

**DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA NO ENSINO BÁSICO COM
ÊNFASE NA NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA:
UMA ANÁLISE POR MEIO DA PESQUISA BASEADA EM DESIGN**

*SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DIFFUSION IN THE BASIC EDUCATION WITH
EMPHASIS ON NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY:
A DESIGN-BASED RESEARCH ANALYSIS*

*DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA EN LA EDUCACIÓN BÁSICA CON
ÉNFASIS EN NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA:
UN ANÁLISIS A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN EMBASADA EN DESIGN*

MATEUS DE ALMEIDA GRANADA¹
SOLANGE BINOTTO FAGAN²

RESUMO

Neste artigo abordaremos a descrição e análise das etapas da Pesquisa Baseada em Design (PBD) utilizada em uma proposta de divulgação científica e tecnológica por meio da Nanociências e Nanotecnologia no Ensino Básico. Para tal intento, construímos como artefato, uma sequência didática de ensino interdisciplinar (SDI) e que fez uso do grafeno e outras formas alotrópicas do carbono para abordagem de tópicos de física e química no Ensino Médio (EM). As intervenções em sala de aula ocorreram em maio de 2021 e após redesign, em junho de 2022, ambas envolvendo grupos de quinze alunos pertencentes ao Colégio Militar de Santa Maria (CMSM). Avaliações diversificadas após segunda intervenção, indicaram, por meio de questionários e textos dissertativos-argumentativos, que 73% dos discentes participantes da pesquisa, obtiveram desempenho muito satisfatório. Já, por meio de mapas conceituais, somente 26% dos alunos tiveram sua construção com desempenho insatisfatório. Esses resultados, demonstraram evidências de aprendizagem significativa, validando o artefato e sugerindo eficácia ao processo.

Palavras-Chave: Aprendizagem significativa; Artefato; BNCC; interdisciplinaridade.

ABSTRACT

In this paper, the description and the analysis of stages concerning the Design-Based Research (DBR) employed on a proposal for scientific and technological diffusion concerning the fields of Nanoscience and Nanotechnology in the Basic Education are discussed. To that aim, as an artifact, an Interdisciplinary Didactic Sequence (IDS), which drew upon graphene and other allotropic forms of carbon to approach physics and chemistry topics in the high school, was brought out. Interventions in the classroom took place in May, in 2021, and right after the redesign, in June, in 2022 - both organized in groups of fifteen students from the Military School of Santa Maria (Colégio Militar de Santa Maria - CMSM). Diverse assessments after the second intervention indicated, through questionnaires and argumentative-discursive texts, that 73% of the students participating in the research obtained very satisfactory performance. However, through conceptual maps, only 26% of the students had an unsatisfactory performance in their construction. These results demonstrated evidence of significant learning, validating the artifact and suggesting effectiveness of the process.

Keywords: Meaningful learning; Artifact; National Common Basic Curriculum (Base Nacional Comum Curricular - BNCC); Interdisciplinary.

¹ Doutor em Ensino de Ciências pela Universidade Franciscana (UFN) e Professor de Física no Colégio Militar de Santa Maria (CMSM). E-mail: magranada@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5432-9838>

² Professora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIMAT) - Universidade Franciscana (UFN). E-mail: solange.fagan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7878-1212>

RESUMEN

En este artículo trataremos sobre la descripción y análisis de las etapas de la Pesquisa Embasada em Design, utilizada en una propuesta de divulgación científica y tecnológica, por medio de la Nanociencia y Nanotecnología en la enseñanza básica. Para este intento, construimos como artefacto una secuencia didáctica de enseñanza interdisciplinar (SDI), la cual se hizo uso de grafeno y otras formas alotrópicas de carbono, a fin de abordar tópicos de física y química en la Enseñanza Media. Las intervenciones en clase ocurrieron en Mayo de 2021, y tras redesign, en Junio de 2022. Ambas involucraron grupos de quince alumnos, pertenecientes al Colegio Militar de Santa Maria (CMSM). Diversas evaluaciones posteriores a la segunda intervención indicaron, a través de cuestionarios y textos de disertación-argumentativo, que el 73% de los estudiantes que participaron en la investigación lograron un desempeño muy satisfactorio. Sin embargo, al utilizar mapas conceptuales, sólo el 26% de los estudiantes tuvieron un desempeño insatisfactorio en su construcción. Estos resultados demostraron evidencia de aprendizaje significativo, validando el artefacto y sugiriendo efectividad del proceso.

Palabras-clave: Aprendizaje significativo; Artefacto; Base Nacional Curricular Común (BNCC); Interdisciplinaridad.

INTRODUÇÃO

O artigo propõe a análise da criação, aplicação e refinamento por meio da Pesquisa Baseada em Design (PBD), de uma proposta de divulgação científica e tecnológica, que inicia com a construção de uma sequência didática de ensino interdisciplinar (SDI). De acordo com Moraes (2019), uma SDI é um conjunto de atividades sequenciais organizadas em torno de duas ou mais áreas do conhecimento que possibilitem a integração de distintos objetos de aprendizagem.

A SDI construída, aborda conteúdos de física e química, sendo aplicada a estudantes do terceiro ano do Ensino Médio (EM) do Colégio Militar de Santa Maria (CMSM) e que fez uso em sua estruturação da Nanociências e Nanotecnologia. Por meio de uma revisão da literatura no contexto educacional, focada em relação aos trabalhos publicados com tema nanociência, PBD e aprendizagem com significado de Ausubel, no Banco de Teses e Dissertações (BTD) da CAPES, observamos que o trabalho é inédito na literatura, possuindo amparo legal da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

A BNCC (Brasil, 2018), como documento que regulamenta os conteúdos a serem desenvolvidos em sala de aula, afirma, que os processos e práticas de investigação merecem destaque especial na área das exatas. Schnetzler e Santos (2003) afirmam que alfabetizar os cidadãos em ciência e tecnologia é hoje uma necessidade do mundo contemporâneo. Dessa forma, a difusão em sala de aula, de qualquer conceito acerca de nanociência e nanotecnologia, realizado em diferentes perspectivas e áreas do conhecimento, além de promover aos alunos o processo de divulgação científica e tecnológica, passa a ter amparo legal pelo documento que normatiza a educação em nosso país.

