

BIOELETRICIDADE: UMA APLICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA E BIOLOGIA

BIOELECTRICITY: AN APPLICATION IN PHYSICS AND BIOLOGY TEACHING

BIOELECTRICIDAD: UNA APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE FÍSICA Y BIOLOGÍA

Artur Antunes Navarro Valgas^{1*} ; Tatiane Alves Gonçalves² ; Andrea Pires da Rosa³ ; Fabiane Kohler⁴ ; Lisandra Catalan do Amaral⁵ 

¹Doutor em Biologia Animal (UFRGS). Pesquisador de Pós-doutorado no PPG Ecologia e Evolução da Biodiversidade (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brasil; ²Mestra em Educação em Ciências e Matemática (PUCRS). Doutoranda em Ensino de Física (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil; ³Especialista em Educação Inclusiva (PUCRS). Mestranda em Educação (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil; ⁴Especialista em Gestão Curricular Marista (PUCRS). Mestranda em Educação (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brasil; ⁵Doutora em Educação (PUCRS). Professora da Escola de Politécnica (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brasil.

*Autor correspondente: artur.valgas@gmail.com

Recebido: 12/07/2024 | Aprovado: 09/08/2024 | Publicado: 26/08/2024

Resumo: O estudo da Física e da Biologia no ensino médio muitas vezes é descontextualizado e pouco interessante. Isso ocorre quando os estudantes não conseguem visualizar uma aplicação direta dos conteúdos trabalhados em sala de aula. O uso de um método de ensino que visa integrar conhecimentos de diferentes áreas mostra-se uma ferramenta pertinente à construção global dos fenômenos da natureza. Dessa forma, o estudante tem a possibilidade de usar os conhecimentos oriundos de diferentes áreas para compreender e construir um novo saber a partir de um contexto real. Temos como exemplo, o uso de aspectos evolutivos e adaptativos dos seres vivos no estudo do campo e potencial elétrico. Percebe-se então, que os tópicos ministrados se tornam curiosos e interessantes aos adolescentes. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi integrar os componentes curriculares de Biologia e Física por meio das adaptações de peixes ósseos e cartilagineos; e verificar as perspectivas de estudantes sobre essa integração. O ensino da Bioeletricidade, promoveu um entendimento global dos fenômenos da eletricidade e da evolução destes organismos. Para tanto, foram realizadas duas aulas expositivas e dialogadas de 50 minutos com uma turma de 3ª série do ensino médio de 40 estudantes, intituladas “Sexto sentido do Tubarão Martelo” e “Cuidado aí vem o Poraquê”. Durante as aulas discutiram-se os aspectos evolutivos dos animais, fazendo associações entre os conteúdos trabalhados entre a Física e Biologia. Ao final dos períodos foi aplicado um questionário perguntando aos discentes sobre suas percepções em relação as aulas e se nesse formato o processo de aprendizagem e compreensão foi facilitado. Os resultados dos questionários foram analisados por Análise Textual Discursiva (ATD), observando-se em que os estudantes demonstraram ter um melhor entendimento da matéria e acreditam que este método ajuda na realização do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), uma vez que permite ter uma visão global sobre o fenômeno da natureza.

Palavras-chave: Biofísica. Integração de saberes. ENEM. Interdisciplinaridade. Ensino de Ciências da Natureza.

Abstract: The study of Physics and Biology in high school is often disjointed and uninteresting. This happens when students fail to visualize a direct application of the content taught in the classroom. The use of a teaching method aimed at integrating knowledge from different areas proves to be a pertinent tool in the overall understanding of natural phenomena. Thus, students have the opportunity to utilize knowledge from various fields to comprehend and construct new knowledge from a real-world context. An example of this is the utilization of evolutionary and adaptive aspects of living beings in the study of electric field and potential. It is evident, then, that the topics covered become intriguing and engaging to adolescents. Therefore, the objective of this work was to integrate curriculum components through the adaptations of bony and cartilaginous fish. The teaching of Bioelectricity facilitated a comprehensive understanding of electricity phenomena and the evolution of these organisms. To achieve this, two 50-minute interactive lectures were conducted with a class of 40 3rd-year students, titled "The Sixth Sense of the Hammerhead Shark" and "Watch out, here comes the Electric Eel". During these sessions, the evolutionary aspects of animals were discussed, drawing connections between Physics and Biology content in high school. At the end of the sessions, a questionnaire was administered to the students, inquiring about their perceptions of the classes and whether this format facilitated the learning and understanding process. The questionnaire results were analyzed using Discursive Textual Analysis (DTA), revealing the

effectiveness of the methodological strategy. Students demonstrated a better grasp of the material and believed that this method aids in the National High School Examination (ENEM) preparation, as it provides a holistic view of natural phenomena.

