



MEDIAÇÃO DIGITAL E REPRESENTAÇÕES MENTAIS: UM ESTUDO SOBRE HIBRIDAÇÃO COGNITIVA NA ARTICULAÇÃO ENTRE HUMANOS E NÃO-HUMANOS NAS AULAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Digital mediation and mental representations: a study on cognitive hybridization in the articulation between humans and non-humans in Natural Sciences classes

Ronnie Petter Pereira Zanatta [rppzanatta@gmail.com]
Nestor Cortez Saavedra Filho [nestorsf@utfpr.edu.br]
*Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Avenida Sete de Setembro, 3165, Curitiba, Paraná, Brasil - UTFPR*

Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre como a mediação digital no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea no ensino fundamental estabelece a produção de mecanismos híbridos de cognição entre humanos e não-humanos, à luz da simetria generalizada de Bruno Latour. Para tanto, escolhemos como conteúdo de conhecimento o fenômeno da fusão nuclear, previsto como objeto de conhecimento na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de Ciências da Natureza. Diante disso, adotamos a articulação de três referenciais teóricos, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC), responsável por discutir os mecanismos de mediação como processamento externamente ao cérebro humano e suas implicações na estrutura cognitiva dos estudantes, a Teoria dos Modelos Mentais que classifica e categoriza os tipos de representações mentais e a Antropologia Simétrica de Bruno Latour que fornece uma visão sistêmica, reticular e não dicotomizada da construção da realidade. Os resultados iniciais foram obtidos após as análises realizadas dos questionários e das linguagens verbal e gestual dos estudantes. Posteriormente, realizamos a interpretação dos resultados de acordo com os conceitos de hibridação, desvios e traduções do pensamento latouriano. Constatamos que a mediação digital nesse contexto influencia nos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes e na sofisticação das representações mentais construídas por eles. Por fim, reconhecemos que tanto o processo de ensino-aprendizagem quanto a construção de representações mentais a partir da mediação digital constituem-se em híbridos latourianos, pois os atores envolvidos passam a compartilhar competências humanas e não-humanas.

Palavras-Chave: Ensino de Ciências; Mediação Cognitiva; Representações Mentais; Tecnologias de Informação e Comunicação; Bruno Latour; Hibridação.

Abstract

This article presents a study on how digital mediation in the teaching-learning process of Modern and Contemporary Physics concepts in elementary school establishes the production of hybrid mechanisms of cognition between humans and non-humans, in light of Bruno Latour's generalized symmetry. To this end, we chose as knowledge content the phenomenon of nuclear fusion, foreseen as an object of knowledge in the National Common Curricular Base (BNCC) of Natural Sciences. In view of this, we adopted the articulation of three theoretical references, the Network Cognitive Mediation Theory (TMC), responsible for discussing the mediation mechanisms as processing external to the human brain and its implications on the cognitive structure of students, the Theory of Mental Models that classifies and categorizes the types of mental representations and Bruno Latour's Symmetrical Anthropology that provides a systemic, reticular and non-dichotomized view of the construction of reality. The initial results were obtained after analyzing the questionnaires and the students' verbal and sign languages. Subsequently, we interpreted the results in accordance with the concepts of hybridization, detours and translations of Latourian thought. We found that digital mediation in this context influences the cognitive mechanisms used by students and the sophistication of the mental representations constructed by them. Finally, we recognize that both the teaching-learning process and the construction of mental representations based on digital mediation constitute Latourian hybrids, as the actors involved begin to share human and non-human skills.

Keywords: Science Education; Cognitive Mediation; Mental Representations; Information and Communication Technologies; Bruno Latour; Hybridization.

INTRODUÇÃO

As transformações associadas ao desenvolvimento tecnológico, além de implicações nas relações de produção, na sociedade e na cultura (Brynjolfsson & McAfee, 2011), influem significativamente na geração e na manipulação do conhecimento (Campello de Souza, 2004, 2006). De forma mais marcante, as gerações emergentes e imersas nesse contexto em que são desenvolvidos e produzidos diversos artefatos digitais tendem a apresentar diferenças cognitivas substanciais em relação às anteriores (Campello de Souza, 2004). Nesse cenário, com a maior participação dos artefatos digitais também no contexto educacional, a mediação tecnológica tem assumido um papel de destaque nas discussões sobre o ensino-aprendizagem nas diferentes etapas da educação formal (Nunes, Silva, & Mercado, 2016). De maneira congruente com as demais áreas do conhecimento, no ensino de ciências a mediação tecnológica é entendida como potencializadora pedagógica na complexidade do mundo contemporâneo (Gama Junior, Neide, & Moreira, 2021).

Para Santaella (2021), os novos sistemas de linguagem proporcionados pelo universo digital exigem a produção de faculdades cognitivas até então inéditas no contexto humano, levando ao surgimento de uma espécie de hibridismo humano, denominado pela autora de corpo biotecnológico. Essas implicações cognitivas da interatividade digital impulsionaram diversas áreas do conhecimento a desenvolverem estudos cada vez mais detalhados da forma como os humanos recebem, processam e expressam informações do meio. Na área da Psicologia Cognitiva, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) se apresenta como uma abordagem contextualista, construtivista e de processamento de informações, partindo de conceitos e pesquisas procedentes da Epistemologia Genética, do Sócio-construtivismo, da Teoria dos Campos Conceituais e da Teoria Triárquica da Inteligência, com o intuito de fornecer uma visão ampla da cognição humana, em que parte do processamento de informações ocorre fora do cérebro (Campello de Souza, 2004, 2006; Campello de Souza, Silva, Silva, Roazzi, & Carrilho, 2012). Assim, a TMC admite que o cérebro humano sozinho é incapaz de prover às necessidades de processamento de informações e essa limitação leva à conclusão de que, para que a humanidade tenha conseguido sobreviver e se multiplicar ao longo de seu processo evolutivo, existe uma ampliação da capacidade cognitiva que decorre do processamento de informações externamente ao cérebro humano (Campello de Souza, 2004). Em vista disso, pesquisadores da área da educação científica têm se apoiado na TMC como subsídio teórico para investigar os aspectos cognitivos da aprendizagem mediada por Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TIC) (por exemplo: Trevisan e Andrade Neto (2016; 2019); Silva, Mendonça, Leite, Meotti, e Souza, (2019); Meggiolaro, Andrade Neto, e Santos, (2021); Fröhlich e Meggiolaro (2021); Picanço, Andrade Neto, e Geller, (2022)).

Embora haja um avanço nas pesquisas que relacionam as mudanças cognitivas durante a mediação digital no ensino de ciências, os enfoques analíticos são dicotomizados em humanos (professores e estudantes) e objetos (tecnologias digitais). Sob essa perspectiva, os artefatos de mediação são entendidos como intermediários, quando, na verdade, são mediadores, pois operam modificações na sua correspondência com outros atores, isto é, são entidades que alteram o curso de dados na rede de aprendizagem de ciências da natureza. Em outras palavras, as tecnologias digitais modificam a forma de representar internamente o fenômeno físico abordado, o que configura numa alteração da própria estrutura cognitiva do estudante. As potencialidades e os limites da mediação digital estão sempre atribuídos a um dos atores, obscurecendo o amálgama construído nesse processo.

Em vista disso, a pesquisa apresentada neste artigo partiu dos pressupostos da Antropologia Simétrica de Bruno Latour para investigar a produção de híbridos de humanos e não-humanos durante o ensino-aprendizagem de conceitos não sensoriais da ciência a partir da mediação por simuladores virtuais.

Por apresentar aspectos interdisciplinares, estruturamos o referencial teórico a partir das seguintes bases: 1) sobre as formas de representações mentais construídas internamente pelos humanos; 2) sobre o papel dos artefatos como processadores de informações extracerebrais; 3) sobre como a associação e a tradução de diferentes actantes constroem novos seres quase-sujeitos ou quase-objetos sob a perspectiva de não-modernidade latouriana.

Defendemos neste artigo pensar a relação estudante-TIC como construto compósito (assumindo os pressupostos da simetria latouriana), rompendo com a ideia de que humanos e não-humanos são seres ontologicamente distintos e, dessa forma, capazes de explicar, isoladamente, o sucesso ou o fracasso da aprendizagem. Desta forma, com a intenção não apenas de compreender a mediação tecnológica como ferramenta didática no ensino-aprendizagem de ciências da natureza (que encontra subsídios teóricos na TMC), mas partir da concepção não moderna de hibridação, isto é, na exploração das associações de actantes nos construtos cognitivos envolvidos no processo ensino-aprendizagem mediado por TIC, a presente

pesquisa buscou responder a seguinte questão: como a mediação digital no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de Física Moderna de estudantes do 9º ano do ensino fundamental estabelece a produção de mecanismos híbridos de cognição entre humanos e não-humanos, à luz da simetria generalizada de Bruno Latour?

Inicialmente, apresentamos as teorias cognitivistas que fundamentam este estudo e, na sequência, a concepção latouriana de hibridação humano-não-humano que servirá de chave de leitura dos dados analisados. Após a apresentação e análises dos dados, tecemos os argumentos que sustentam o caráter intrinsecamente híbrido (no sentido latouriano) da cognição humana no processo ensino-aprendizagem mediado por simuladores virtuais.

TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE E REPRESENTAÇÕES MENTAIS

A Psicologia Cognitiva atuou e atua a fim de interpretar os processos mentais de forma mais abrangente e de caráter mais científico. Utilizando-se do desenvolvimento das novas tecnologias que possibilitaram novas e detalhadas imagens do cérebro humano, este campo começou a elencar novas “questões sobre os mecanismos neurológicos subjacentes a processos cognitivos, tais como a aprendizagem, a memória, a inteligência e as emoções” (Campos, 2016, p. 125-126). A proposição fundamental do cognitivismo é que as operações mentais são produzidas e reformuladas a partir da interação do sujeito com os mecanismos de mediação disponíveis.

Neste sentido, os ambientes, as interações e as mediações que circundam o sujeito subsidiam, para os cognitivistas, as informações e os estímulos necessários para os seus processamentos e, conseqüentemente, as mudanças em sua estrutura cognitiva. Assim, as alterações causadas pela emergência e difusão das novas tecnologias em um curto intervalo de tempo impactaram diretamente na organização da vida das pessoas, em suas habilidades e em suas formas de comunicação. Este conjunto de desdobramentos da tecnologia digital e suas conseqüências econômicas, sociais e culturais é comumente denominado de Revolução Digital. Tal fenômeno alterou substancialmente o que tradicionalmente é visto como cultura, abrindo caminho para a chamada “Hipercultura”, em que os mecanismos externos de mediação incluem a própria tecnologia e seus impactos na cultura, enquanto os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz dos mecanismos externos. Desta forma, o metamorfismo causado pela introdução desses recursos associados a este fenômeno em todos os setores das relações humanas teve implicações diretas sobre a organização e configuração da estrutura cognitiva humana (Campello de Souza, 2004, 2006; Campello de Souza *et al.* 2012).

Para Campello de Souza (2004), as teorias cognitivistas até então estabelecidas apresentam algumas lacunas teóricas no que se refere aos impactos causados pela revolução digital, que incluem: 1) a explicação dos efeitos da informática enquanto uso cotidiano e não apenas de forma ensaiada; 2) uma abordagem mais generalizada dos impactos da revolução digital ao invés de pontos muito específicos; 3) e a construção de modelos teóricos que expliquem a relação entre as tecnologias de informação e a cognição humana no contexto geral da chamada Era Digital.

À vista disso, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) se apresenta como uma abordagem contextualista, construtivista e de processamento de informações, partindo de conceitos e pesquisas procedentes da Epistemologia Genética, do Socio-construtivismo, da Teoria dos Campos Conceituais e da Teoria Triárquica da Inteligência com o intuito de fornecer uma visão ampla da cognição humana em que parte do processamento de informações ocorre fora do cérebro (Campello de Souza, 2004, 2006; Campello de Souza *et al.*, 2012). Assim, a TMC admite que o cérebro humano sozinho é incapaz de prover às necessidades de processamento de informações e esta limitação leva à conclusão de que, para que a humanidade tenha conseguido sobreviver e se multiplicar ao longo de seu processo evolutivo, existe uma ampliação da capacidade cognitiva que decorre do processamento de informações externamente ao cérebro humano (Campello de Souza, 2004).

De acordo com Campello de Souza *et al.* (2012), a TMC está edificada a partir de cinco pressupostos fundamentais a respeito da cognição humana e do processamento de informações:

- i. A espécie humana tem como importante vantagem evolutiva a capacidade de produzir, armazenar, recuperar, manipular e aplicar os conhecimentos de diversas formas;
- ii. A cognição humana é resultado de alguma forma de processamento de informações;

- iii. Isolado, o cérebro humano constitui um finito e, finalmente, insatisfatório recurso de processamento de informações;
- iv. Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau;
- v. Seres humanos complementam seu processamento de informação cerebral ao interagirem com sistemas físicos externos.