Para a construção, aplicação e análise da SDI, optamos pela utilização da PBD pois a mesma vai ao encontro das sugestões supracitadas pela BNCC uma vez que permite a utilização de uma metodologia investigativa e intervencionista para identificar problemas e formular, por meio de artefatos, propostas para a sua resolução. A proposta apresentada contribui para fomentação da curiosidade dos estudantes e conhecimento de trabalhos científicos realizados por grupos de pesquisa e suas aplicações no contexto tecnológico e social.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

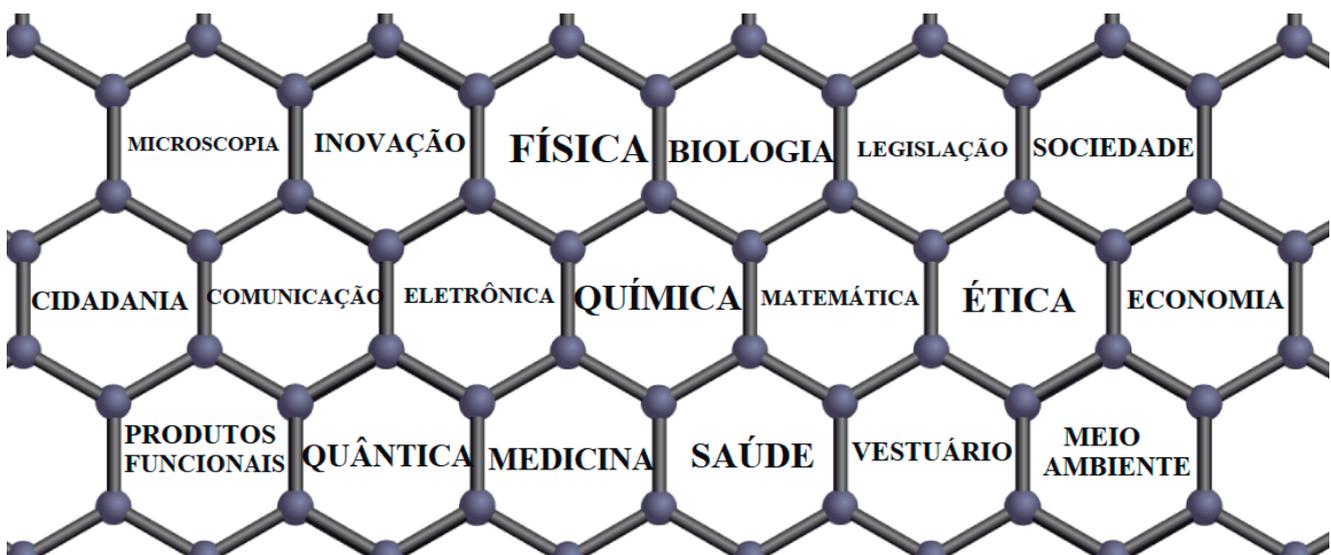
Para melhor compreensão da proposta de criação da SDI para divulgação científica e tecnológica por meio da PBD, abordaremos pontos fundamentais, tais como: a essência da nanociência juntamente com a associação da nanotecnologia na pesquisa científica e tecnológica, a PBD que dará suporte para todo o ciclo de criação, aplicação e refinamento do processo interdisciplinar. Por sua vez, a aprendizagem com significado de Ausubel será utilizada na construção dos organizadores prévios e análise dos resultados obtidos pelos discentes participantes da pesquisa.

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA

Em sua essência a nanociência era associada à um campo científico ligado à física do estado sólido. Porém hoje, define-se nanociência como a ciência que envolve o conhecimento das propriedades da matéria em escala de ordem igual ou inferior a 10^{-9}m (Toma, 2004). Essa nova ciência oportunizou um grande avanço tecnológico, surgindo então o termo nanotecnologia, que por sua vez foi popularizado pelo engenheiro Eric Drexler, em 1986 por meio do livro *Engines of Creation* (Motores da Criação) e refere-se à manipulação da matéria nessa escala extremamente pequena (Toma, 2004).

Rebello e colaboradores (2012) destacam a importância de trabalhar a nanociência e nanotecnologia com a discussão de temas atuais. Nesse contexto, trabalhos realizados por professores pesquisadores, juntos a estudantes do ensino básico, assumem fundamental relevância, e devido ao carácter interdisciplinar e multidisciplinar da nanociência, que assim como numa folha de grafeno em que os átomos estão ligados entre si, permite a ligação entre diversas áreas do conhecimento, como representa a figura 1.

Figura 1 - A multidisciplinaridade e interdisciplinaridade da nanociência.



Fonte: construção do autor.

A figura 1 exemplifica as possibilidades de interação entre áreas, tais como, química e física, com inovações tecnológicas, culminando em discussões sociais que envolvem ética e cidadania. Esses são, somente alguns dos pontos que, o estudo da estrutura da matéria em nanoescala pode interligar, daí o carácter interdisciplinar da nanociência.

Estando a nanotecnologia associada a pesquisa científica que visa entender o comportamento da matéria na escala nanométrica, ela vai ao encontro aos objetivos estipulados nessa pesquisa, pois atende as sugestões da BNCC (Brasil, 2018) e PCN (Brasil, 1997) em que o conteúdo desenvolvido em sala de aula deve promover a divulgação científica juntamente com o senso crítico do discente. Segundo Leonel (2010) mesmo com toda a sua relevância e o potencial para contribuir com a formação científica e tecnológica, o tema só começou a ganhar destaque na área da educação brasileira em 2006, quando o tópico nanotecnologia (como um dos ramos da física moderna e contemporânea) é apontado nas Orientações Curriculares para o EM, na área de Ciências Naturais e Matemática, (Brasil, 2006) como sugestão de tema relevante para ser abordado em sala de aula.

A PESQUISA BASEADA EM DESIGN

A PBD envolve uma metodologia intervencionista que busca aliar aspectos teóricos da pesquisa em educação com a prática educacional. Tal metodologia foi apresentada por Brown (1992) e Collins (1992), em que na própria década de 90, passou a ser explorada na área da pesquisa em ensino de ciências. A PBD pode ser entendida como:

[...] uma pesquisa desenvolvimentista envolvendo o entrelaçamento do design, desenvolvimento e aplicação de sequências de ensino sobre tópicos específicos, usualmente não durando mais do que algumas semanas, em um processo cíclico evolucionário de clareamento pela riqueza dos dados de pesquisa.” (Meheut; Psillos, 2004, p. 512).

Shons (2022) diz que os artefatos possuem como finalidade produzir conhecimento sobre o processo de ensino e aprendizagem por meio de intervenções pedagógicas em contextos reais de sala de aula, sendo utilizados para resolver problemas educacionais usando de processos sistêmicos de análise e design. De acordo com Kneubil e Pietrocola (2017) o carácter intervencionista da PBD promove uma ligação entre as dimensões teórica e prática, buscando fazer contribuições em ambas as dimensões.

Reeves (2008) elabora um processo cíclico, em que, cria etapas para estruturar a PBD. Essas etapas se influenciam mutuamente e estão indicados no quadro 1, sendo constituídas desde a análise de um problema prático, passando pelo desenvolvimento de soluções, testes até chegar finalmente nas reflexões para gerar novas implementações, formado ciclos que se repetem indefinidamente.

Quadro 1 - PBD compreendida por quatro Etapas.

ETAPA		DESCRIÇÃO
01	Análise de um problema prático pelos pesquisadores e participantes em colaboração	Levantar o problema junto aos colaboradores, revisão contínua da literatura para apoiar o rascunho da intervenção.
02	Desenvolvimento de soluções informadas pelos princípios de design existentes e inovações tecnológicas	Definição do rascunho e princípios da intervenção proposta, baseando-se no arcabouço teórico.
03	Ciclos iterativos de teste e refinamento das soluções na prática	Implementação da intervenção em iterações em dois ou mais ciclos, definição dos participantes, coleta e análise dos dados.
04	Reflexões para produzir “princípios de design” e melhoria da solução implementada.	Apresentar os conhecimentos e produtos, princípios e artefatos do design.