Keywords: Biophysics. Integration of knowledge. Interdisciplinarity. Teaching Natural Sciences.

Resumen: El estudio de Física y Biología en la escuela secundaria suele ser inconexo y poco interesante. Esto sucede cuando los estudiantes no logran visualizar una aplicación directa del contenido enseñado en el aula. El uso de un método de enseñanza dirigido a integrar conocimientos de diferentes áreas resulta ser una herramienta pertinente en la comprensión global de los fenómenos naturales. Por lo tanto, los estudiantes tienen la oportunidad de utilizar conocimientos de diversos campos para comprender y construir nuevos conocimientos desde un contexto del mundo real. Un ejemplo de esto es la utilización de aspectos evolutivos y adaptativos de los seres vivos en el estudio del campo y potencial eléctrico. Es evidente, entonces, que los temas tratados resultan intrigantes y atractivos para los adolescentes. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue integrar componentes curriculares a través de las adaptaciones de peces óseos y cartilaginosos. La enseñanza de la Bioelectricidad facilitó una comprensión integral de los fenómenos eléctricos y la evolución de estos organismos. Para lograrlo, se realizaron dos conferencias interactivas de 50 minutos de duración con una clase de 40 estudiantes de 3er año, tituladas “El sexto sentido del tiburón martillo” y “Ojo, aquí viene la anguila eléctrica”. Durante estas sesiones se discutieron los aspectos evolutivos de los animales, estableciendo conexiones entre los contenidos de Física y Biología en la escuela secundaria. Al final de las sesiones se administró un cuestionario a los estudiantes, indagando sobre sus percepciones sobre las clases y si este formato facilitaba el proceso de aprendizaje y comprensión. Los resultados del cuestionario fueron analizados mediante Análisis Textual Discursivo (ATD), revelando la efectividad de la estrategia metodológica. Los estudiantes demostraron una mejor comprensión del material y consideraron que este método ayuda en la preparación del Examen Nacional de Enseñanza Secundaria (ENEM), ya que proporciona una visión holística de los fenómenos naturales.

Palabras-clave: Biofísica. Integración de conocimientos. Interdisciplinaria. Enseñanza de Ciencias Naturales.

1 INTRODUÇÃO

Ao examinar o ambiente diário das interações na sala de aula, percebemos uma destacada ênfase, por vezes excessiva, por parte dos educadores, na valorização dos conteúdos específicos de suas respectivas áreas de conhecimento. Contudo, essa abordagem muitas vezes negligencia a devida atenção ao significado dessas contribuições para a formação integral do aluno dentro de um contexto social. Tais práticas podem comprometer o envolvimento do estudante com as propostas pedagógicas, levando à apatia e participação passiva tanto na sala de aula quanto em outros ambientes de aprendizado (Estivalete, 2016; Guimarães *et al.*, 2021).

O processo de ensino e aprendizagem no ensino médio muitas vezes é descontextualizado e pouco interessante aos estudantes. Isso ocorre quando os estudantes não conseguem visualizar uma aplicação direta dos conteúdos trabalhados em sala de aula com o mundo a sua volta (Valgas *et al.*, 2020). O uso de um método de ensino que visa integrar conhecimentos de diferentes áreas mostra-se uma ferramenta pertinente à construção global dos fenômenos da natureza, desta forma, o estudante tem a possibilidade de usar os conhecimentos oriundos de diferentes áreas para compreender e construir um novo saber a partir de um contexto real (Valgas *et al.*, 2021A).