Atendendo a existência de elementos extracerebrais de processamento de informações, Campello de Souza afirma que “tais elementos só poderão efetivamente ser de utilidade para o indivíduo se este dispuser de uma forma de interagir eficazmente com eles segundo a necessidade e de modo adequado” (Campello de Souza, 2004, p. 65). O sucesso na interação depende, portanto, de mecanismos internos que subsidiarão a mediação cognitiva. No contexto da TMC, estes mecanismos, denominados *drivers*, atuam como “máquinas virtuais” que apresentam competências específicas para além da simples conexão com o mecanismo externo de mediação (Campello de Souza, 2004; Campello de Souza *et al.*, 2012; Ramos & Andrade Neto, 2014). Conforme Wolff (2015, p. 62), esses *drivers* “relacionados ao processamento de informações constituem uma vantagem cognitiva, sem que sirvam apenas de coprocessadores de informações auxiliares ao cérebro, mas também auxiliem na interação com objetos cognoscíveis, com amplificação do sinal externo”. A eficácia destes mecanismos de mediação se dá pela junção com *drivers* já constituídos no indivíduo e sua modificação ou a construção de novos mecanismos desse tipo ocorre pela incorporação do objeto (Wolff, 2015).

Isto posto, tem-se a cognição humana como um fenômeno complexo, “onde entre um sujeito e um objeto quaisquer sempre existe um ambiente com elementos que modulam e condicionam a relação entre ambos” (Campello de Souza, 2004, p. 63). Considera-se, ainda, que o ambiente fornece estruturas capazes de processamentos de informações adicionais ao cérebro humano. Este processo é chamado de “Mediação Cognitiva” (Campello de Souza, 2006). Para a Psicologia Cognitiva, a atividade cerebral mediada por relações com o meio permite ao indivíduo representar internamente o mundo externo e, a partir disso, estabelecer operações com as representações construídas. Essas representações são denominadas de representações mentais.

Alguns estudos recentes da neurociência apontam que a utilização de padrões neurais na construção de representações mentais de fenômenos físicos ocorre a partir da reutilização de padrões neurais pré-existent (Brockington, 2021), isto porque, para cada conceito físico, existe uma ativação cerebral comum entre os humanos. Dessa forma, as representações mentais construídas, mesmo que provisoriamente, participam ativamente da estruturação ou reestruturação de novas representações semânticas.

Uma representação mental é, portanto, uma construção cognitiva, pois se refere à capacidade do organismo de construir um modelo de mundo, preservar isso na memória, fazer suas previsões com base nesse modelo e atualizá-lo a partir dos erros de previsão (Arntz, 2020). Ainda, “uma representação é uma notação ou sinal ou conjunto de símbolos que re-presenta algo para nós, ou seja, ela representa alguma coisa na ausência desta coisa; geralmente, essa coisa é um aspecto do mundo externo ou de nossa imaginação” (Eysenck & Keane, 1994, p. 180).

Para Philip N. Johnson-Laird, há três tipos de construções representativas: proposições, imagens e modelos mentais (Johnson-Laird, 1983). De acordo com esse autor, a teoria dos modelos mentais se sustenta a partir de três pressupostos: 1) cada modelo mental representa o que é comum a um conjunto distinto de possibilidades; 2) os modelos mentais são icônicos (imagísticos, mas também estados de coisas que não podem ser visualizados, abstratos); 3) os modelos mentais de descrições representam o que é verdadeiro em detrimento do que é falso (Johnson-Laird, 2010). Johnson-Laird propõe que o raciocínio humano se dá com base em modelos mentais e que estes são como “blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaos conforme necessário” (Moreira, 1996, p. 195). Deste modo, um modelo mental é constituído de “tokens” (elementos) e relações que refletem um estado de coisas específico de um sistema físico, organizados adequadamente à sua operação mental (Moreira, 1996).

Nesse sentido, Johnson-Laird (1983, 2010) propõe uma tipologia de modelos mentais, classificando-os em duas grandes categorias: modelos físicos e modelos conceituais. Os modelos físicos incluem seis tipos fundamentais, como modelos relacionais simples, espaciais, temporais, cinemáticos, dinâmicos e imagens, que representam sistemas físicos e suas propriedades. Por outro lado, os modelos conceituais, que não têm referências físicas diretas, são divididos em quatro tipos principais, incluindo modelos monádicos, relacionais, metalinguísticos e de conjuntos teóricos. Esse autor argumenta que os modelos mentais normalmente

resultam da percepção, gerando representações dinâmicas, tridimensionais e métricas do mundo, com exceção da causalidade, que é mais abstrata. Esses modelos podem ser usados para representar situações reais, possíveis ou imaginárias. A classificação de modelos mentais proposta por ele destaca sua natureza fundamentalmente baseada em um número limitado de elementos e operações recursivas, exigindo procedimentos adicionais para construção e avaliação, além de serem influenciados pela percepção, conceitos implícitos e necessidade de consistência (Johnson-Laird, 1983, 2010).

BRUNO LATOUR E A PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS

Bruno Latour (1947-2022), filósofo e sociólogo francês, contesta a ideia modernista de uma separação fundamental entre o sujeito e a natureza. Para ele, essa separação foi originalmente estabelecida por René Descartes no século XVII com o famoso “*Cogito, ergo sum*” de sua obra *Discurso do Método*, e desde então tem sido considerada uma premissa central na ciência. Segundo Latour, a modernidade implica uma visão de mundo em que diferentes domínios são rigidamente definidos e não permitem a introdução de nuances transcendentais em suas origens e evoluções (Zanatta & Saavedra Filho, 2020, 2023).

A grande implicação da renúncia ao contrato modernista de separação ontológica entre humano e não-humano, portanto, é a desconsideração dos conceitos de sociedade e de natureza demarcados pelos sociólogos do social (termo usado por Latour para se referir aos cientistas da sociologia tradicional, os quais aderem à dicotomia ontológica dos modernos). Para Latour, a sociedade não existiria tal como conhecemos se fosse construída única e exclusivamente por relações sociais. O que ele propõe é colocar luz sobre as outras entidades não humanas que, no paradigma moderno, são cuidadosamente excluídas das análises. Nesse sentido, o autor opta por substituir o termo sociedade, o qual considera contaminado semanticamente, pelo termo “coletivo”, que designa o “intercâmbio de propriedades humanas e não-humanas no seio de uma corporação” (Latour, 2017, p. 229). Isso seria trabalho de quem ele define como sociólogo de associações (Latour, 2005), uma vez que estabelece um *continuum* entre os modos de existência, isto é, substituindo a ideia do *cogito* por *cogitamus* para trazer à luz a pluralidade de intersecções entre os diferentes atores que coproduzem e sustentam a realidade.

Na rejeição do dualismo moderno, o novo paradigma proposto não age de forma a subjetivar as coisas, mas de cartografar “os movimentos pelos quais um dado coletivo *estende* seu tecido social a *outras* entidades” (Latour, 2017, p. 230). Isso implica que cada coletivo é capaz de alterar sua constituição a partir de diferentes associações articuladas. Ainda na contramão da sociologia tradicional, Latour difere um coletivo (chamado de sociedade pelos sociólogos do social) primitivo do coletivo avançado não pela desvinculação entre a tecnologia e a ordem social estabelecida em cada período; ao contrário, para ele “o último translada, permuta, recruta e mobiliza um número maior de elementos mais intimamente conectados, com um tecido social mais finamente urdido do que o primeiro” (Latour, 2017, p. 232).

É nessa produção isócrona de humanos e não-humanos que se instaura esse modo de existência híbrido, que Latour também chama de quase-objeto ou quase-sujeito, pois “não ocupam nem a posição de objetos que a Constituição [dos Modernos] prevê, nem a de sujeitos, e porque é impossível encurralar todos eles na posição mediana que os tornaria uma simples mistura de coisa natural e símbolo social” (Latour, 2019a, p. 69). Cardoso (2018) define o híbrido latouriano de uma maneira mais transparente para os propósitos desta pesquisa, quando afirma que

“O híbrido, isto é, a mistura, algo como “mente-matéria” ou “matéria-mente”, aquilo que já estava “no meio do caminho” de uma tensão entre mente e matéria e a partir do qual, e na dependência das muitas interações que caracterizam sua dinamicidade, pode, ao fim de determinado tempo de ação, fazer emergir, então, as categorias da res cogitans [ideia] e res extensa [matéria]” (Cardoso, 2018, p. 150).

Sob essa perspectiva, o conceito de mediação assume papel central na obra latouriana, uma vez que estabelece a quebra da dicotomia moderna e aclara aquilo que os modernos fizeram ocultar-se: a hibridação. Essa hibridação para Latour não se distingue somente pela nova definição de objetivos emergidos pela mediação, ou pela translação de interesses, ou pela permutação de propriedades possíveis na relação estabelecida, mas pela alteração na respectiva substância expressiva do novo ser. Nas palavras de Cardoso e Santaella (2021), mediação

“corresponde, no pensamento latouriano, a um acoplamento, uma vinculação, um agenciamento que altera a própria rede. Ao invés de se concentrar nas categorias, elabora uma subversão nas classes, instaura um conflito nas formas, agita as fronteiras, deforma agrupamentos e as hierarquias. Em seu ímpeto de dinamismo, esse tipo de agenciamento, ao mesmo tempo que transforma o passado em ruínas, permite instaurar classes” (Cardoso & Santaella, 2021, p. 149).

Esse conjunto de práticas de interação, “cria, por ‘tradução’, misturas entre gêneros de seres completamente novos, híbridos de natureza e cultura” (Latour, 2019a, p. 20). A tradução é, portanto, o processo de mediação, de um vínculo novo que até certo ponto modifica os dois originais. (Latour, 2017). A esse conjunto de práticas, Latour chama de rede, que na definição de Law (2021) é entendida como relações de vinculação “material e discursivamente heterogêneas que produzem e reorganizam todos os tipos de atores, incluindo objetos, sujeitos, seres humanos, máquinas, animais, natureza, ideias, organizações, desigualdades, escalas e tamanhos e arranjos geográficos” (Law, 2021, p. 37).

Sobre essas ações de mediação entre humanos e não-humanos, isto é, mediações técnicas, Latour propõe quatro classificações:

- i. *Interferência*. Uma série de objetivos (programa de ação) que um agente pode descrever sobre a história em uma mediação técnica não é fixa, isto é, na articulação de programas de ação diferentes pode haver um novo objetivo que não corresponda ao propósito inicial de nenhum deles.
- ii. *Composição*. A articulação entre dois ou mais programas de ação torna comum o objetivo composto a partir da permutação de competências e propriedades entre os agentes humanos e não-humanos. “A ação não é uma propriedade de humanos, mas de uma associação de atuantes” (Latour, 2017, p. 216).
- iii. *Entrelaçamento de tempo e espaço*. Quando um objeto ou híbrido está fechado em si, como uma caixa-preta, todas as entidades arregimentadas em sua construção estão, de certa forma, silenciadas. Entretanto, quando, por quaisquer motivos, abre-se a caixa-preta em questão, diversos agentes humanos e não-humanos materializam-se ao redor dela. Esta ação permite recuar no tempo e avançar no espaço onde todos os programas de ação foram enredados.
- iv. *Transposição da fronteira entre signos e coisas*. Considerado o mais importante significado de mediação por Latour, concebe a técnica não como elemento estranho e dependente que sustenta o mundo do discurso, mas como transformadora da substância das expressões e não somente de sua forma. As técnicas não apenas têm significado como também produzem significado em virtude de um tipo de articulação que atravessa a fronteira entre signos e coisas. Isso ocorre quando um programa de ação é delegado a um ator não-humano, mantendo o seu significado, mas não necessariamente permanecendo no discurso, pois quem delega tem como possibilidade a exploração de associações e substituições que apontam uma única trajetória através do coletivo. Tal análise só é possível a partir do mapeamento dos deslocamentos entre os programas de ação dos atores envolvidos no processo de mediação técnica.

Sob essa perspectiva, Latour argumenta que “objetos e sujeitos são construídos ao mesmo tempo e o número crescente de sujeitos está diretamente relacionado ao número de objetos lançados – infundidos – no coletivo” (Latour, 2017, p. 232). O coletivo é, portanto, o resultado das extensões das relações sociais pelos humanos aos outros atuantes com os quais permutaram incontáveis propriedades.

METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa que investiga a construção de um novo modo de existência a partir da associação de diferentes redes de proposições em uma sala de aula de ciências da natureza com a mediação por tecnologias digitais. Dessa forma, para classificá-la formalmente, optamos por um amálgama entre os preceitos tradicionais da metodologia científica com as diretrizes propostas por Latour para estudar os modernos. Portanto, quanto aos métodos, esta pesquisa se alinha com a Cartografia das Controvérsias (CC) proposta por Latour e descrita por Venturini (2010, 2012). De acordo com esse autor, a CC é um método de

observação e descrição das complexidades de tensão entre os atores, isto é, das controvérsias¹. Nas palavras de Lemos (2013, p. 106), “a controvérsia é o momento ideal para revelar a circulação da agência, a mediação, as traduções entre actantes, a constituição de intermediários, as relações de força, os embates antes de suas estabilizações como caixas-pretas”. Assim, nesta pesquisa a controvérsia é entendida como as relações entre humanos e não-humanos na construção de mecanismos de cognição e, como tal, seu desenho deve partir dos movimentos das mediações em sala de aula.