Fonte: adaptado de REEVES (2008)

O quadro 1 resume as quatro etapas as quais deve ser composta a PBD. Iniciando pela escolha e análise de um problema observado pelos docentes e conseqüentemente um estudo continuado da literatura sobre o tema. A partir de então metas devem ser estabelecidas (princípios de design) para desenvolver a solução do problema proposto. Por fim, ciclos de intervenções são estabelecidos para analisar os dados coletados e a partir de então reflexões do grupo docente participante da pesquisa, reformulam todo o processo.

A APRENDIZAGEM COM SIGNIFICADO DE AUSUBEL

David Paul Ausubel foi um psicólogo cognitivista que na década de sessenta, propôs o conceito de organizadores prévios como uma estratégia instrucional de manipulação da estrutura cognitiva e que mais tarde deu origem a sua teoria da aprendizagem significativa. Os organizadores prévios propostos por David Paul Ausubel servem de elo entre o que o aprendiz sabe e o que ele precisa saber para assimilar o novo conhecimento. Esses organizadores são recursos ou materiais instrucionais.

De acordo com Ausubel (2003), o conhecimento é significativo por definição sendo o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos.

Então para que a aprendizagem, passe a ser um conhecimento significativo, não deve partir de um “marco zero”, mas sim ser ancora em conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Com a ideia de ancoramento do conhecimento é criado o termo subsunçores.

A INTERDISCIPLINARIDADE

De acordo com a BNCC (Brasil, 2018) a interdisciplinaridade, é um fator de extrema importância para superar a fragmentação dos conteúdos e dos currículos não só na escola, mas no entendimento do conhecimento como um todo. Pombo (2008) define o termo interdisciplinaridade como complementariedade de disciplinas, sob ponto de vista de convergência.

Acreditamos que interdisciplinar tem como foco a ampliação da prática pedagógica. Tal ampliação, possibilita o desenvolvimento do pensamento crítico, da criatividade e da cooperação entre os alunos que acabam tendo uma formação mais ampla e diversificada.

METODOLOGIA

Nessa seção, mostraremos como a pesquisa se efetivou. Inicialmente apresentaremos as delimitações e, posteriormente, as fases metodológicas. Serão também detalhadas a construção de dos ciclos completos do processo da PBD, desde a análise de um problema proposto até o completo redesenho do processo.

DELIMITAÇÕES

Fizemos uso da PBD como metodologia de pesquisa para análise de todo o processo de elaboração e intervenção de uma SDI (artefato) utilizada para solução de um problema educacional. Sendo a PBD colaborativa entre professores especialistas em química e física, a sequência didática elaborada tem natureza interdisciplinar entre essas duas áreas do conhecimento. Para a definição dessas disciplinas e os conteúdos trabalhados, respeitamos as sugestões da BNCC (Brasil, 2018).

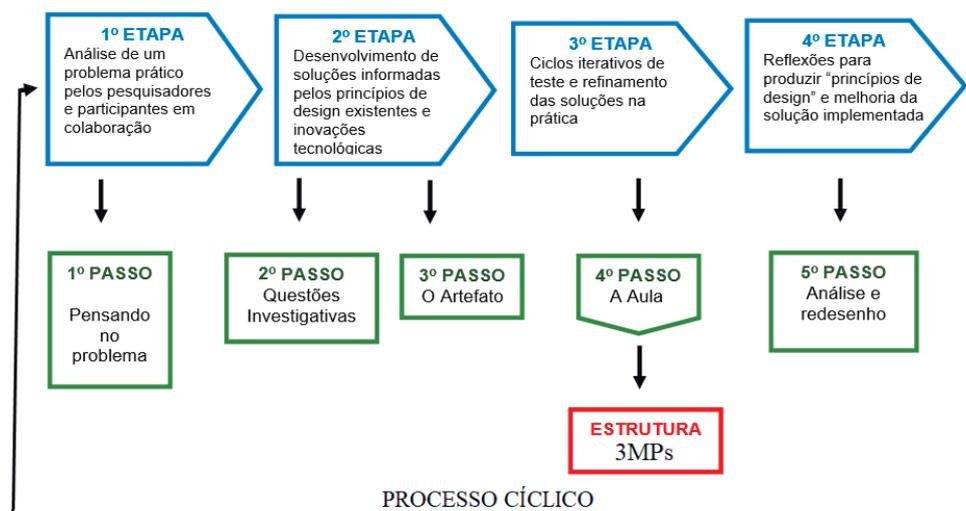
Dessa forma, o trabalho foi colaborativo, com encontros semanais entre os professores especialistas nas diferentes áreas do conhecimento, como sugerem Kneubil e Pietrocola (2017). O autor, professor de física além de pesquisador era docente do grupo de alunos participantes da pesquisa.

Ocorreram duas intervenções em sala de aula, no turno inverso, para coleta de dados e posterior análise e redesign. Tais intervenções, foram realizadas em maio de 2021 e junho de 2022, com grupos de quinze alunos voluntários, que cursavam regularmente a terceira série do EM no CMSM, local onde os professores colaboradores trabalham em regime de dedicação exclusiva. O número restrito de estudantes deve-se a necessidade de seguir os protocolos de cuidados referentes ao Covid-19.

FASES DA METODOLOGIA

Para a utilização da PBD a metodologia fez uso das quatro fases desenvolvidas por Amiel e Reeves (2008) adaptadas em nossa pesquisa por passos em seu desenvolvimento, como indica a figura 2.

Figura 2 - Estruturação das etapas e passos da PBD.



Fonte: construção do autor.

A figura 02, indica as quatro fases seguidas por passos que são compostas pela análise do problema educativo, desenvolvimento do artefato pedagógico, intervenção em contextos reais de aprendizagem e análise retrospectiva para elaborar um redesign do artefato e/ou da aplicação. De acordo com Matta e Boaventura (2014) uma única implementação das etapas raramente será capaz de evidenciar o sucesso ou não de uma intervenção. Por isso, fizemos uso de dois ciclos de etapas completos, em que, serão descritos dentro do nosso contexto de pesquisa, cada um dos passos que constituem as etapas indicados pela figura 02.

PRIMEIRO CICLO

1º Passo: Pensado no problema

Para Manson (2006), o processo da PBD inicia quando os pesquisadores buscam solucionar um problema. Kneubil e Pietrocola (2017), afirmam que essa primeira etapa é efetuada com a seleção do tema que pode ser motivada por diferentes perspectivas. Pensamos em socializar o conhecimento científico e tecnológico produzidos pela comunidade acadêmica na sala de aula. A socialização do conhecimento científico, de acordo com o portal do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 2020) é uma ação que divulga os resultados científicos e tecnológicos das pesquisas para além da academia e deve alcançar a sociedade por meio da popularização de informações.

Escolhemos a nanociência e nanotecnologia como tema norteador, pelo seu carácter interdisciplinar e multidisciplinar, para que todos os professores colaboradores pudessem contribuir com sua área de conhecimento e formação. A partir de então os colaboradores se propuseram a pensar de que forma essa ciência poderia ajudar no entendimento de conteúdos específicos, sugeridos pela BNCC (2018), a serem desenvolvidos na sala de aula, que embasado na experiência docente do grupo, os alunos tivessem dificuldades para o seu entendimento. Dessa forma foi decidido o problema educativo a ser estudado: divulgação científica e tecnológica por meio da nanociência.