A abordagem de integração dos saberes é caracterizada pela interação de dois ou mais componentes curriculares (Pombo, 2005), promovendo cooperação, compartilhamento, diálogo e planejamento entre diferentes profissionais. O diálogo entre disciplinas pode ser benéfico na sala de aula, e, de acordo com Zanetic (2006), a contemporaneidade se beneficia com a criação desse vínculo, constituindo uma oportunidade para

superar as limitações disciplinares. Diversos autores, como Japiassu (2006), Fazenda (2002), Santomé (1998) e Pombo (2008), discutem a integração dos saberes. Pombo (2005) destaca a falta de consenso em relação ao termo interdisciplinaridade, propondo o uso do termo integração dos saberes, argumentando que os conceitos de multidisciplinaridade, pluridisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade são controversos e de difícil compreensão. Segundo a autora, a integração dos saberes implica uma colaboração por meio de trabalho conjunto, troca de ideias e socialização de saberes (Pombo, 2005, p.4).

A integração de saberes é uma estratégia interessante para contextualização de conteúdos prevista na Base Nacional curricular comum (BNCC), onde atua na integração, na complementariedade, em pontos de articulação e comparabilidade, e em momentos de intercâmbio e enriquecimento mútuo entre os diferentes conhecimentos curriculares (Argueta, 2015; El-Hani, 2018; Dos Santos *et al.*, 2019). No âmbito do processo de integração entre disciplinas, evidencia-se a atuação da coordenação, que direciona os objetivos, procedimentos e planejamentos docentes, promovendo a interação entre os professores dos diversos componentes curriculares (Nogueira, 2001). Quanto aos estudantes, há uma pressão, por meio dos currículos escolares e avaliações externas, para o desenvolvimento de competências mais complexas e a análise de fenômenos de maneira global. Isso demanda um enfoque centrado no desenvolvimento de habilidades complexas, permitindo ao aluno adotar uma perspectiva abrangente, desvendando as "caixas" do conhecimento disciplinar e fomentando uma percepção interdisciplinar (Virtuoso *et al.*, 2018).

