MCCOMAS, W. F. Principal elements of Nature of Science: informing science teaching while dispelling the myths. In: MCCOMAS, W. F. **Nature of Science in Science Instruction**. Cham: Springer, 2020. p. 35-65.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. The Nature of Science in international science education standards documents. In: MCCOMAS, W. F. **The Nature of Science in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 41-52.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2016.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011a.

MOREIRA, M. A. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011b.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011c.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOURA, B. A. O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

PEDUZZI, L.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 2005.

PORLÁN, R.; MARTÍN, J. **El diario del profesor: un recurso para la investigación en el aula**. Sevilla: Díada Editora, 1991.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAU, G.; ANTINK-MEYER, A. Distinguishing science, engineering, and technology. In: MCCOMAS, W. F. (Org.). **Nature of Science in Science Instruction**. Cham: Springer, 2020. p. 159-176.

RUPPENTHAL, R.; COUTINHO, C.; MARZARI, M. R. B. Alfabetização e letramento científico: dimensões da educação científica. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 10, e7559109302, 2020.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino da Física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 1-27.

THOMAS, G.; DURANT, J. Scientific literacy: issues and perspectives. **Scientific Literacy Papers**, [s. l.], p. 1-14, 1987.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).