A condição inicial da PBD, é a busca em solucionar um problema, fase denominada de consciência do problema. Peffers (2008) explica que a consciência do problema é a identificação de problemas e a motivação, é o momento em que se define o problema e justifica-se o valor da solução. Pensar no problema torna-se então, passo integrante da primeira etapa, de análise do problema prático, em que os professores envolvidos no projeto se reuniram para pensar acerca das seguintes questões:

- i. Quais as dificuldades em ensinar para alunos de EM?
- ii. Que tema poderia ser balizador no decorrer desse processo?
- iii. Quais as questões queremos solucionar pela intervenção por meio de artefatos?
- iv. Que artefatos poderiam ser criados para ajudar nesse entendimento?
- v. Como avaliar o aprendizado dos discentes e validar o uso do artefato?

Uma vez delimitado a natureza do problema, começamos a pensar sobre as questões a serem investigadas e dessa forma criar os “primeiros princípios de design” para o desenvolvimento de soluções.

2º Passo: Questões a serem investigadas

Com a definição do problema educativo, o grupo colaborativo de pesquisadores discutiram, sob a óptica de suas experiências docentes, quais assuntos específicos de física e química os alunos apresentam dificuldades de entendimento. Entre eles foram citados:

- i. Ligações químicas e propriedades da matéria;
- iii. Corrente elétrica, resistência elétrica e utilização do multímetro.

Com objetivo de solucionar o problema educativo proposto, os professores chegaram a o consenso de que algumas proposições seriam indispensáveis para execução dessa solução. Essas proposições são denominadas “princípios de design”, sendo os norteadores da elaboração da intervenção que será produzida no terceiro passo e estão indicadas no quadro 2.

Quadro 2 - Princípios de design.

PRIMEIROS PRINCÍPIO DE DESIGN	DESCRIÇÃO
1	Abordar a solução para o problema educacional por meio de uma SDI.
2	Utilizar os três momentos pedagógicos (3MP) de Delisoicov e Angotti (1990) na estruturação das SDI.
3	Construir as SDI embasada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para auxiliar na evolução cognitiva discente.
4	Fazer uso da interdisciplinaridade da nanociência no decorrer do processo.
5	Fazer uso das competências e habilidades sugeridas pela BNCC (2018).
6	Realizar a abordagem dos conteúdos de física e química, em que no final do processo o aluno seja capaz de: <ul style="list-style-type: none"> i. Compreender o que são ligações químicas; ii. Reconhecer as diferentes formas alotrópicas do carbono; iii. Definir condutividade térmica e elétrica; iv. Reconhecer algumas propriedades do grafeno; v. Manusear corretamente um multímetro; vi. Relacionar os conteúdos supracitados com a da nanociência e nanotecnologia.

Fonte: construção do autor.

Com o problema educativo proposto e os princípios de design definidos, passamos a estruturar nossas intervenções por meio do artefato.

3º Passo: O artefato

O artefato é o método em que o professor fará uso de intervenções para a solução do problema e possuem muitas vezes caráter extensionista, sendo concebidos para atender a uma necessidade, ou para alcançar algum objetivo. Takeda e colaboradores (1990) mencionam que os artefatos são a interface entre o ambiente externo. Para a solução do problema educacional proposto, o artefato desenvolvido se constitui em uma SDI, a qual denominamos “Grafeno: Material do futuro!”. O quadro 3 mostra a estrutura organizacional dessa SDI.

Quadro 3 - Estrutura da SDI.

MOMENTO PEDAGÓGICO	TEMPO 2 horas	RECURSO	OBJETIVO
1º MP Problematização Inicial	20 Min	Pergunta inicial Você possui algum tipo de conhecimento sobre as formas alotrópicas do carbono e como elas podem ser utilizadas de modo industrial e tecnológico?	Verificar e reconhecer o conhecimento prévio dos alunos a serem pesquisados por meio de uma pergunta inicial geradora de um debate sobre o tema. (subsunçores)
		Questionar a respeito de ligações químicas, corrente e resistência elétrica, carbono estrutura e alotropias e por fim qual a ligação desses tópicos com nanociência e nanotecnologia.	i. Verificar e reconhecer o conhecimento prévio dos alunos para que possam ser utilizados como âncoras (subsunçores) ii. Instigar a curiosidade dos alunos a respeito do tema.
2º MP Organização do conhecimento	80 min	Atividade experimental (organizadores prévios) A aula e os problemas investigativos	Construir juntamente com os alunos, por meio do manuseio de um tecido de grafeno, as definições propostas nos objetivos.
3º MP Aplicação do conhecimento	20 min	Questionar os alunos sobre como os conceitos construídos na aula explicam a miniaturização de alguns componentes eletrônicos e qual a ciência que estuda esse processo.	Analisar se ocorreu de fato a aprendizagem significativa proposta para aula.
		Elaboração de um texto dissertativo-argumentativo sobre o tema.	Comparar se houve evolução do conhecimento e indícios de aprendizagem significativa.

Fonte: construção do autor.

Como organizadores prévios utilizado pelo artefato temos um kit composto por formas alotrópicas do carbono, um tecido que utiliza grafeno em sua constituição e um multímetro, indicados pela figura 3. A escolha desse recurso instrucional deve-se ao fato de que sua manipulação possa ser potencialmente facilitadora em conjunto com o manuseio do aparelho de medida, servindo de pontes cognitivas para os alunos.

Figura 3 - Organizadores prévios: kit demonstrativo.

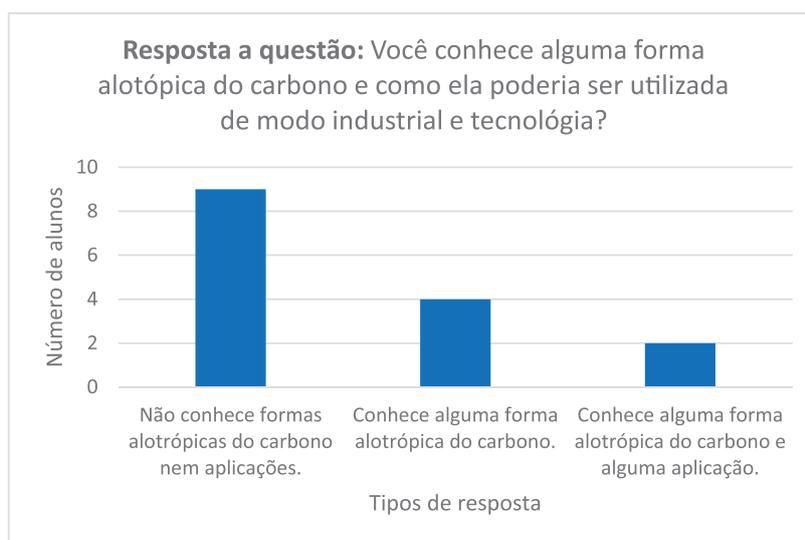


Fonte: construção do autor.

4º Passo: A aula / intervenção

A implementação da SDI ocorreu no dia 20 de maio de 2021. Inicialmente foi pedido para que os alunos respondessem se possuíam algum tipo de conhecimento sobre as formas alotrópicas do carbono e como elas podem ser utilizadas de modo industrial e tecnológica. O gráfico 1, indica os resultados desse questionamento.