Isto posto, a fim de desenhar as complexas relações e associações entre estudantes-TIC-conhecimento científico em sala de aula de ciências da natureza a partir da assimilação dos rastros² deixados pelos actantes, foi construído um protocolo de investigação que combina uma sequência didática estruturada na mediação por simuladores virtuais, a gravação de áudio das aulas, questionários e entrevistas semiestruturadas com apreensão gestual dos participantes por vídeo, com o objetivo de interpretar o uso de mecanismos cognitivos dos envolvidos antes, durante e após a intervenção por meio da mediação digital no ensino. A sequência didática foi composta por seis aulas com diferentes recursos de mediação conforme descrito no quadro 1. Neste artigo, apresentamos os resultados e as análises realizadas dos dados coletados referentes as etapas 04 e 05 da sequência didática, que forneceram evidências da hibridação da cognição humana no processo ensino-aprendizagem mediado por simuladores virtuais.

Quadro 1 - Etapas da sequência didática e os mecanismos de mediação utilizados.

Aula	Objetivos	Mediações
01	Exteriorizar as concepções de senso comum sobre campo gravitação.	Vídeos sobre a ação da gravidade da Terra e da Lua nos corpos.
02	Conhecer o princípio einsteiniano de deformação do tecido espaço-tempo.	Modelo didático que simula a deformação do tecido espaço-tempo.
03	Compreender a constituição da matéria.	Software que representa o Universo em diferentes escalas métricas.
04	Compreender o comportamento das partículas sob ação da temperatura e da pressão.	Simulador virtual sobre a propriedade dos gases.
05	Compreender a fusão nuclear como responsável pela formação de elementos mais pesados.	Simulador virtual sobre a fusão de núcleos atômicos.
06	Relacionar a fusão nuclear com o ciclo de vida de uma estrela e a natureza do campo gravitacional.	Vídeos sobre o ciclo de vida das estrelas e simulador virtual da fusão nuclear no Sol.

Os dados coletados pelo protocolo de investigação foram analisados a partir da associação de duas técnicas de análises: Análise de Conteúdo (Bardin, 2011) e Análise Gestual Descritiva (Monaghan & Clement, 1999; Stephens & Clement, 2010). Uma vez que o sentido produzido nos dados coletados e que não é

1 Nas controvérsias, os atores estão incessantemente engajados em amarrar e desatar relações, discutindo categorias e identidades, revelando o tecido da existência coletiva (Venturini, 2012).

2 De acordo com Lemos (2013, p. 119) na cartografia das controvérsias, “um rastro é um vestígio de uma ação efetuada por um actante em qualquer situação. [...] é uma marca produzida por dispositivos de percepção: sejam eles óticos, cognitivos, digitais. Rastros são produzidos, seja a partir de instrumentos de inscrição, seja a partir de teorias ou metodologias de escuta”.

traduzido por uma articulação linguística, será explorado pela Análise Gestual Descritiva, a Análise de Conteúdo objetivou extrair informações sobre a utilização dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes a partir da mediação por simuladores virtuais, evidenciando as formas de mediação adotadas na explicação fenomenológica dos conceitos de comportamento atômico sob calor e de fusão nuclear. Em outras palavras, buscou-se a materialidade linguística através das condições empíricas dos textos dos questionários e das transcrições dos áudios e das entrevistas realizadas, uma vez que o conteúdo desses dados gerou as evidências almejadas.

A população amostral desta pesquisa contou com 17 estudantes de uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública municipal de Curitiba-PR, localizada na região periférica da cidade. A escola atende a turmas dos anos iniciais (1º ao 5º ano) e anos finais (6º ao 9º ano) do Ensino Fundamental, além de turmas de Educação Integral. A sequência didática foi desenvolvida durante as aulas de ciências seguindo a rotina horária estabelecida pela unidade de ensino. Seguindo os princípios éticos da pesquisa científica estabelecidos pelas regulamentações aplicáveis, todos os envolvidos receberam informações sobre a natureza do estudo, e o consentimento deles foi formalizado por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Nesse sentido, a pesquisa foi apreciada e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná com o CAAE 47958921.5.0000.5547 e parecer de aprovação nº 4.996.890, e também pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba com o CAAE 47958921.5.3001.0101 e parecer de aprovação nº 5.158.968. Para garantir a confidencialidade, neste texto, os estudantes foram designados com a etiqueta "E" seguida de um número sequencial.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

São apresentados nesta seção os resultados e as discussões dos dados da pesquisa divididos em duas categorias: (I) modelos mentais em processo de construção e (II) gestos descritivos, verbalizações e representações pictóricas de modelos mentais construídos. Além disso, em cada categoria foram avaliados quais mecanismos cognitivos internos (*drivers*) serviram de base para a construção dos modelos mentais. Essas informações serviram de fundamentos para a construção de uma concepção de hibridação humano-não-humano apresentada na próxima seção.

Representações mentais em processo de construção

Apresentamos alguns trechos de diálogos registrados em áudio durante as aulas. Nesta etapa, os estudantes são identificados na transcrição dos áudios como "E00". Os trechos descrevem a construção dos argumentos dos estudantes que, no primeiro momento, partem de concepções do senso comum arquitetados nas mediações social (professor-estudante e estudante-estudante) e, posteriormente, nas estruturas de mediação digital (estudante-simulador virtual).

Sobre a modelização interna da estrutura da matéria, o diálogo a seguir deixa evidente sua inexistência *a priori*, isto é, os estudantes não apresentavam nenhuma representação mental para a formação de átomos maiores a partir da fusão nuclear.

P: Por que alguns átomos têm mais partículas no núcleo e outros não? Como essas partículas se juntaram no núcleo? O que fez elas se juntarem?

E00: Por causa de Deus.

P: Tá, beleza. Vou mudar a pergunta agora. Se Deus foi quem fez isso acontecer, como é que ele fez? Qual foi o processo usado por ele para que as partículas se juntassem?

E00: Só ele sabe.

E00: A gravidade?

E00: Por causa do Big Bang. Explodiu e juntou tudo.

Apesar de não representar mentalmente o fenômeno físico de fusão nuclear, observa-se que, na tentativa de construir um argumento válido, os estudantes apoiam-se cognitivamente no *driver* cultural uma vez que estabelecem relações com sistemas simbólicos (divindade metafísica e expressões representativas) construídos a partir da existência duradoura de agrupamentos humanos. A partir de provocações levantadas pelo professor, algumas tentativas de explicação começaram a se desenvolver, mas, como apresentado no

diálogo a seguir, todas as argumentações estavam estruturadas em análises intuitivas, isto é, fundadas nas concepções do senso comum.

P: Um determinado tipo de elemento químico, hidrogênio, hélio, ferro, carbono, pode se transformar em outro?

E00: Acho que sim.

E00: Pode.

P: Pode? De que jeito?

E00: Por mistura.

P: Mistura?

E00: É. Tipo, se eu pegar dois ingredientes e misturar, eles vão formar só um, igual bolo.

E00: Tipo massinha, se misturar as cores forma uma cor só.

P: Se eu pegar um cilindro com gás hidrogênio, e misturar com outro gás hidrogênio de outro cilindro, os gases vão se transformar em outro? Em hélio?

E00: Ah, talvez?

P: Mas se tinha gás hidrogênio dentro do cilindro, por que ele não se transformou em hélio lá dentro?

E00: Eita.

E00: Bugou agora.

Observa-se, portanto, que os estudantes tentaram descrever o fenômeno de fusão entre os átomos utilizando-se de situações de interações já ocorridas em seus cotidianos, como as falas: “Tipo, se eu pegar dois ingredientes e misturar, eles vão formar um só, igual bolo” e “Tipo massinha, se misturar as cores forma uma cor só”. Esse conjunto de informações demonstra que os estudantes utilizam o *driver* psicofísico para sustentar seus modelos mentais. Entretanto, ao serem confrontados com a inviabilidade dos argumentos apresentados, especialmente em relação à repulsão elétrica das partículas de cargas iguais, os estudantes não conseguiram conceber um modelo mental coerente com o conhecimento científico. Esse dado pode ser observado no excerto abaixo:

P: Vocês também aprenderam que quando temos duas cargas iguais, o que acontece quando eu tento aproximar uma da outra? Tipo próton e próton?

E00: Se afastam.

P: Ah, elas se afastam, né? Parece o efeito do ímã, mas nesse caso a repulsão é elétrica e não magnética. Então se eu tenho carga positiva e carga positiva, se afastam, negativa e negativa se afastam. Mas eu quero que vocês observem aqui, no núcleo tem cargas iguais juntas. Por que elas estão juntas, se cargas iguais se afastam?

E00: Porque no núcleo do átomo não tem espaço pra isso acontecer.

P: Mas eles estão juntos. Por que elas não quebram o núcleo?

E00: Porque eles quebrariam nossa existência.

P: Mas, então, por que isso não acontece?

E00: Por que os nêutrons segura eles.

P: Mas os nêutrons não tem carga negativa pra atrair os prótons.

E00: Tem alguma coisa a ver com o formato do núcleo?

E00: Talvez eles não estão juntos, mas um pouquinho separados. E como é pequeno não dá pra ver.

P: Eles estão juntos.

E00: Então não sei.

No momento seguinte, os estudantes interagiram com um simulador virtual que apresenta o comportamento das partículas sob calor. O interesse nesse simulador está na capacidade de análise da influência da quantidade de calor na ocorrência de colisões mais violentas entre as partículas em um sistema fechado. Após a apresentação do simulador aos estudantes pelo professor, as simulações ocorreram no sentido de avaliar o aumento da temperatura do sistema e a quantidade de movimento das partículas. A transcrição abaixo mostra a construção de argumentos a partir da interação com o simulador virtual.

P: o que tá acontecendo aí?

E00: *Tá ficando mais quente.*
P: *O que o calor está fazendo com as partículas.*
E00: Faz elas ficar mais agitadas.
P: *Tá, beleza. E quanto mais calor, o que acontece?*
E00: *Mais agitadas elas ficam.*
P: *E o que é calor, então?*
E00: *Elas se mexem bastante por causa do calor, então é o que faz elas se agitarem.*
P: *Observe bem o comportamento delas. O que acontece se você parar de fornecer calor. Ela para instantaneamente?*
E00: *Não.*
P: *Por que?*
E00: Porque ela recebeu calor. Tá nela agora.
E00: *Porque ela não esfria rápido. Demora um pouco.*

Observa-se que pelo diálogo registrado a interação com o artefato digital serviu como estrutura para a construção de uma representação mental sobre a transferência de energia e sua implicação no comportamento das partículas. Frente a isso, podemos identificar que os modelos mentais construídos seguem a lógica gráfica do *layout* do simulador virtual. Em vista disso, podemos afirmar que o *driver* hipercultural foi utilizado como origem dos modelos mentais emergidos.

Após a interação com o simulador, o diálogo entre o professor e os estudantes evidencia a utilização do *driver* hipercultural como estrutura base para a construção da argumentação. No trecho abaixo verifica-se a relação estabelecida entre o aumento do calor e a quantidade de movimento das partículas. Ainda, pode-se observar o raciocínio que vincula a maior agitação à maior chance de colisão entre as partículas.

P: *Como fica o comportamento delas?*
E00: Elas ficam agitadas.
E00: *Mexendo muito.*
P: *Pra você deixar ela muito agitada...*
E00: Tem que colocar mais calor.
E00: *Aumentar a temperatura.*
E00: *Muito calor.*
P: *Qual outro efeito do aumento da agitação delas?*
E00: Elas batem mais umas nas outras.
E00: *É. E pode explodir a tampa.*
E00: *Aumenta a pressão também.*

Para a compreensão do processo de fusão nuclear no núcleo das estrelas, foi utilizado outro simulador virtual. O objetivo desse simulador era compreender a fusão de átomos de hidrogênio e a formação de átomos de hélio no núcleo solar. Durante a interação com esse simulador, os estudantes apresentaram um uso maior do *driver* hipercultural como estrutura cognitiva base para as novas representações mentais. No trecho da transcrição a seguir, observa-se esse processamento extracerebral de maneira mais evidente.

P: *Olha aqui na segunda colisão. Formou um hidrogênio com massa três.*
E00: Agora eles colidem e vira um hélio?
P: *Não sei. Continua a simulação.*
E00: *Formou! Caraca.*
E00: *Tudo esse vermelho é energia?*
P: *Sim. Mais as partículas. Tá vendo as cobrinhas, as bolinhas vermelhas?*
E00: *O γ ?*
P: *Sim. São fótons.*
E00: *A luz.*
E00: *Fótons são bolinhas de luz? De energia?*
P: *Isso.*
E00: Só vai até o hélio.
E00: Só. É como se fosse no Sol. Só que no Sol acontece isso bilhões de vezes por segundo.

E00: Pode dizer que nele faz muitas fusões nucleares e por isso libera tanta luz. Deve ser assim nas outras estrelas também.