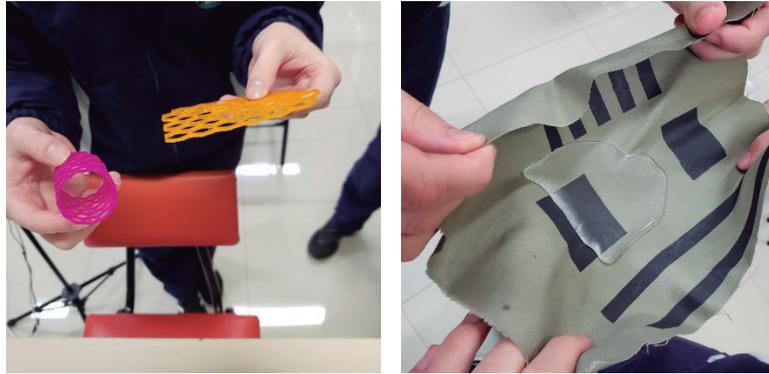
Gráfico 1 - Resposta a questão inicial da SDI.



Fonte: construção do autor.

Observou-se que nove entre os quinze alunos participantes, ou seja 60%, responderam que possuíam nenhum tipo de conhecimento sobre esse tema. Quatro alunos, aproximadamente 27%, responderam que conheciam algumas formas alotrópicas do carbono, citando como exemplo o grafite e diamante, mas afirmaram não saber como essas formas poderiam ser utilizadas na indústria e tecnologia. Os outros 13%, dois alunos, descreveram respostas mais completas, porém ainda com poucas informações acerca do tema.

Após o questionamento inicial, e já com o auxílio de recursos, o professor faz alguns questionamentos iniciais, afim de fomentar a curiosidade a respeito do tema proposto. Dessa forma o primeiro momento pedagógico de Delizoicov e Angotti e construído com discussões, entre outras acerca da composição de tecidos hidrofóbicos, construção de microchips e utilização da nanotecnologia na medicina e energias renováveis. Em um segundo momento, os estudantes passaram a manipular o kit demonstrativo a fim da construção do conhecimento, sendo introduzidos e discutidos os conceitos de física e química, sugeridos pelo quadro 2. A figura 4 ilustra esse momento.

Figura 4 - Manipulação do Kit.

Fonte: construção do autor.

A manipulação do kit possibilitou, a introdução, discussão e principalmente a visualização na prática, de conceitos abordados, tais como, as formas alotrópicas do carbono, flexibilidade e impermeabilidade. Com o uso do multímetro, os discentes realizaram medidas de corrente elétrica e resistência elétrica. E foi nesse momento caracterizado por leveza e descontração, que é finalizada a construção do conhecimento e inicializado o terceiro e último momento pedagógico.

Na aplicação do conhecimento o tema nanociência e nanotecnologia passa a ser firmado e amplamente debatido. Os alunos demonstraram grande interesse por dessa nova ciência e passaram a perceber como ela pode interferir no nosso cotidiano por meio da nanotecnologia. Como última atividade da SDI, os alunos foram orientados a escreverem um texto dissertativo-argumentativo acerca da nanociência e nanotecnologia, utilizando os conceitos estudados em aula e sua ligação com as diferentes áreas do conhecimento, bem como exemplos e impactos causados nos dias de hoje pela nanotecnologia. Segue a descrição de trechos de alguns textos elaborados pelos alunos:

“O Carbono pode ser considerado um elemento extremamente versátil. Esta característica pode ser justificada pela sua capacidade de realizar inúmeros tipos diferentes de ligação diferentes e gerar diversos tipos de estruturas moleculares geométricas...”

“O estudo do grafeno possibilitou uma revolução tecnológica...”

“A nanoescala possibilita o estudo de propriedades da matéria, em que passamos a perceber diferentes cores, sabores, odores e propriedades físicas...”

Esses mesmos discentes responderam a questão inicial da aula, indicando não conhecer as formas alotrópicas do carbono nem suas aplicações, porém, nesse segundo momento de escrita, desprezando a rigidez do formalismo que a língua portuguesa exige, podemos observar uma evolução no conhecimento entre as respostas propostas. Se antes da execução da SDI é percebido que, de forma geral, os alunos não possuíam nenhum tipo de conhecimento sobre o tema proposto, fica clara, que após a aula, mesmo que com alguns erros conceituais e/ou semânticos, o grupo participante da pesquisa, em geral, demonstrou entendimento do que é o carbono e suas formas alotrópicas. Indicou também compreender seu estudo, em parte por meio da nanociência e algumas de suas aplicações por intermédio da nanotecnologia. Tais evidências, inicialmente nos levam a acreditar que houve um ganho cognitivo a cerca do tema proposto.

5º Passo: Análise e redesenho

Após conclusão do primeiro ciclo de intervenções ocorreu o redesign realizadas pelo grupo de professores colaboradores, em que, todo o processo é avaliado, por meio de reflexões da eficácia e eficiência de cada princípio de design proposto pelo quadro 2. Passamos a descrever a análise de cada princípio de Design.

1. Abordar a solução para o problema educacional por meio de uma SDI: A SDI cumpriu sua função de organizar, metodologicamente, de forma sequencial, a execução das atividades as quais foram propostos. Elas ajudam na interação do professor e aluno e no cumprimento do formato interdisciplinar em que os tópicos abordados foram desenvolvidos. Esse primeiro princípio de design se manteve para o próximo ciclo sem nenhum tipo de alteração em sua proposição.

2. Utilização dos 3MPs na estruturação das SDI: A dinâmica didático-pedagógica fundamentada pela perspectiva dos 3MPs auxiliou para o diálogo, estruturação organizacional das SDI e cumpriu seu papel de balizador e organizador das propostas educacionais a serem desenvolvidas pela intervenção do professor. Porém alguns aspectos de cada momento proposto devem ser ajustados. Entre eles:

i. A problematização inicial conteve uma investigação acerca dos conhecimentos prévios, por meio de uma questão descritiva, impossibilitando a exposição do que os alunos pensam sobre as situações expostas pelo mediador. Logo, esse momento não se constitui no propósito para o qual foi gerado. Em um segundo ciclo, questões discursivas não serão desenvolvidas nesse momento pedagógico.

ii. Na aplicação do conhecimento foi possível amplo debate sobre a nanociência e nanotecnologia, fato que fizeram com que o terceiro momento pedagógico tivesse seu tempo extrapolado. Para um próximo ciclo, o tempo destinado a esse momento deverá ser ampliado.

Concluimos que as a utilização dos os 3MPs na estruturação das SDI não cumpriu exatamente a proposta dos seus elaboradores, por mais que a proposta tenha sido sua utilização íntegra, na prática, passou por “adaptações” já descrita. Porém, manteremos os 3MPs como sendo um dos princípios de design para o próximo ciclo, com alguns ajustes no que se referem principalmente a atividades de avaliação e tempo previsto.