As representações mentais construídas, observadas nos argumentos da transcrição acima, substanciam a tese da TMC de que a interação com o mecanismo de mediação digital altera a estrutura cognitiva do indivíduo, uma vez que este atribui ao mecanismo externo parte do processamento das informações de seu novo modelo mental. A partir da previsibilidade de eventos simulados, como nas falas: “Eles colidem e vira um hélio” e “Só vai até o hélio”, podemos confirmar a evidência da operação cognitiva de natureza hipercultural. Ainda, ao construir representações mentais de previsões que transcendem à interface digital utilizada, como nas falas: “Só que no Sol acontece isso bilhões de vezes por segundo” e “Deve ser assim nas outras estrelas também”, podemos inferir que o *driver* hipercultural participou ativamente da aprendizagem conceitual do fenômeno analisado.

De maneira geral, argumentamos que durante o processo de interação com diferentes recursos de mediação ocorreram mudanças significativas na utilização de mecanismos cognitivos como bases para a arquitetura de novos modelos mentais sobre os fenômenos avaliados. Na próxima categoria, são apresentadas evidências verbais, gestuais e representações pictóricas dessas alterações.

Gestos descritivos, verbalizações e representações pictóricas dos modelos mentais

Nesta seção, apresentamos amostras dos resultados das entrevistas individuais e dos questionários em que os estudantes reportaram ao professor as construções cognitivas utilizadas para representar o fenômeno de fusão nuclear discutido durante a sequência didática mediada por simuladores virtuais. Nesta etapa os estudantes são identificados pela etiqueta “E” seguida de um número sequencial.

Para a explicação do conceito de fusão nuclear a estudante E01 (Figura 1) descreve um modelo mental do tipo temporal, isto é, a descrição do fenômeno obedece a uma sequência de quadros onde os elementos movimentam-se a partir de uma ordem temporal que corresponde à ordem temporal dos eventos observados.

I	II
	<p><i>P: O que é fusão nuclear? Como você respondeu essa questão?</i></p> <p><i>E01: É... eu diria que, fusão nuclear é... igual estava no computador, lá. Aquelas bolinhas, tipo, tinha três daí elas foram se juntando daí acabaram que acabaram numa bola e depois uma foi pra cada canto, e a outra que ficou com quatro, eu acho, ou algo assim, foi pro outro canto e as outras foram pra baixo.</i></p>
	

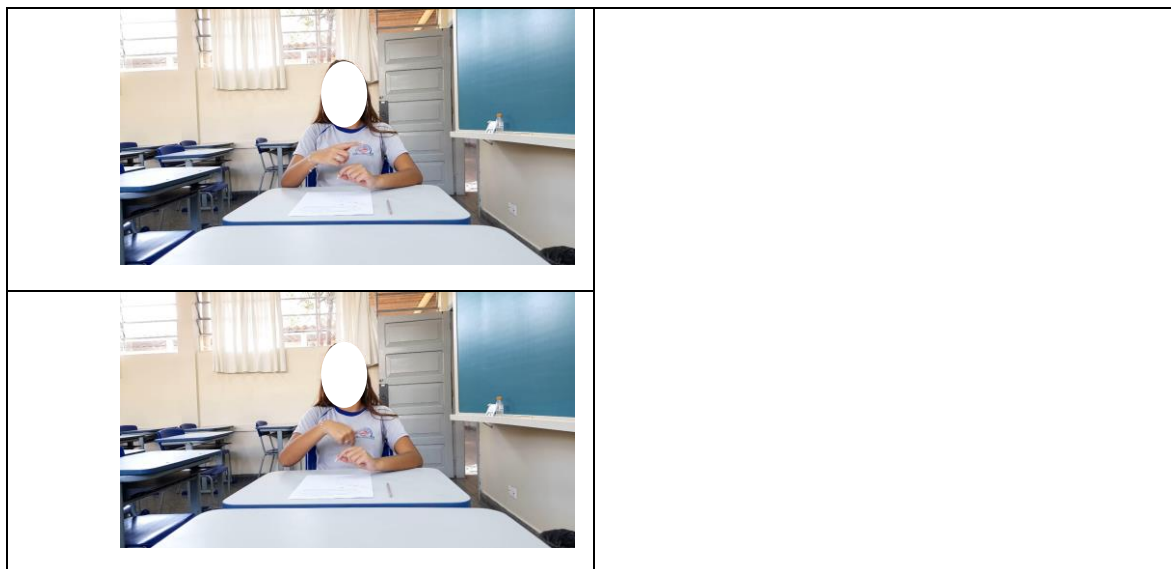


Figura 1 - I. Movimentação das mãos aproximando-se como analogia ao comportamento das partículas durante a fusão nuclear e o dedo indicador sinalizando a movimentação dos produtos da fusão entre os núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

Fonte: Arquivo dos autores.

Já o estudante E03 não utilizou a linguagem gestual para explicar o fenômeno da fusão nuclear durante a entrevista. Entretanto, o discurso verbal do estudante apresenta detalhes que evidenciam a construção de um modelo mental do tipo dinâmico. Os termos utilizados pelo estudante indicam a realização de uma simulação mental a partir da aquisição das imagens mentais adquiridas a partir da simulação virtual de fusão nuclear no Sol. A figura 2 compara as respostas do estudante com as imagens do simulador virtual.

I	II
<p><i>P: Eu queria que você me explicasse como você pensou para responder essas perguntas. Primeiro, sobre fusão nuclear. O que você respondeu sobre essa pergunta?</i></p> <p><i>E03: é quando dois átomos colidem gerando uma quantidade de energia.</i></p> <p><i>P: E como seria essa colisão entre eles?</i></p> <p><i>E03: Ah, é tipo, eles estão em movimento e batem um no outro (a). Vai soltar um pouco de energia e um deles provavelmente vai virar nêutron (b).</i></p> <p><i>P: Ah, um deles vai virar nêutron?</i></p> <p><i>E03: Provavelmente.</i></p> <p><i>P: E por que?</i></p> <p><i>E03: Libera um pouco de energia daí ele se transforma.</i></p>	<p>(a)</p> <p>Fusão nuclear: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$</p> <p>(b)</p>

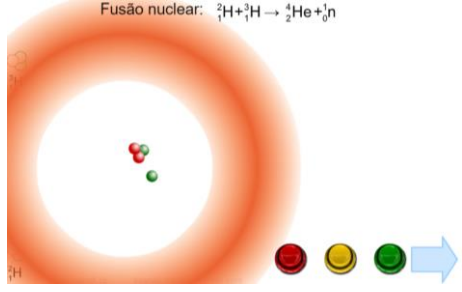
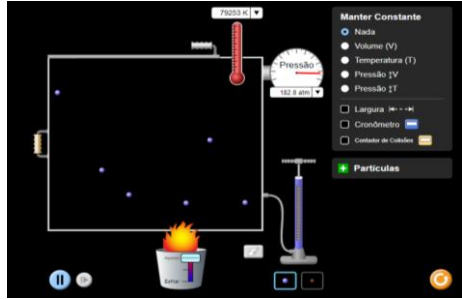
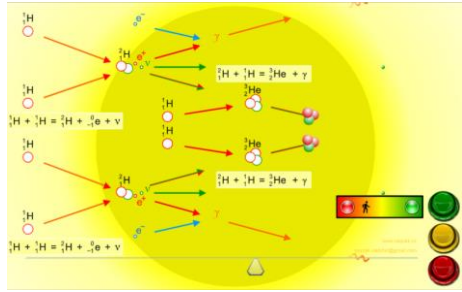
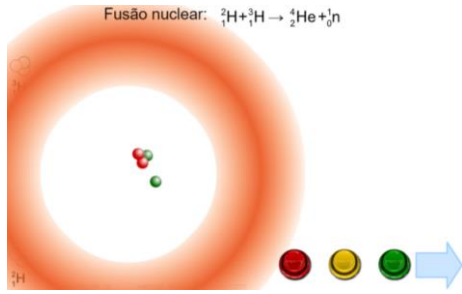
	
<p><i>P: E para eles colidirem, eles precisam estar de que jeito? Em que estado?</i></p> <p><i>E03: Eles precisam estar mais quentes, mais agitados.</i></p> <p><i>P: Mais agitados. Então, quando eles colidem, eles liberam energia.</i></p> <p><i>E03: Sim.</i></p>	<p>(c)</p> 
<p><i>P: E libera mais alguma coisa?</i></p> <p><i>E03: Na maioria das vezes uma partícula sai.</i></p> <p><i>P: Uma partícula é liberada?</i></p> <p><i>E03: Sim.</i></p> <p><i>P: Aquele que se juntou, ele forma um novo elemento?</i></p> <p><i>E03: Sim. <u>O hélio (c).</u></i></p> <p><i>P: E o hélio é diferente em que do átomo anterior da colisão?</i></p> <p><i>E03: É mais pesado.</i></p> <p><i>P: E a energia e as partículas liberadas, elas vão pra algum lugar específico quando são liberadas?</i></p> <p><i>E03: Não. <u>Sai pra todo lado. Tem um arco de energia que cresce em volta (d).</u></i></p>	<p>(d)</p>  <p>(e)</p> 

Figura 2 - Comparação entre a expressão verbal do estudante (I) com o layout do simulador virtual (II).

Fonte: Arquivo dos autores.

Durante a entrevista individual, a descrição realizada pela estudante E08 mostra um processo evolutivo de classes de modelos mentais físicos. A transcrição dos diálogos combinada com a análise dos gestos utilizados para a explicação do conceito de fusão nuclear (figura 3) evidencia uma progressão da modelagem mental do tipo espacial, seguido do temporal e do cinemático. Para além, tanto a verbalização da estudante quanto a sua gesticulação durante a explicação do fenômeno estudado revela a relação de

interconexão entre a estrutura cognitiva e as interfaces dos simuladores virtuais. Em outras palavras, a modelagem cognitiva construída pela estudante está fundamentada na simulação virtual utilizada.





I	II
<p>(a)</p> 	<p><i>P: Como você explicaria o que é fusão nuclear?</i></p> <p><i>E08: Diria que, tipo, é a junção de dois ou mais elementos químicos.</i></p> <p><i>P: E como que isso acontece? Como as partículas precisam estar pra isso acontecer?</i></p> <p><i>E08: Tipo assim, vai ter um elemento, por exemplo, vai ter duas partículas, daí um próton e um nêutron, que vai juntar com outra e vai fazer, tipo, outra coisa, outro elemento. Por exemplo, um hidrogênio, com duas partículas, um próton e um nêutron, junto com um igual ele vai virar um hélio com mais partículas.</i></p>
<p>(b)</p> 	<p><i>[...]</i></p> <p><i>P: E quando elas se chocam, o que acontece?</i></p> <p><i>E08: Elas se juntam.</i></p>
<p>(c)</p> 	<p><i>P: Só isso?</i></p> <p><i>E08: Não. Tipo, tem umas partículas que saem e tem uma energia também que sai. Uma energia muito grande.</i></p> <p><i>P: E pra onde isso vai? Tem alguma direção específica?</i></p> <p><i>E08: Vai tipo, assim, essas partículas colidem, tipo, ficam em volta disso. Depois vai se expandindo pra todo lado.</i></p>
<p>(d)</p> 	

Figura 3 - I. (a) Junção das pontas dos dedos indicando a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

Fonte: Arquivo dos autores.

Inicialmente, ao descrever a fusão nuclear como a “*junção de dois ou mais elementos químicos*” (E08), a estudante indica um modelo mental no qual há uma ordem temporal correspondente à sequência temporal dos eventos. Os gestos descritivos também indicam que a representação mental construída pela estudante obedece a uma ordem temporal dos eventos estudados. Esse modelo passa para um modelo cinemático ao estabelecer transformações e movimentos dos elementos representados sem que haja uma ruptura temporal. Isso pode ser observado na descrição que a estudante faz sobre as condições iniciais e finais das partículas durante o processo de fusão nuclear. Novamente, a estudante apresenta, como forma de expressão mental, o mecanismo cognitivo hipercultural, ou seja, o *driver* hipercultural relacionando sua representação mental aos eventos simulados virtualmente.

Os dados coletados na entrevista deixam evidentes a utilização do *driver* hipercultural na construção de modelos mentais dos tipos cinemático e dinâmico pelo estudante E09. Essas classes de modelos mentais construídas pelo estudante podem ser observadas na explicação verbal utilizada durante sua resposta na entrevista.

P: Pra você, o que é fusão nuclear?

E09: É quando junta duas partículas leves pra fazer uma mais pesada, pra gerar energia. E daí, precisa de condições e quantidades muito específicas de pressão e temperatura pra fazer essas partículas se juntarem. Daí, precisa quebrar uma barreira que é a barreira das partículas que positivo com positivo não pode se juntar, pra fazer um núcleo de hélio.

P: E essas partículas precisam estar de que jeito pra elas conseguirem se fundir?

E09: Rápidas, muito rápidas, tipo com energia muito grande pra ficar muito agitadas pra romper a barreira.

P: Tem alguma direção específica para onde elas se movem?

E09: Não, é bem aleatória. No computador elas estavam pra todos os lados.

P: Tá, mas por que no núcleo da estrela isso acontece de forma mais fácil?