3. Construir as SDI embasada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para auxiliar na evolução cognitiva discente: A elaboração da SDI ter sido embasada tentando respeitar os pressupostos desenvolvidos por Ausubel em sua teoria, possibilitou reconhecer, a cada momento, a dinâmica envolvida nos atos de ensinar e aprender, partindo do reconhecimento e subsunções e da evolução cognitiva do aprendiz. Outro ponto positivo foi a utilização de organizadores prévios que contribuíram significativamente como elo de ligação entre o que os alunos já sabiam e estavam dispostos a descobrir e aprender.

Por outro lado, foi inviável diagnosticar, por meio de um único instrumento de avaliação, a evolução cognitiva do discente. A teoria de aprendizagem significativa de Ausubel foi fundamental no planejamento, desenvolvimento e aplicação de nosso aparato, mas o mesmo sofrerá algumas modificações, entre elas:

i. Os conhecimentos prévios dos alunos serão sondados em dias anteriores aos últimos ajustes da elaboração das SDI e, de acordo com os conhecimentos prévios diagnosticados pelo pesquisador, serão utilizados, na problematização inicial, pseudo-organizadores prévios, como textos introdutórios, por exemplo.

ii. Para a avaliação discente, utilizaremos mais de um instrumento a fim de sondar, a ocorrência ou não de indícios de aprendizagem significativa.

A utilização da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel foi fundamental no processo das SDI. Portanto, se mantém como um princípio de design para o próximo ciclo, porém com alterações nas SDI, acima justificados.

4. Fazer uso da interdisciplinaridade da nanociência no decorrer do processo: De acordo com o trabalho de Fazenda (2008), ao buscar um saber mais integrado e livre, a interdisciplinaridade conduz a uma metamorfose que pode alterar completamente o curso dos fatos em educação. A nanociência cumpriu o papel ao qual propomos e constatamos, por meio das intervenções e avaliações dos discentes, que a sua interdisciplinaridade foi um meio eficaz e eficiente de articulação do estudo da realidade e produção de conhecimento com vista à transformação. Para Duran e colaboradores (2006, p. 208),

[...] a ciência é o conjunto de conhecimentos adquiridos ou produzidos que visam compreender e orientar a natureza e as atividades humanas, enquanto a tecnologia é o conjunto de conhecimentos, especialmente, princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade, geralmente, com fins industriais, isto é, a aplicação do conhecimento científico adquirido de forma prática, técnica e economicamente viável [...]

Os registros analisados e as intervenções ocorridas, nos deram base para acreditar que os alunos entenderam e compreenderam claramente os conceitos definidos pelos autores supracitados. Dessa forma a nanociência cumpre seu papel no auxílio da solução para o problema educacional proposto - Divulgação Científica e Tecnológica por meio da Nanociência - e se mantém, inalterada, como princípio de design para o próximo ciclo.

5. Fazer uso das competências e habilidades sugeridas pela BNCC (2018): Na tentativa de promover em nossas SDI, o ensino por competências e habilidades, que transitam por diversas áreas do conhecimento e com eixos temáticos amplos, encontramos já no planejamento algumas dificuldades, entre elas:

i. Os eixos e temáticas amplos dificultam e reduzem o desenvolvimento de conteúdos específicos, que devem ser abordados de forma sistemática e hierárquica e essa forma de abordagem deveria ser respeitada para que pudéssemos utilizar a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, em que, um dos pontos centrais é a idéia de conhecimentos prévios e utilização de subsunçores.

ii. Por maior que seja a organização, o tempo utilizado em sala de aula será sempre limitado.

A utilização das competências e habilidades alterou nosso foco. Nossa percepção é que ela reduz a possibilidade do desenvolvimento de conteúdos importantes no Ensino Médio. Todo esse processo muito que provavelmente dificultara o acesso de estudantes a um ensino superior de qualidade em contra partida, permitirá que uma grande massa esteja capacitada para o que podemos chamar de subempregos. Portanto, não conseguimos fazer uso das competências e habilidades indicadas pela BNCC no primeiro ciclo e não será um princípio de design para o segundo ciclo.

6. Realizar a abordagem interdisciplinar dos conteúdos e disciplinas indicados pelo quadro 2:

Uma análise quantitativa e as questões aplicadas aos alunos indicam que o sexto princípio de design foi cumprido. Conseguimos por meio das SDI desenvolver todos os conteúdos propostos com grau satisfatória de entendimento por parte dos discentes. Porém, algumas sugestões foram propostas pelo grupo de professores colaboradores para o melhoramento do desenvolvimento desse princípio de design, entre elas:

- i. Utilização de pseudo-organizadores prévios, no primeiro momento pedagógico da intervenção, como por exemplo, textos introdutórios, contendo temas de divulgação científica na área de nanociência e/ou nanotecnologia.
- ii. Utilização de textos de divulgação científica, de carácter mais específico, como auxiliares na organização do conhecimento proposto no segundo momento pedagógico. Podendo inclusive ser definidos como organizadores prévios.

Dessa forma, mantivemos esse princípio de design no próximo ciclo.

7. Etapas da PBD: Uma vez que a PBD envolve uma nova metodologia intervencionista que busca aliar aspectos teóricos da pesquisa em educação com a prática educacional, em nosso primeiro ciclo de trabalho a pesquisa cumpriu o que propos. A estruturação de suas etapas e passos, indicados pela figura 2, permitiram o pleno desenvolvimento de todo processo.

A PBD permitiu uma experiência diferente das já vivenciadas pelos professores colaboradores da pesquisa, pois desempenharam o papel de observador externo, intérprete do que está acontecendo nas salas de aula e também participantes ativo da intervenção. Fatos que nos permitiram ter uma visão completa de todos os pontos do processo, ampliando nossos horizontes de possibilidades.

Acreditamos na assertiva do problema educativo, pois ao mesmo tempo que nos guiou para a solução de um “ponto frágil” que nos angustiava, permitiu o pleno desenvolvimento de todos os conteúdos propostos. Por sua vez os princípios de design previamente estabelecidos tiveram papel fundamental na organização da SDI. Pois como nosso trabalho foi constituído também por intervenções, os princípios de design assumiram o papel de proposições que nos permitiram pensar em conjunto com os colegas colaboradores e da literatura existente, sobre os pontos essenciais no desenvolvimento de nossa SDI.

A PBD em sua estruturação nos trouxe uma dificuldade: a necessidade de constante trabalho colaborativo com professores de diferentes áreas do conhecimento. Isso requer disponibilidade e boa vontade, fatores externos ao doutorando e que são fundamentais no desenvolvimento desse tipo de pesquisa.

Por último, concordamos com Keneubil e Pietrocola (2017, p. 12) que afirmam:

[...] a DBR enquanto metodologia de pesquisa e intervenção educacional traz a vantagem de se aproximar dos problemas reais oriundos do campo escolar. A possibilidade de tratar problemas como a atualização curricular, o ensino-aprendizagem de conteúdos inovadores ou outras novas demandas no campo do social fazem dela uma poderosa ferramenta de pesquisa [...]

Finalizando o procedimento de redesign, em que por intermédio da análise do material coletado durante a implementação, nos permitiu re-projetar e replanejar, tanto a SDI como a própria PBD, propiciando o início de um novo ciclo da pesquisa.