E09: Porque lá tem mais pressão e temperatura.

P: E quando isso acontece, é liberado alguma coisa, além das partículas que se juntam? Quando elas se juntam, elas formam alguma coisa maior, ou mais pesada?

E09: Quando se juntam a massa aumenta e muda o elemento químico que se formou, porque aumenta a quantidade de partículas.

P: E além dessas partículas que se juntaram, libera mais alguma coisa?

E09: Energia. Quando elas se juntam, uma parte se transforma em partícula que sai e libera muita energia ao redor da colisão.

P: Então você acha que essa movimentação das partículas é que faz com que elas colidam?

E09: Sim.

P: E onde vão ficando esses elementos mais pesados que vão se formando?

E09: Acho que vai ficando em torno de onde ocorreu as colisões, vai se espalhando e vai ocorrendo mais colisões.

Pela resposta fornecida pelo estudante E09, é possível identificar um modelo mental fundamentado em uma sequência temporal contínua, onde os elementos transformam-se e movimentam-se a partir de relações causais entre os eventos representados. Os trechos grifados são evidências de que a modelagem interna do estudante se estrutura em causalidades. O estudante condiciona o fenômeno de fusão nuclear ao estado de movimento inicial das partículas e a liberação de energia à colisão dos núcleos atômicos. A verbalização do estudante apresenta elementos que reforçam a evidência de um modelo mental fundamentado na interação com os simuladores virtuais como, por exemplo “*com energia muito grande pra ficar muito agitadas pra romper a barreira*” referindo-se ao simulador de propriedade dos gases e “*Quando elas se juntam, uma parte se transforma em partícula que sai e libera muita energia ao redor da colisão*”, referindo-se ao simulador de fusão nuclear. Esses elementos reiteram que a mediação cognitiva ocorreu a partir do *driver* hipercultural.

A transcrição das falas do estudante E10, combinada com os gestos descritivos realizados por ele na figura 4 apresentam evidências da utilização do *driver* hipercultural na construção de modelos mentais do tipo temporal e cinemático.

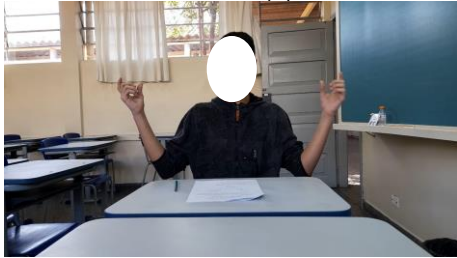
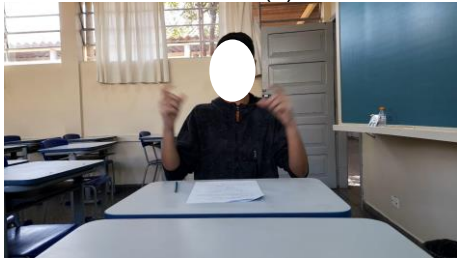



I	II
<p>(a)</p> 	<p>P: O que você pensou quando respondeu a primeira pergunta? Como você explicaria a fusão nuclear?</p> <p>E10: A fusão nuclear é quando tem, assim, os átomos lá [gestos a] que quando eles saem eles podem se juntar [gestos b e c] e formar outros e energia. Igual ao que eu coloquei aqui, quando os átomos se juntam formam outros e tem uma explosão com liberação de energia.</p>
<p>(b)</p> 	<p>P: Ok. Você disse que tem a liberação de energia. Essa energia vai pra algum lugar específico ou não?</p> <p>E10: Ela vai pra todo lado assim.</p>
<p>(c)</p> 	<p>P: E tem a liberação de mais alguma coisa quando isso acontece?</p> <p>E10: Quando os átomos se batem, tem a energia que sai assim [gestos d] e umas partículas pequenas que saem pra outro lado [gestos e].</p>
<p>(d)</p> 	
<p>(e)</p> 	

Figura 4 - I. (a) Dedos indicadores e polegares descrevendo a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos; (e) dedo indicador da mão direita descrevendo a trajetória da partícula liberada após a fusão dos núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

Fonte: Arquivo dos autores.

As respostas do estudante evidenciam um modelo mental com uma ordem temporal psicologicamente contínua em que os elementos - “átomos, energia, partículas pequenas” (E10) - movimentam-se e transformam-se sem que ocorra um hiato temporal. Para além, na sequência das respostas do estudante, verifica-se a mudança para um modelo mental do tipo dinâmico ao estabelecer relações causais entre os eventos descritos e as condições iniciais dos elementos modelados.

O estudante E16 apresenta em suas respostas uma expressão verbal bastante detalhada acerca do comportamento das partículas antes e durante o processo de fusão nuclear. Quando o estudante condiciona a fusão entre prótons à quantidade de calor presente nas partículas iniciais, tem-se a evidência da construção de um modelo mental dinâmico. Nesse caso, há relações causais entre as propriedades dos elementos representados em uma sequência temporalmente contínua. A seguir, os trechos destacados da transcrição do estudante reforçam esse argumento.

P: Como você explicaria o que é fusão nuclear?

E16: Fusão nuclear é a fusão entre átomos, tipo em uma temperatura muito alta de milhões de graus Celsius.

P: E por que que tem que ter essa temperatura alta?

E16: Porque... tipo, próton com próton vai se afastar se tiver lento, assim [gestos]. Só que se for uma velocidade alta, vai tipo quebrar essa barreira e vai juntar os dois, por isso que tem os núcleos, prótons conectados com prótons.

Além da transcrição, os gestos apresentados por esse estudante (figura 5) reforçam o comportamento dinâmico da representação mental construída por ele.

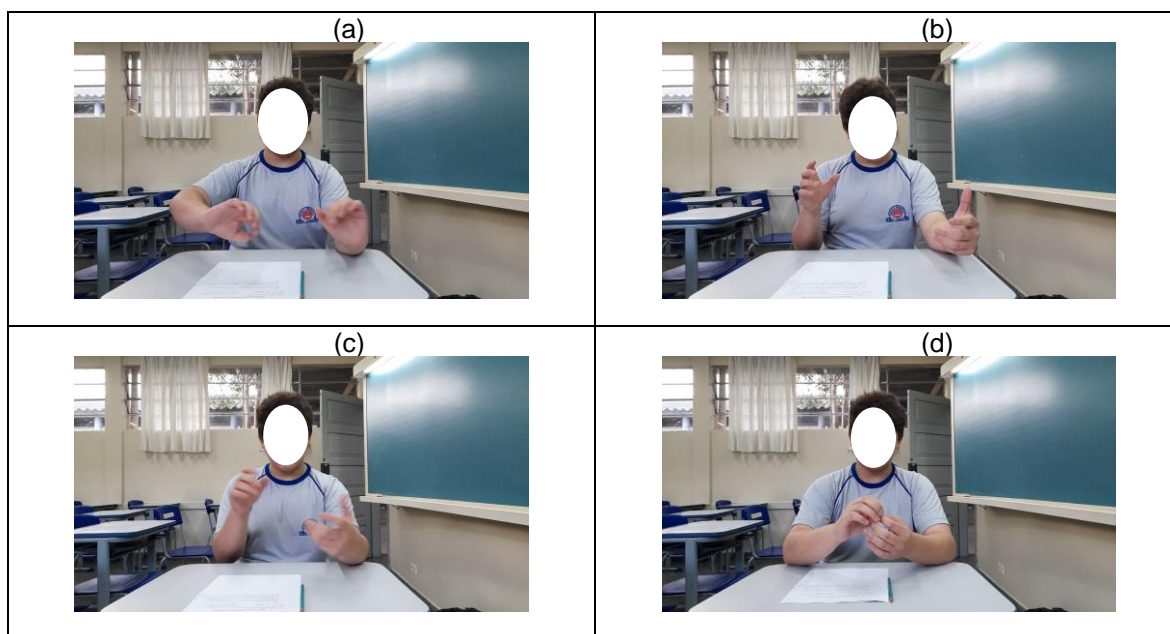
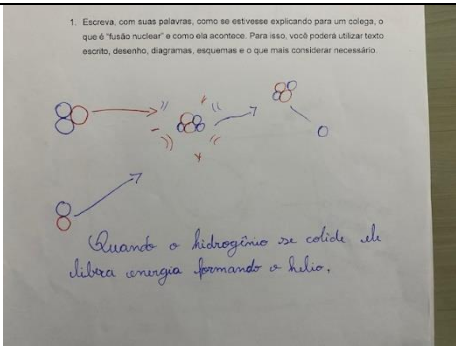
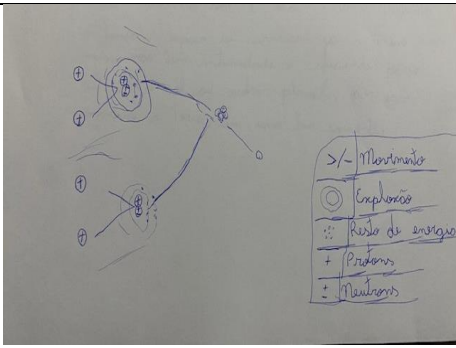
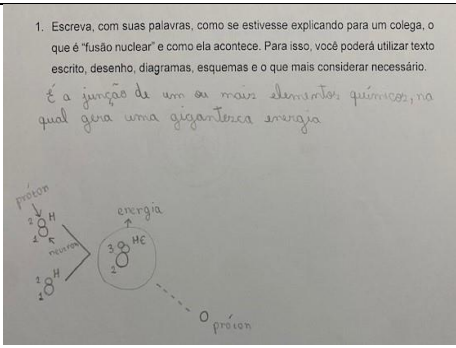
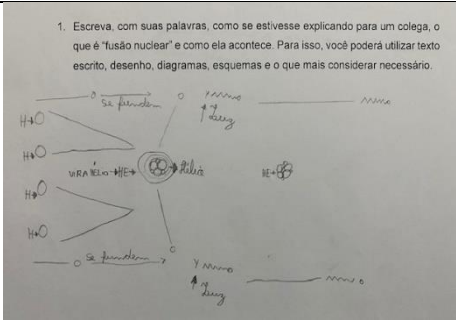


Figura 5 - (a) Mãos curvadas descrevendo o movimento de afastamento das partículas em condições de velocidades baixas; (b) e (c) mãos côncavas em direção uma à outra descrevendo o movimento necessário para a colisão entre as partículas; (d) união das mãos indicando a fusão entre as partículas atômicas.

Fonte: Arquivo dos autores.

Além das expressões verbais e dos gestos descritivos produzidos pelos estudantes, as respostas fornecidas nos questionários consubstanciam a utilização do mecanismo cognitivo hipercultural na

sustentação dos modelos mentais construídos. Na figura 6, apresentamos a evolução dos modelos mentais representados de forma escrita e/ou pictórica pelos estudantes.

Estudante	Questionário inicial	Questionário posterior
E01	<p>12. Na sua opinião, como foram formados os diferentes elementos químicos (oxigênio, ferro, ouro, nitrogênio etc.) no Universo?</p> <p>Atraves da lava.</p>	<p>1. Escreva, com suas palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é "fusão nuclear" e como ela acontece. Para isso, você poderá utilizar texto escrito, desenho, diagramas, esquemas e o que mais considerar necessário.</p>  <p>Quando o hidrogenio se colide ele libera energia formando o helio.</p>
E03	<p>12. Na sua opinião, como foram formados os diferentes elementos químicos (oxigênio, ferro, ouro, nitrogênio etc.) no Universo?</p> <p>foram formados a partir da matuerza.</p>	 <p>>/- Movimento ⊕ Explosão :: Reserva de energia + Protons + Neutrons</p>
E08	<p>12. Na sua opinião, como foram formados os diferentes elementos químicos (oxigênio, ferro, ouro, nitrogênio etc.) no Universo?</p> <p>A partir da formação do planeta.</p>	<p>1. Escreva, com suas palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é "fusão nuclear" e como ela acontece. Para isso, você poderá utilizar texto escrito, desenho, diagramas, esquemas e o que mais considerar necessário.</p> <p>É a junção de um ou mais elementos químicos, na qual gera uma gigantesca energia</p>  <p>energia</p> <p>próton</p>
E11	<p>12. Na sua opinião, como foram formados os diferentes elementos químicos (oxigênio, ferro, ouro, nitrogênio etc.) no Universo?</p> <p>foram formados a partir da universon em planetas</p>	<p>1. Escreva, com suas palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é "fusão nuclear" e como ela acontece. Para isso, você poderá utilizar texto escrito, desenho, diagramas, esquemas e o que mais considerar necessário.</p>  <p>energia</p>

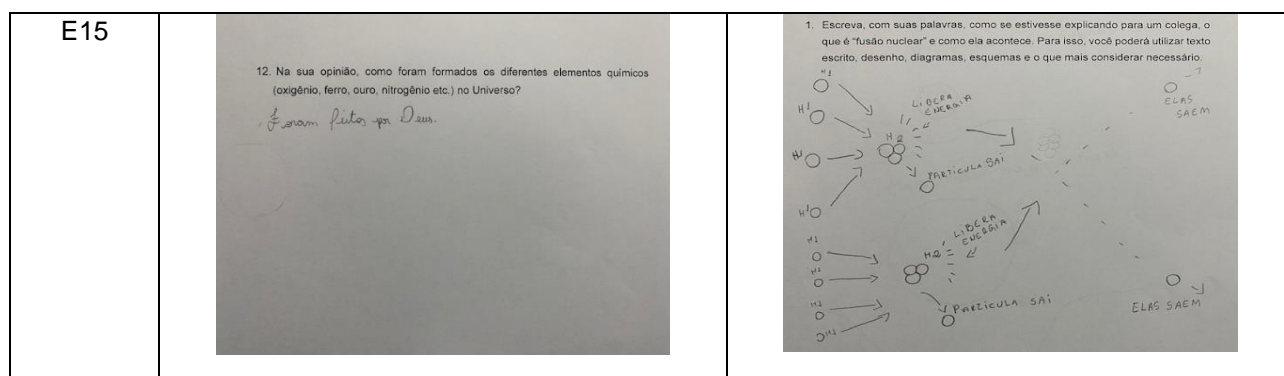


Figura 6 - Evolução das representações mentais dos estudantes apresentadas nos questionários inicial e posterior.

Fonte: Arquivo dos autores.

Os dados fornecidos pelos questionários corroboram que as formas de mediação cognitiva influenciam diretamente na construção de representações mentais dos estudantes. Inicialmente, observam-se modelagens internas baseadas em mediações socioculturais. Elementos textuais utilizados para explicar a origem dos elementos químicos no universo como “*através da lava*” ou “*a partir da natureza*” ou “*foram feitas por Deus*” remetem a utilização de processamento de informações estruturadas nas interações sociais e com artefatos culturais dos estudantes. Após a utilização de simuladores virtuais como mecanismos de mediação cognitiva, observa-se uma evolução conceitual nas representações mentais estabelecidas. Para além, as explicações posteriores se complementam com representações pictóricas que refletem a utilização das interfaces digitais na modelagem cognitiva. Além disso, as representações pictóricas refletem a dinamicidade dos modelos mentais dos estudantes ao estabelecer uma sequência temporal contínua dos eventos, simbolizados por flechas indicando as etapas do fenômeno. Os elementos gráficos dos simuladores virtuais também são observados nas ilustrações, como o formato das partículas, a dispersão da energia e a direção do movimento das partículas.

Como visto nos exemplos descritos, a combinação das expressões verbais e gestuais e as respostas nos questionários forneceram evidências do estabelecimento de modelos mentais arquitetados em mecanismos cognitivos de natureza hipercultural. Desse modo, tensionamos argumentar que a cognição dos estudantes não é uma propriedade exclusivamente humana, mas um híbrido mente-matéria, conforme será discutido na seção seguinte.

HIBRIDAÇÃO COGNITIVA

Os Modernos, segundo Bruno Latour, condicionaram as existências às ontologias isoladas e com fronteiras bem marcadas. Nesta pesquisa, se adotássemos a visão Moderna, estabeleceríamos a separação ontológica entre estudante, professor, escola, fato científico e tecnologias de informação e comunicação (TIC), isto é, persistiríamos na dicotomia sociedade-natureza. Nesse sentido, se permanecermos nesse plano e extrapolarmos a teoria latouriana, “notaremos que a maioria das tensões resultam do fato de que, para julgar a veracidade de um modo, usamos as condições de verificação de outro modo” (Latour, 2019a, p. 27). Isto é, o resultado será o obscurecimento dos eventos e dos seres das interfases, do que Latour chama de Império do Meio, induzindo a avaliação do desempenho dos atores do processo educacional de forma pontualizada no espaço e no tempo, atribuindo a ação a competências das ontologias purificadas.

Assim, uma consequência significativa do abandono da ruptura ontológica entre humanos e não-humanos é a concepção da existência condicionada à pluralidade de interseções entre os diferentes actantes, reunidos em um quase-sujeito ou em um quase-objeto. Dessa forma, os resultados apresentados na seção anterior são as evidências de que o processo interacional entre estudante-TIC fazer emergir um híbrido que conecta, o que faz fazer, o ponto de afluência entre as redes identificadas. Esse híbrido é o mecanismo cognitivo capaz de estabelecer uma continuidade da ação entre a modelagem mental e o simulador virtual.

Destarte, Latour (2019b), argumenta sobre o modo de existência como rede e, para isso, toma o significado de rede como aquilo que “designa uma *série de associações* revelada por meio de uma prova [...] que permite compreender por quais séries de pequenas *descontinuidades* convém *passar* para obter certa *continuidade* de ação” (Latour, 2019b, p. 39). Dessa forma, a tradução é entendida como a articulação de uma fenda entre dois cursos de ação que permite a sua continuidade e, que ao mesmo tempo, faz emergir um modo de existência novo, um híbrido. Segundo Latour,

“A *continuidade do curso de ação* [...] não estaria garantida sem pequenas *interrupções*, pequenos *hiatos* cuja lista cada vez mais longa a *etnografia* não cessa de elaborar. Digamos que se trata de um **passé** particular (como se diz em jogos de bola) e que consiste, para uma entidade qualquer, em passar por outra por intermédio de um passo, um salto, um limiar no curso habitual das coisas” (Latour, 2019b, p. 40).

Importante enfatizar aqui, que nesse trabalho realizamos a transposição da análise simétrica de Latour para o processo de cognição humana mediada por TIC. Dessa forma, temos o processo de construção de representações mentais do conceito de fusão nuclear como a associação de dois cursos de ação que, pelo caráter interacional do processamento de informações, apresenta uma interrupção em seu curso, visto a intangibilidade sensorial do fenômeno (figura 7). Nesse quadro, tem-se uma *outra* entidade capaz de estabelecer um *passé* que, ao firmar conexão entre os cursos iniciais, modifica os originais, isto é, modifica tanto o estudante em sua estrutura cognitiva, quanto o conceito que passa a compor uma rede diversa.

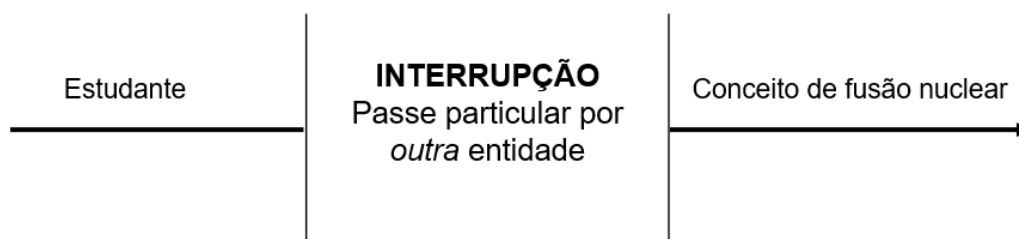


Figura 7 - Interrupção causada pela não tangibilidade do fenômeno físico no processo ensino-aprendizagem.
Fonte: Autores.

O que argumentamos é que o salto necessário para superar a interrupção descrita acima pode ocorrer ao se fazer uma associação com uma TIC, mais especificamente com simuladores virtuais, tendo em vista que, de acordo com o previsto na TMC e demonstrado na análise dos resultados da seção anterior, a emergência de *drivers* hiperculturais devido ao uso de simuladores e as evidências das alterações das representações mentais, credenciam as TIC para tanto, na visão proposta por Latour. Entretanto, ao alistar mais esse actante, alteramos a própria essência da rede da aprendizagem, uma vez que condicionamos a sua existência à composição heterogênea de elementos humanos e não-humanos, isto é, à “instalação de um conjunto heterogêneo dos elementos necessários à circulação” (Latour, 2019b, p. 38).

Isto posto, se a continuidade do processo de modelagem cognitiva ocorre pelas passagens nas descontinuidades dos cursos de ação dos actantes alistados (estudante-TIC-conceito de fusão nuclear), o resultado desse movimento produz híbridos particulares responsáveis pelos saltos, cujo objetivo é manter o fluxo, o movimento da rede do processamento de informações.

Nesse sentido, admitimos que o *driver* cognitivo previsto na TMC caracteriza-se como um ser particular, um quase-objeto na perspectiva latouriana, o que, por sua vez, torna-se o modo de existência necessário para o alistamento de actantes não-humanos no processo ensino-aprendizagem do conceito abstrato de fusão nuclear. Ou seja, o *driver* hipercultural preenche a lacuna causada pela interrupção na aprendizagem devido à não tangibilidade sensorial do conceito de fusão nuclear.

Ao propor a TMC, Campello de Souza (2004) não considerou a análise de um fenômeno interacional entre um indivíduo e um artefato em uma situação hermética. Nas palavras dele, “trata-se de um fenômeno

muito mais amplo, que engloba a noção de uma ecologia cognitiva ativa, composta por inúmeros elementos processadores de informação dinamicamente interligados sob a forma de redes complexas” (Campello de Souza, 2004, p. 130). Ainda, a concepção do conceito de mediação não pode ser tomada como simples interação sujeito-objeto em um meato isolado, mas como a utilização de componentes extracerebrais disponíveis no ambiente como alicerce cognitivo (Campello de Souza, 2004).

Extrapolando a simetria generalizada de Latour para os contextos cognitivos no coletivo educacional e a TMC para a antropologia simétrica, temos que o movimento de hibridação do processo de mediação pode ser observado a partir de alguns pressupostos gerais da TMC: 1) o cérebro humano é um dispositivo computacional limitado; 2) um conjunto de elementos físicos funcionalmente interligados é capaz de processamento de informações; 3) os humanos complementam o seu processamento cerebral a partir de estruturas externas (Campello de Souza, 2006). Nesta perspectiva, o conhecimento é obtido a partir da interação com os não-humanos e sua capacidade de fornecer processamento extracerebral. Para que isso ocorra, é inevitável a construção de mecanismos mentais internos que viabilizem a interação (Campello de Souza, 2004; 2006). Tais são os mecanismos internos denominados *drivers* cognitivos (Wolff, 2015).

Esse cruzamento teórico resulta no entendimento da atividade interacional própria do processo ensino-aprendizagem como um sistema reticular de cognição. Portanto, a cognição do estudante não pode ser avaliada de forma circunscrita às propriedades da mente, “mas da mente-matéria, de um híbrido coletivo, social e heterogêneo, isto é, sociotécnico instável” (Cardoso, 2015, p. 253).

Dessa forma, os *drivers* cognitivos são os seres construídos nas mediações, nas articulações de cursos de ação e, na linguagem latouriana, podem ser classificados como ser-enquanto-outro que permuta, recruta e mobiliza outros elementos (simulador virtual, estudante, conceito de fusão nuclear) e que possuem um estatuto ontológico próprio, que nos tornam capazes de *fazer* alguma coisa, no caso específico desta pesquisa, construir uma representação mental a partir da associação de diferentes elementos. São, portanto,

“seres cuja continuidade, o prolongamento, a extensão se pagariam com suficientes incertezas, descontinuidades e inquietudes para que continue sendo visível que sua instauração poderia falhar se não se conseguirem entendê-los segundo sua chave de interpretação, segundo o enigma próprio que colocam àqueles sobre os quais pesam; seres que sempre erguem, inquietos, em um cruzamento de caminhos” (Latour, 2019b, p. 138).

As análises dos dados apresentados na seção anterior comprovam a participação dos *drivers* cognitivos na construção das representações mentais dos estudantes, fato que nos permite argumentar que o mecanismo de cognição interno dos estudantes, estabelecido durante a mediação digital, permitiu a continuidade da ação da modelagem mental. As classes de modelos mentais observadas nas entrevistas referem-se à dinamicidade do fenômeno da fusão nuclear visualizada nas interfaces dos simuladores virtuais. Em outras palavras, os dados empíricos revelam a interdependência da mente com o simulador virtual para a existência de um modelo interno de um fenômeno físico não tangível pelos órgãos sensoriais (psicofísicos).

A ideia de que o *driver* hipercultural seja o ser construído na mediação entre cursos de ação na sala de aula só tem sentido quando entendida como a interfase na conexão entre o estudante e o dispositivo computacional. As representações mentais, apresentadas na seção anterior, foram construídas a partir do agenciamento desse novo ser, configuram-se como sistemas heterogêneos vinculados às arquiteturas reticulares cognitivas, isto é, existem como redes onde o *driver* hipercultural é o híbrido que conecta, que salta o hiato das descontinuidades entre o abstrato e a sua modelização.

Outra vez, as evidências encontradas desse mecanismo mostram as construções das representações mentais dos estudantes com origem na representação gráfica dos simuladores virtuais utilizados. De acordo com a TMC, o funcionamento desse mecanismo híbrido ocorre mesmo na ausência do artefato digital. Como exemplo de evidência discutida na seção anterior, a comparação da descrição da representação mental do estudante, obtida na entrevista individual, com o *layout* do simulador virtual na figura 2, indica a participação desse novo ser, o quase-objeto, capaz de *fazer* a estrutura cognitiva *fazer* rodar um modelo mental do fenômeno simulado.