SEGUNDO CICLO

No segundo ciclo, seguimos promovendo as mesmas questões investigativas, porém com ajustes em relação ao ciclo anterior para a reelaboração do artefato. Para tal intento, foram acrescentadas quatro modificações fundamentais:

1. Sugestão de um texto de divulgação científica, como leitura prévia introdutória: A fim de atuar como um material introdutório ajudando a tornar público o conhecimento produzido por diferentes segmentos da sociedade que, por meio da pesquisa, produzem ciência. Além disso os textos introdutórios deveram conter palavras-chaves, que por sua vez, o correto entendimento de seus conceitos, farão parte dos objetivos das SDI. Como materiais introdutórios utilizados para facilitar a aprendizagem de vários tópicos, acreditamos que os textos sugeridos como leituras prévias possam desempenhar o papel de bons pseudo-organiadores prévios.

2. A problematização inicial deverá ocorrer em dias anteriores ao segundo momento pedagógico: De acordo Delizoicov e colaboradores (2002), a problematização inicial deve apresentar questões reais que os alunos conhecem e presenciam. De acordo com os autores, nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. Momento para reconhecer os conhecimentos prévios dos alunos, que devem ser utilizados como subsunçores e a partir de então, reestruturar o que for necessário na SDI para a organização do conhecimento.

3. Terceiro momento pedagógico sem intervenção de avaliações: Momento que destinaremos somente para abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, ou seja, momento para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. Nesse último, observaremos numa tentativa de avaliar qualitativamente, o quanto os alunos se apropriaram do conceito desenvolvidos.

4. Modificação na forma de avaliação discente: Segundo Ausubel (2003), uma maneira de verificar indícios de aprendizagem significativa é propor tarefas de aprendizagem ao aluno, em sequência, que dependa uma da compreensão da outra, sendo essa aprendizagem espiral e não linear. Em uma tentativa de obtermos maior eficiência e fidelidade aos resultados obtidos, passamos nesse segundo ciclo a avaliar os alunos por três instrumentos distintos a serem desenvolvidos posteriormente a intervenção. Iniciaremos como um questionário, que se corretamente entendido poderá dar espaço a criação de um correto MC, culminando com a organização do conhecimento, em um texto dissertativo-argumentativo. O quadro 4 mostra a reestrutura organizacional dessa SDI após redesign.

Quadro 4 - Reestrutura da SDI.

MOMENTO PEDAGÓGICO	TEMPO 2 horas	RECURSO	OBJETIVO
1º MPs Problematização Inicial	Livre	Texto de introdutório para leitura em casa.	Atuar como material introdutório
	20 min	Pergunta inicial	Verificar e reconhecer o conhecimento prévio dos alunos a serem pesquisados por meio de uma pergunta inicial geradora de um debate sobre o tema. (subsunçores)
		Questionar a respeito de ligações químicas, corrente e resistência elétrica, carbono estrutura e alotropias e por fim qual a ligação desses tópicos com nanociência e nanotecnologia.	i. Verificar e reconhecer o conhecimento prévio dos alunos para que possam ser utilizados como âncoras (subsunçores) ii. Instigar a curiosidade dos alunos a respeito do tema.
2º MPs Organização do conhecimento	80 min	Atividade experimental (organizadores prévios)	Construir juntamente com os alunos, por meio do manuseio de um tecido de grafeno, as definições propostas nos objetivos.
		A aula e os problemas investigativos	
3º MPs Aplicação do conhecimento	20 min	Questionar os alunos sobre como os conceitos construídos na aula explicam a miniaturização de alguns componentes eletrônicos e qual a ciência que estuda esse processo Revisitar o texto introdutório	Analisar qualitativamente se ocorreu indícios a aprendizagem significativa proposta para aula.
		Elaboração de um texto dissertativo-argumentativo sobre o tema.	Comparar se houve evolução do conhecimento e indícios de aprendizagem significativa.
	Livre (em casa)	Questionários, MC e Texto dissertativo-argumentativo	Sondar a evidencias de aprendizagem significativa.

Fonte: construção do autor.

Implementação da SDI

A implementação reformulada da SDI ocorreu novamente para um grupo de quinze alunos do EM, exatamente nos mesmos moldes da implementação anterior. Tal fato, facilita a análise comparativa dos dois ciclos. A segunda implementação ocorreu em dias distintos. A problematização inicial, dia 02 de junho de 2022 e composta pela exposição de questões investigativas, após a leitura do texto de divulgação científica intitulado “Termômetro de diamante monitora temperatura em nanoescala” disponível em <https://www.inovacaotecnologica.com.br/>

O segundo dia de nossa intervenção ocorreu em 6 de junho de 2022. Nele, os alunos tiveram acesso aos organizadores prévios. Com característica semelhante a primeira intervenção, a organização do conhecimento passou a ser construída com as questões investigativas embasadas na manipulação do kit demonstrativo. O momento pedagógico seguiu, com os alunos interagindo com o objeto, participando de discussões, assistem recursos de mídia, respondendo e preenchendo atividades propostas. Todos esses procedimentos permitiram a exploração do grafeno, introduzindo conceitos como os de ligações químicas, alotropia, corrente elétrica, flexibilidade entre outros.

No último momento pedagógico, com os conceitos supracitados já devidamente explorados, os alunos se apropriam do entendimento do que é o grafeno e quais possibilidades de utilização tecnológica. Finalizamos o 3MP com uma revisita ao texto introdutório. Como tarefa a ser realizada em casa, os alunos responderam a um questionário, produziram um MC e elaboraram um texto dissertativo-argumentativo.

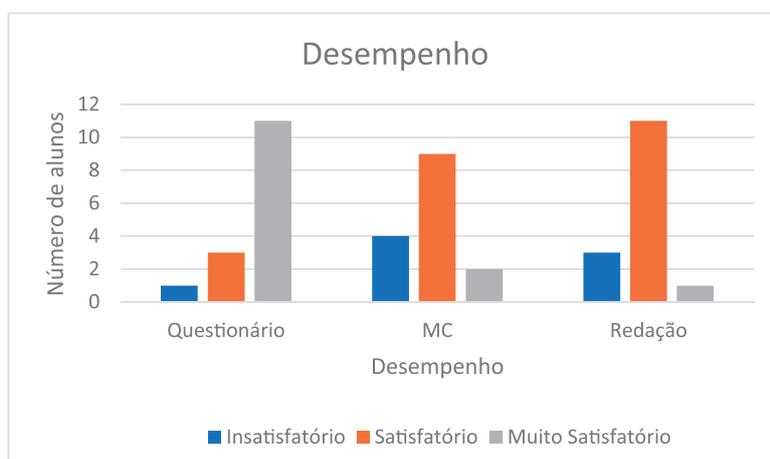
Análise das avaliações

A análise das avaliações buscou indícios da aprendizagem, em que, para:

- os questionários de múltipla escolha, respeitou-se a porcentagem do número de acertos;
- os MC, observou-se o conjunto de conceitos, estrutura, hierarquia das relações;
- os textos dissertativo-argumentativo buscou-se encontrar na redação:
 - i. domínio da escrita formal e dos mecanismos linguísticos de argumentação.
 - ii. compreensão do tema e aplicação das áreas de conhecimento.
 - iii. capacidade de interpretação das informações e organização dos argumentos.

Os professores pesquisadores da pesquisa analisaram todas as avaliações do grupo de alunos sendo que o gráfico 2 expressa os resultados obtidos.

Gráfico 2 - desempenho dos alunos após a segunda intervenção.



Fonte: construção do autor.

O gráfico 2 indica os resultados obtidos para as avaliações diversificadas após segunda intervenção. Por meio de questionários e textos dissertativos-argumentativos, observou-se que 73% dos discentes participantes da pesquisa, obtiveram desempenho muito satisfatório. Já, por meio de mapas conceituais, somente 26% dos alunos tiveram sua construção com desempenho insatisfatório. Portanto, os resultados evidenciam indícios de aprendizagem significativa, porém convém salientar que a PBD, mesmo fazendo uso de coletas de dados numéricos, principalmente na sala de aula, que ajudarão a responder algumas questões da pesquisa por meio de gráficos e podem a caracterizar como quantitativa, não faz com que se perda o carácter do grupo de professores pesquisadores, de entender, descrever e em alguns momentos até explicar os eventos ocorridos o que cunha um teor quantitativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho foi desenvolvido tendo como alicerce as etapas da PBD, vinculadas a utilização da aprendizagem significativa de Ausubel e a interdisciplinaridade da nanociência, em que, desenvolvemos dois ciclos de aplicação de artefato pedagógico. Nossa intenção, no desenvolvimento dessa

pesquisa, foi de solucionar um problema educacional, por meio de uma solução distinta e com isso comprovar a eficácia da utilização da PBD, no auxílio da construção da aprendizagem significativa junto a estrutura cognitiva dos alunos, que por sua vez, que participaram voluntariamente do projeto.

Observamos que a PBD cumpriu seu carácter metodológico intervencionista e que busca aliar aspectos teóricos da pesquisa em educação com a prática educacional. Permitiu também, produzir conhecimento sobre o processo de ensino e aprendizagem por meio de intervenções pedagógicas. Já a teoria de aprendizagem de Ausubel buscou reconhecer a dinâmica envolvida nos atos de ensinar e aprender, partindo do reconhecimento da evolução cognitiva dos alunos participantes da pesquisa.

Seguindo as etapas do processo da PBD o grupo pesquisador reconheceu que a divulgação científica e tecnológica é uma das dificuldades encontradas no EM e balizou a nanociência e a nanotecnologia com potencial para ser o eixo temático capaz de gerenciar a elaboração de uma SDI, definida como artefato. Seguindo o proposto pela BNCC, foram cumpridos os objetivos a serem desenvolvidos, integrando conceitos que perambulam entre a física e química. Formas diversificadas de avaliação permitiram, por sua vez, observar evidências de aprendizagem com significado por parte do aprendiz.

Para essa avaliação em um primeiro momento foi observado se essa metodologia de pesquisa (PBD) teria algum ponto de familiaridade (interseção) com a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel e concluímos que, mesmo se tratando de conceitos epistemológicos distintos, alguns pontos fundamentais são comuns a ambas e com significados muito próximos quando utilizados, em alguns momentos de uma atividade docente. Enquanto que a teoria da aprendizagem significativa sugere a utilização dos conhecimentos prévios dos alunos, a Pesquisa Baseada em Design sugere levantar o problema junto aos participantes, conhecendo as dificuldades dos discentes. Uma vez que Ausubel sugere a criação um material didático “potencialmente significativo”, a PBD em uma de suas etapas, promove a construção de um artefato. A PBD possui uma intervenção em que o docente faz uso do artefato, já a aprendizagem significativa propõe a exploração de um material significativo para que o aprendiz adquira novos conceitos em sua estrutura cognitiva, fazendo uso de subsunções. Por fim, ambas prezam para que novos conceitos relevantes sejam adquiridos na estrutura cognitiva do aprendiz.

Como última reflexão, salientamos que a PBD requer entre outros fatores, um grupo de professores pesquisadores coesos em seus princípios e com grande disponibilidade de tempo para o trabalho colaborativo. Acreditamos que esses fatores não sejam simples ou fáceis de se manter. Por fim, concluímos que a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel e a PBD podem ser conciliadas, convergindo para um mesmo ponto central: a significação de um novo conceito na estrutura cognitiva do indivíduo a ser observado.

REFERÊNCIAS

AMIEL, T.; REEVES, T. C. Design-Based Research and Educational Technology: Rethinking Technology and the Research Agenda. **Journal of Educational Technology & Society**. V.11, n. 4, p. 29-40, 2008.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Redenção do Conhecimento**: Uma Perspectiva Cognitiva. 1. ed. Lisboa: Plátano, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). **Por que popularizar?** Brasília: CNPq, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Orientações curriculares para o ensino médio. Brasília: MEC, 1997.

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

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais. **Orientações curriculares para o ensino médio**: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/ SEB, 2006.

BROWN, A. L. Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. **The journal of the Learning Sciences**, 2 (2), p. 141-178, 1992.

COLLINS, A. Towards a design science of education. In: SCANLON, E.; O'SHEA, T. (Eds.). **New directions in educational technology**, Berlin: Springer, 1992, p. 15-22.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J.A.; PERNABUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber Editora, 2006

FAZENDA, I. C. A. **O que é Interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008.

KNEUBIL, F.B.; PIETROCOLA, M. **A pesquisa baseada em design**: visão geral e contribuições para o Ensino de Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 22, n.2, p. 1-16, 2017.

LEONEL, A. A. **Nanociência E Nonotecnologia**: Uma Proposta de Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. 2010. 215 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MANSON, N. J. Isoperationsresearchreallyresearch? **Operations Research Society of South Africa**. v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MATTA, A. E. R.; SILVA, F. P. S.; BOAVENTURA, E. M. Design-based research ou pesquisa de desenvolvimento: metodologia para pesquisa aplicada de inovação em educação no século XXI. **Revista da FAEEBA: Educação e Contemporaneidade**. v.23, n.42, p. 23-36, 2014.

MÉHEUT, M., & PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, 26(5), 515-535.

MORAES, P. P. Sequencia **Didática Interdisciplinar para o Ensino de Matemática**. Belém, 2019

PEFFERS, K. et al. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2008.

POMBO, O. Epistemologia da interdisciplinaridade. **Revista Ideação**, Cascavel. v. 10, n. 1., p. 9-40, 2008.

REBELLO, G. A. F.; ARGYROS, M. de M.; LEITE, W. L. L.; SANTOS, M. M.; BARROS, J. C.; SANTOS, P. M. L. dos; SILVA, J. F. M. da. Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA. **Química Nova na Escola**. v. 34, n. 1, p. 3-9, 2012.

SCHNETZLER, R. P. ; SANTOS, W. L. P. **Educação em Química: Compromisso com a Cidadania**. 3. ed. Rio Grande do Sul, Ijuí: Ed. da Unijuí, 2003.

SHONS E. F. **Contribuições da Pesquisa Baseada em Design para construção de conhecimento matemático para o ensino de geometria com licenciados em atividade de estágio curricular supervisionado**. 2022. 296 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em ensino de Ciências e Matemática) - Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2022

TAKEDA, H. et al. Modeling Design Process. **AI Magazine**. v. 11, n. 4, p. 37-48,1990.

TOMA, E. H. **O Mundo Nanométrico: a dimensão do novo século**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.