Sendo, portanto, os *drivers* cognitivos produtos do processo de mediação entre humano e não-humano, um salto no hiato entre cursos de ação, quando são analisados a partir da perspectiva latouriana é possível admiti-los como seres instituídos por redes de produção de interioridades, isto é, híbridos de elementos de processamentos internos e externos da mediação cerebral. Para além, reforçando o argumento

apresentado, a identificação desses híbridos (quase-objetos) só é possível quando descrito o entrelaçamento do curso de ação n-1 que o precede (simulador virtual) com o curso n+1 (representação mental do fenômeno estudado) que o sucede (figura 8).

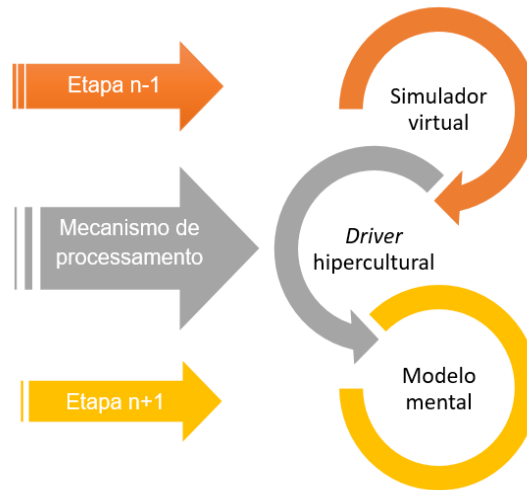


Figura 8 - Entrelaçamento de cursos de ação na produção de híbridos.
Fonte: Autores.

Entretanto, é importante destacar que a associação das etapas acima deve ser interpretada a partir de sua irreducibilidade, isto é, cada etapa é, em si, um conjunto de etapas anteriores e posteriores, como os modelos mentais prévios dos estudantes, a intangibilidade sensorial do fenômeno, a aplicação do conhecimento e outras redes.

Deste modo, a descrição da rede possibilita o recolhimento de um número bastante grande de indícios sobre o aparato necessário para sua produção. Além disso, essa descrição permite a observação de que a ausência de qualquer um dos actantes alistados e/ou das mediações entre os cursos de ação impossibilita a produção desses novos seres (Latour, 2019a, 2019b), conforme a figura 9.

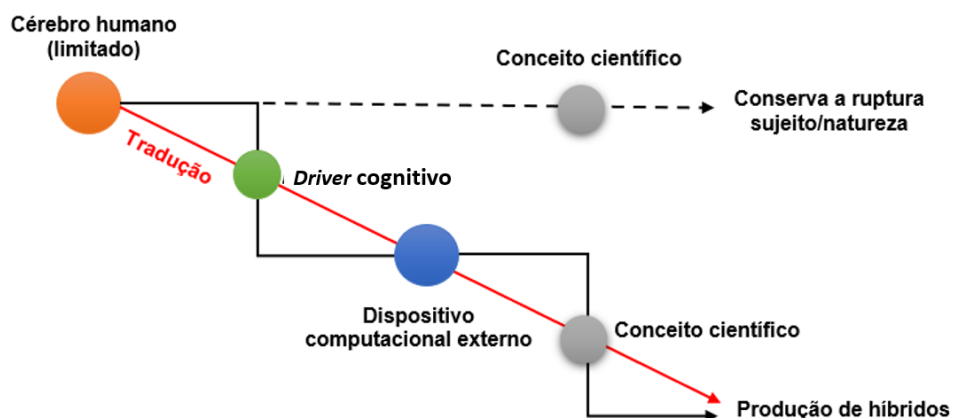


Figura 9 - Produção de híbridos na mediação digital.
Fonte: Autores.

Assim, na concepção dicotômica dos Modernos (sujeito-natureza) este modo de existência seria impossível de se detectar, pois não está ligado diretamente a um dos polos ontológicos modernizados ou, como argumentaremos mais à frente, sua existência, quando admitida, será julgada como pontualizada no espaço e no tempo, como fruto de um determinismo social ou tecnológico. Em outras palavras, a partir da análise simétrica latouriana, os *drivers*, enquanto seres híbridos, possuem certa invisibilidade quando contrastados com objetos do mundo visível dos Modernos. Entretanto, ao interpretarmos esses híbridos, isto é, os *drivers* cognitivos a partir dessa perspectiva, assumimos as palavras de Latour:

“a invisibilidade dessas entidades não é irracional, sobrenatural ou misteriosa; ela provém de sua forma precisa de articulação: estes seres são tomados por outra coisa porque eles se tomam por outros e nos tomam por outros, nos dando assim os meios para nos transformar em outros, para nos desviarmos das nossas trajetórias, para inovar, criar” (Latour, 2019b, p. 172).

Importante salientar que a instauração dos *drivers* cognitivos ocorre mediante a interação humano-não-humano (no caso deste estudo, estudante -TIC). É a partir da mediação digital que a hibridação do processo ensino-aprendizagem pode ser observada sob a interposição das teorias de base deste estudo. Para além, entendemos que o *driver* cognitivo modifica não apenas a forma da representação mental construída, mas a sua própria natureza uma vez que existe a partir da intersecção de propriedades humanas e não humanas. Neste caso, a introdução de um novo agente (*driver* hipercultural) em um programa de ação estabelecido previamente implica na translação de objetivos e significados. Assim, temos a expressão conceitual do estudante sobre fusão nuclear substancialmente modificada a partir da interação com os simuladores virtuais.

A descrição do fenômeno de fusão nuclear revelado pelo modelo mental, desloca o estudante de forma espacial (retorna ao *layout* digital do simulador, agora ausente), temporal (volta às aulas anteriores com interação entre estudante-TIC) e atorialmente ao estabelecer as bases da cognição no *driver* hipercultural. Alinhado à teoria latouriana, o que fica é um simulador virtual ausente, um mecanismo cognitivo hipercultural em seu lugar e uma representação mental de caráter intrinsecamente híbrido entre humano e não-humano.

O apagamento da rede heterogênea que constitui o modelo mental do estudante invisibiliza a delegação técnica do *driver* hipercultural. Portanto, a transposição da fronteira entre signos e fenômeno foi construída a partir da delegação técnica do mecanismo cognitivo hipercultural, uma vez que foi dado a ele uma capacidade de agência que altera o funcionamento da estrutura cognitiva do estudante. A figura 10 mostra o *driver* hipercultural recrutando os diferentes elementos para uma determinada ação, no caso, a modelagem mental do conceito de fusão nuclear.

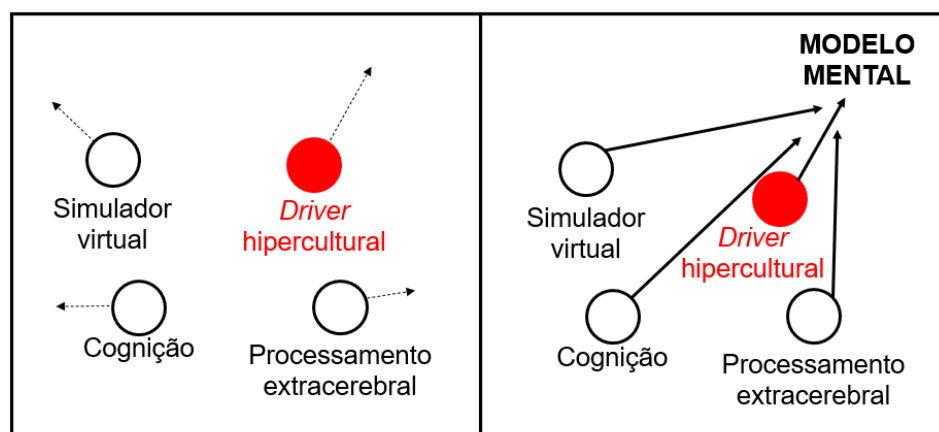


Figura 10 - Delegação como recrutamento de ações do *driver* hipercultural.
Fonte: Adaptado de Cardoso (2015, p.252).

Delegar, nesse contexto, “implica estender a ação a outro actante, comprometendo-se e confiando no seu funcionamento” (Lemos, 2013, p. 128-129). Assim, o simulador virtual delega ao *driver* hipercultural a proposição de ação na estruturação dos modelos mentais sobre o fenômeno da fusão nuclear.

Deste modo, a mediação técnica desloca entidades cujas propriedades, espaços e tempos se entrecruzam e constroem um novo actante, um modelo mental. Na linguagem latouriana, de forma alguma podemos argumentar que os modelos mentais existem como caráter exclusivamente humano sem considerar aquilo que os autoriza e capacita a existir, a saber, o *driver* hipercultural e o simulador virtual. Os estudantes se tornam, portanto, uma instituição reticular, um quase-objeto ou um quase-sujeito.

REFLEXÕES PARA A PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

A partir da leitura dos resultados da pesquisa sob a ótica não moderna da antropologia simétrica, a mediação por tecnologias de informação e comunicação (TIC) no processo ensino-aprendizagem de conceitos das ciências da natureza ganha uma nova interpretação. Em face do que foi exposto, tecemos algumas considerações acerca dessa interpretação.

As TIC são, em geral, entendidas como intermediários, quando, na verdade, são mediadores, pois operam modificações na sua correspondência com outros actantes, isto é, são entidades que alteram o curso de dados na rede de aprendizagem de ciências da natureza. Em outras palavras, as TIC modificam a forma de representar internamente o fenômeno físico abordado, o que configura numa alteração da própria estrutura cognitiva do estudante. A pesquisa evidenciou que a estrutura cognitiva dos estudantes é modificada a partir da associação com os não-humanos do processo interativo. Logo, podemos afirmar que a cognição humana não é uma propriedade exclusivamente humana, mas um híbrido mente-matéria.

O trabalho da mediação com as TIC, no pensamento latouriano, corresponde, dessa forma, a um acoplamento, uma vinculação que altera a rede de proposições da sala de aula de ciências da natureza. Esse processo de mediação produz o *driver* hipercultural, o híbrido que, por estimular a dinamicidade das representações internas, tornam-se mecanismos de *fazer fazer* conexões anteriormente inexistentes, substanciando seu caráter transformador da rede, uma vez que atribui plasticidade na contextualização do conceito apreendido ao invés da sua cristalização como aprendizagem memorística.

Nesse sentido, a continuidade do curso de ação do ensino-aprendizagem é possibilitada pela produção do *driver* cognitivo, pois se estabelece a fluidez do processo e não as rupturas em ontologias dicotômicas. Por esse motivo, entendemos que a própria aprendizagem não pode ser tomada como elemento estanque no tempo e no espaço, mas como um *continuum*, uma expansão das redes iniciais a partir do cruzamento com redes diversas.

O resultado da pesquisa pode ser arregimentado, também, para reforçar a tese de que os *drivers* cognitivos emergem como actantes híbridos uma vez que são definidos pelos efeitos de suas ações, isto é, na construção de representações mentais a partir de informações extracerebrais. Desse modo, eles produzem efeitos nas redes associadas, modificando-as quando permitem a contextualização do conceito representado mentalmente e sendo modificados quando estabelecem conexões com outras formas de mediação. No entanto, suas ações só serão descritas se os seus movimentos forem acompanhados, planejados.

A fluidez tensionada pela antropologia simétrica permite interpretar os atores associados no processo ensino aprendizagem mediado por TIC como híbridos quase-sujeitos ou quase-objetos, pois, após a tradução causada pelos desvios nos cursos de ação, esses passam a compartilhar competências humanas e não humanas. Além disso, podemos argumentar que a realidade educacional existe enquanto acoplamento de proposições. Em outras palavras, a realidade *ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear* existe, nos moldes metodológicos desta pesquisa, se e somente se os cursos de ação envolvidos estiverem associados, isto é, o *driver* cognitivo existe a partir da associação da estrutura cognitiva (humano) com o *layout* computacional (não-humano) com a linguagem do professor (humano) com o aparelho de computador (não-humano) com o conceito de fusão nuclear (humano-não-humano) com o prédio da escola (não-humano) com rede mundial de computadores (não-humano).

Ainda sob os pressupostos do pensamento latouriano, defendemos que os resultados desta pesquisa não podem ser tomados a partir de uma perspectiva materialista, onde os actantes não-humanos, as TIC, agem em virtude de componentes materiais irreduzíveis às propriedades humanas. Isso levaria a um entendimento determinista da tecnologia digital sobre o humano. Entretanto, as alterações cognitivas, isto é,

a produção dos *drivers* cognitivos, não pode ser tomada como ação exclusivamente humana a partir de um artefato (TIC) como uma ferramenta ou um veículo neutro para a vontade humana. Partir dessa perspectiva, leva à compreensão de um determinismo social em que as TIC consistiriam apenas no meio de aceleração do ato de aprender, isto é, a aprendizagem nesse contexto torna-se ação exclusivamente humana.

A associação das teorias realizada nessa pesquisa permite, portanto, argumentar que a aprendizagem do conceito de fusão nuclear a partir da mediação por simuladores virtuais não é uma propriedade exclusivamente humana. Aprendizagem, nesse contexto, significa um amálgama de propriedades humanas e propriedades não humanas constituindo um novo ser: o híbrido. O *driver* cognitivo é um híbrido, pois é produto da mediação cognitiva; o conceito de fusão nuclear na sala de aula é um híbrido pois é traduzido para a rede do estudante, visto que o estudante o contextualiza com seus objetivos; o estudante é um híbrido, pois existe enquanto associação com os demais actantes do processo de mediação.

O reconhecimento da hibridação cognitiva e do processo ensino-aprendizagem nos autoriza argumentar que, para entender a aprendizagem de conceitos das ciências da natureza, especialmente àqueles inacessíveis pelos órgãos dos sentidos, precisamos rastrear como ela é produzida pelas redes de práticas sociais e materiais, a partir dos desvios, das traduções e das mediações. Na perspectiva não moderna, são essas práticas que geram as representações internas que estabelecem a apreensão do mundo, em outras palavras, são elas que são performativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo buscamos analisar os movimentos cognitivos de estudantes de ciências da natureza durante e após o processo ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear mediado por simuladores virtuais. Partimos da premissa de que, nesse contexto, ocorre a produção de mecanismos de cognição híbridos de propriedades humanas e propriedades não-humanas que estruturam as representações mentais construídas pelos estudantes.

Os dados coletados foram analisados a partir da intersecção da Teoria da Mediação Cognitiva em Rede, com a Teoria dos Modelos Mentais e com os pressupostos da Antropologia Simétrica de Bruno Latour. Os resultados demonstram a intrínseca relação do processamento de informação interna do estudante com os *layouts* dos simuladores virtuais utilizados durante o desenvolvimento da sequência didática aplicada.

A descrição dos mecanismos cognitivos nos permite argumentar em favor do potencial de processamento de informações extracerebral das tecnologias digitais no ensino-aprendizagem de conceitos não sensoriais das ciências naturais, uma vez que esses quase-objetos foram essenciais para a construção de representações mentais sobre o conceito de fusão nuclear coerentes com o estabelecido pelo conhecimento científico contemporâneo.

A partir da análise realizada, podemos, portanto, defender a tese de que a mediação digital no processo ensino-aprendizagem de conceitos não sensoriais das ciências da natureza altera a estrutura cognitiva dos estudantes influenciando na construção das representações mentais e, a partir da análise simétrica latouriana, tanto as representações mentais construídas quanto o processo de ensino-aprendizagem mediado por tecnologias digitais constituem-se em um *continuum*, em híbridos de humanos e não-humanos, pois há troca de propriedades mútuas entre os actantes arregimentados durante o processo.

Dessa forma, defendemos que ao admitir a não transcendência da Natureza e a não imanência da Sociedade podemos superar a interpretação Moderna de objetividade, neutralidade e positividade do conhecimento científico em sala de aula de ciências além de libertar os actantes não-humanos da passividade no processo ensino-aprendizagem.

A pesquisa também evidenciou que, sendo o conceito de fusão nuclear um conceito não tangível sensorialmente, a participação de actantes não-humanos na composição do processo ensino-aprendizagem torna-se essencial, uma vez que permite a extrapolação da descrição na forma de linguagem escrita para a construção de representações mentais dinâmicas e mais sofisticadas em relação à disposição e forma dos elementos que as constituem.

Isto posto, acreditamos que uma importante contribuição deste estudo para o âmbito do ensino de ciências da natureza seja a articulação de teorias distintas e interdisciplinares que, ao ser adotada para esta pesquisa, permitiu uma nova interpretação do processo ensino-aprendizagem mediado por tecnologias

digitais, assunto esse amplamente discutido na literatura acadêmica de forma dicotômica entre os elementos investigados, ou seja, avaliando potencialidades e limites de artefatos ou metodologias de ensino. Inversamente, apresentamos esse processo como híbrido, onde o movimento da aprendizagem tem primazia sobre o conceito aprendido ou o humano que aprendeu.

Por fim, com base no que foi apresentado, muitas questões foram suscitadas e que ainda não puderam ser investigadas, tais como: a consideração da aprendizagem como um híbrido implica em novas formas de avaliação da aprendizagem escolar? Se as TIC modificam e são modificadas nos processos de mediação e na produção de híbridos, como devem ser discutidas a sua implementação na educação básica? Qual o papel das políticas públicas de inserção de TIC na educação básica na produção de estudantes híbridos? Quais as implicações da formação do professor para atuar como mediador representante da rede da ciência na sala de aula a partir de uma concepção simétrica? Ainda há muito a ser pesquisado, mas acreditamos que a pesquisa que apresentamos contribui para ampliar o entendimento das questões relacionadas ao ensino-aprendizagem de ciências da natureza mediado por TIC.

REFERÊNCIAS

- Arntz, Arnoud (2020). A plea for more attention to mental representations. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 67, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2019.101510>
- Bardin, L (2011). *Análise de Conteúdo*. São Paulo, SP: Edições 70.
- Brockington, Guilherme (2021). Neurociência e Ensino de Física: limites e possibilidades em um campo inexplorado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43(supl. 1). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0430>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2011). Race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy. Lexington, United States of America: Digital Frontier Press. Recuperado de <http://b1ca250e5ed661ccf2f1-da4c182123f5956a3d22aa43eb816232.r10.cf1.rackcdn.com/contentItem-5422867-40675649-ew37tmdujwhnj-or.pdf>
- Campello de Souza, Bruno (2006). A teoria da mediação cognitiva. In L. Meira & A. Spinillo (Orgs.). *Psicologia Cognitiva: cultura, desenvolvimento e aprendizagem*. Recife, PE: UFPE.
- Campello de Souza, Bruno (2004). *A Teoria da Mediação Cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. Recuperado de <http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20040617095205.pdf>
- Campello de Souza, B., Silva, A. S., Silva, A. M., Roazzi, A., & Carrilho, S. L. S. (2012). Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. *Computers in Human Behavior*, 7, 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.07.002>
- Campos, Luis Antonio (2016). *História da Psicologia*. Rio de Janeiro, RJ: SESES.
- Cardoso, Tarcísio de Sá (2015). *A epistemologia da mediação em Latour*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Inteligência e Design Digital. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, SP. Recuperado de <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/18191>
- Cardoso, Tarcísio de Sá (2018). *Ontologia dos híbridos na contrarrevolução copernicana de Bruno Latour*. In: Lucia Santaella (Org.). *Desafios humanos no contemporâneo*. Barueri, SP: Estação das Letras e Cores.
- Cardoso, Tarcísio de Sá, & Santaella, Lucia (2021). *A relevância da mediação no pensamento de Bruno Latour*. In Geane Alazamora, Joana Ziller, & Francisco Ângelo Coutinho (Orgs.). *Dossiê Bruno Latour*. Belo Horizonte, MG: UFMG.
- Eysenck, Michael W., & Keane, Mark T (1994). *Psicologia cognitiva: um manual introdutório*. Porto Alegre, RS: Artes Médicas.

- Fröhlich, Aléxia Birck, & Meggiolaro, Graciela Paz (2021). Utilização do simulador PHET COLORADO para as aulas de química: produtos, reagentes e excessos. *Revista Triângulo*, 14(3), 113-122. <https://doi.org/10.18554/rt.v14i3.5546>
- Gama Junior, Rosivaldo Carvalho, & Neide, Italo Gabriel, & Moreira, Marco Antonio (2021). Atividades experimentais e computacionais no ensino de física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 4(1), 348-369. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i1.11576>
- Johnson-Laird, Philip N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, United States of America: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, Philip N. (2010). Mental models and human reasoning. *PNAS*, 107(43), 18243-18250. <https://doi.org/10.1073/pnas.10129331>
- Latour, Bruno (2017). *A esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos*. São Paulo, SP: Unesp.
- Latour, Bruno (2011). *Ciência em Ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo, SP: Unesp.
- Latour, Bruno (1995). Do objects have history? A meeting between Pasteur and Whitehead in a lactic acid bath. *História, Ciências, Saúde Manguinhos*, 2(1), 7-26. <https://doi.org/10.1590/S0104-59701995000200002>
- Latour, Bruno (2016). *Cogitamus: seis cartas sobre as humanidades científicas*. São Paulo, SP: Editora 34.
- Latour, Bruno (2019a). *Jamais Fomos Modernos*. São Paulo, SP: Editora 34.
- Latour, Bruno (2019b). *Investigação sobre os modos de existência: uma antropologia dos Modernos*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Latour, Bruno (2005). *Reassembling the Social: an Introduction to Actor-Network Theory*. New York, United States of America: Oxford University Press Inc.
- Latour, Bruno, & Woolgar, Steve (1997). *A vida de laboratório: A produção dos fatos científicos*. (Tradução: Angela Ramalho Vianna). Rio de Janeiro, RJ: Relume Dumará.
- Law, John (2021). *Teoria ator-rede e semiótica material*. In: Geane Alazamora, Joana Ziller, & Francisco Ângelo Coutinho (Orgs.). Dossiê Bruno Latour. Belo Horizonte, MG: UFMG.
- Lemos, André (2013). *A comunicação das coisas: teoria ator-rede e cibercultura*. São Paulo, SP: Annablume.
- Meggiolaro, Graciela Paz, & Andrade Neto, Agostinho Serrano de, & Santos, Antônio Vanderlei dos (2021). Uma investigação entre o conceito de campo elétrico e as formas de mediações no ensino de física. *ENCITEC Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*, 11(1), 189-201. <https://doi.org/10.31512/encitec.v11i1.389>
- Monaghan, J. M., & Clement, J. J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21(9), 921-944. <https://doi.org/10.1080/095006999290237>
- Moreira, Marco Antonio (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232. Recuperado de <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/634>
- Nunes, Emanuely Torres, Silva, Ivanderson Pereira da, & Mercado, Luis Paulo Leopoldo (2016). Levantamento dos Temas TIC e EAD nos Periódicos Qualis. *Informática na Educação: teoria e prática*, 19(3), 15-34. <https://doi.org/10.22456/1982-1654.62116>
- Picanço, Lucas Teixeira, Andrade Neto, Agostinho Serrano de, & Geller, Marlise (2022). A mediação cognitiva por meio de recursos digitais de Tecnologia Assistiva para estudantes surdos: realidade, expectativas e possibilidades. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 30, 50-72. <https://doi.org/10.5753/rbie.2022.2395>
- Ramos, Adriana de Farias, & Andrade Neto, Agostinho Serrano (2014). Estudo da aprendizagem mediada por computador: as contribuições da modelagem molecular para o ensino de química. *RENOTE Revista Novas Tecnologias na Educação*, 12(2), 1-10. <https://doi.org/10.22456/1679-1916.54003>

- Santaella, Lucia (2021). *Humanos hiper-híbridos: linguagens e cultura na segunda era da internet*. São Paulo, SP: Paulus.
- Silva, Luiz Eduardo L da, Mendonça, Raimundo W. F., Leite, Joiane R., Meotti, Euricleia G. Coelho, & Souza, Mayana G. P. de (2019). Chemsketch: uma breve análise do seu impacto no desenvolvimento das habilidades visuoespaciais de alunos do Instituto Federal do Amazonas – IFAM. *Scientia Naturalis*, 1(4), 39-55. Recuperado de <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2610>
- Stephens, A. Lynn, & Clement, John J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 6, 1-15. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020122>
- Trevisan, Robson, & Andrade Neto, Agostinho Serrano (2019). Bancadas virtuais e *storyboards* com ilustrações microscópicas representativas como recursos no estudo da Mecânica Quântica. *RBECM*, 2(2), 356-387. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v2i2.10055>
- Trevisan, Robson, & Andrade Neto, Agostinho Serrano (2016). Um estudo da relação entre as imagens mentais utilizadas por estudantes de Mecânica Quântica e seu perfil epistemológico: uma investigação pela metodologia Report Aloud. *Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 11(2), 212-227. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.qdla.2016.v11n2.a4>
- Venturini, T. (2010). Diving in magma: How to explore controversies with actor-network theory. *Public Understanding of Science*, 19(3), 258-273. <https://doi.org/10.1177/0963662509102694>
- Venturini, T. (2012). Building on faults: How to represent controversies with digital methods. *Public Understanding of Science*, 21(7), 796-812. <https://doi.org/10.1177/0963662510387558>
- Wolff, Jeferson Fernando de Souza (2015). *Qual a mudança na estrutura cognitiva de estudantes após o uso de simulações computacionais? Uma investigação da relação entre representações computacionais internalizadas e aprendizagem significativa de conceitos no campo das colisões mecânicas em Física*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS. Recuperado de <http://www.ppgecim.ulbra.br/teses/index.php/ppgecim/article/view/234>
- Zanatta, Ronnie Petter Pereira, & Saavedra Filho, Nestor Cortez (2020). O Ensino de Ciências e a leitura da modernidade e da pós-modernidade por Bruno Latour: reflexões acerca do surgimento de pós-verdades e concepções alternativas no Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental II. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1469-1495. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1469>
- Zanatta, Ronnie Petter Pereira, & Saavedra Filho, Nestor Cortez (2023). A área de Ciências da Natureza na Base Nacional Comum Curricular para o ensino fundamental: uma análise textual discursiva à luz do princípio de simetria generalizado de Bruno Latour. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 40(2), 445-471. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2023.e86452>

Recebido em: 30.10.2023

Aceito em: 26.08.2024