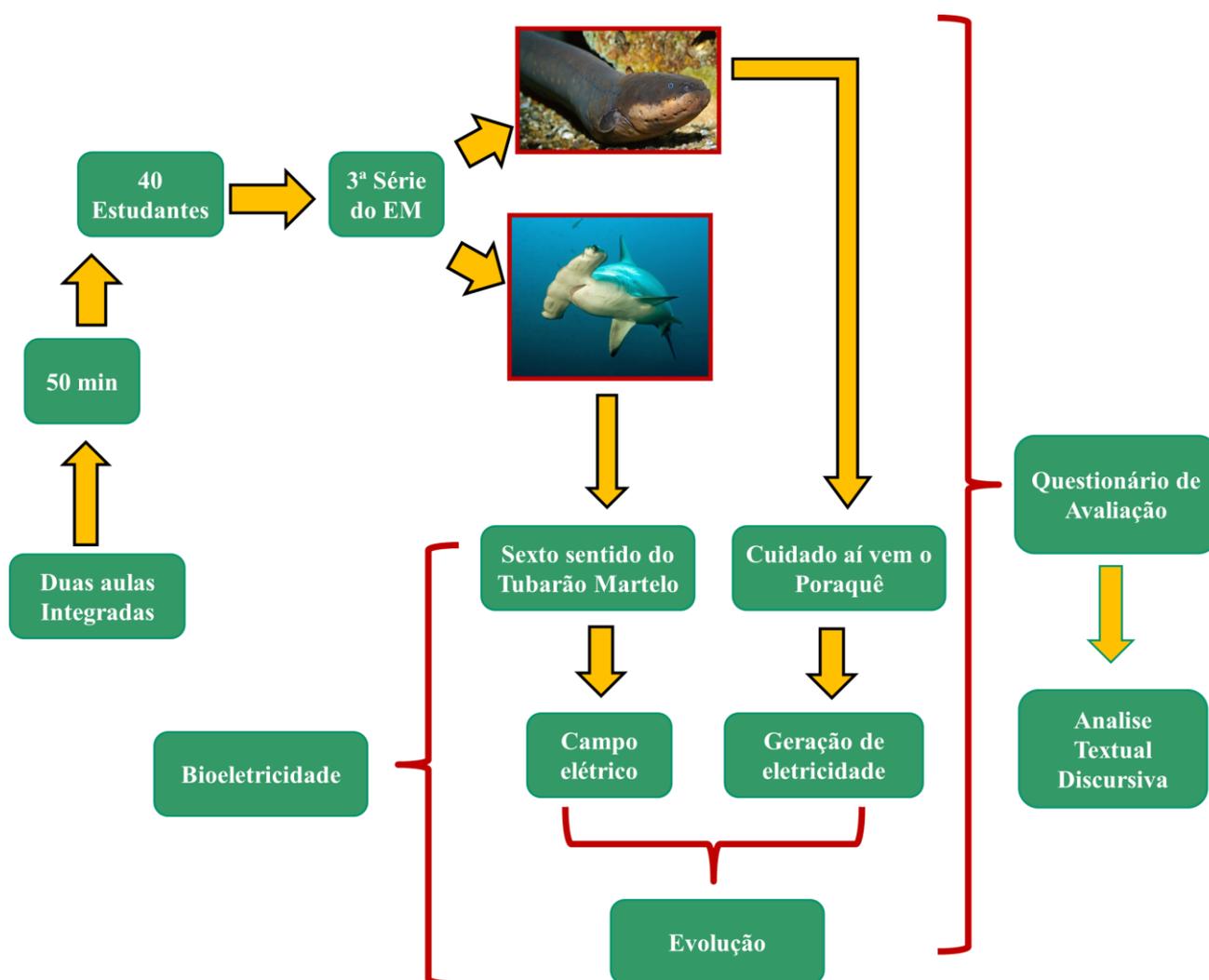
Temos como exemplo, o uso de aspectos evolutivos e adaptativos dos seres vivos no estudo do campo e potencial elétrico. A bioeletricidade é o campo da ciência que integra a biologia e física a fim de compreender e explicar os fenômenos elétricos nos animais. Ao longo da evolução a eletricidade surge como mecanismo adaptativo de forma convergente (Baker *et al.*, 2014), onde pode ser empregada na defesa, captura de presas e comunicação em diversos grupos de animais aquáticos, onde estes podem detectar campos elétricos ou até mesmo gerar descargas elétricas de seus corpos (Catania, 2014; Newton *et al.*, 2019). Dois grupos de peixes se destacam no uso destas estratégias adaptativas, os tubarões martelo (*Sphyrna mokarran*, Rüppell, 1837) e os poraquês (*Electrophorus electricus*, Linnaeus, 1766). Os tubarões martelo são especialistas na eletropercepção, onde estes grupos de condrites desenvolveu um sistema de linha lateral repletos de células especializadas em detectar campos elétricos (ampola de Lorenzini) na região da cabeça (Freitas *et al.*, 2006; Baker *et al.*, 2014; Newton *et al.*, 2019), os tornando verdadeiros detectores elétricos (Kajiura *et al.*, 2002; O'Connell, 2018). Já poraquês, são peixes ósseos amazônicos com incrível capacidade de geração de descargas elétricas através de um órgão elétrico próprio, derivado de seu sistema muscular (Carlson *et al.*, 2019), capaz de matar suas presas, comunicar-se com outros indivíduos e atordoar seres humanos.

Percebe-se então, que os tópicos ministrados se tornam curiosos e interessantes aos adolescentes. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi integrar os componentes curriculares de Biologia e Física por meio das adaptações de peixes ósseos e cartilaginosos; e verificar as perspectivas de estudantes sobre essa integração. O ensino da Bioeletricidade, promoveu um entendimento global dos fenômenos da eletricidade e da evolução destes organismos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram ministradas duas aulas de forma integradas, com a temática evolução e bioeletricidade, de 50 minutos pelos professores dos componentes curriculares de Biologia e Física para uma turma de terceira série de ensino médio com cerca de 40 estudantes. Uma das aulas foi intitulada “Sexto sentido do Tubarão Martelo” e tratou da temática de eletropercepção dos tubarões martelo (*Sphyrna mokarran*) e a outra foi intitulada “Cuidado aí vem o poraquê”, tratando da temática de geração de energia elétrica pelas células fotovoltaicas do Poraquê (*Electrophorus electricus*), onde foram tratadas questões evolutivas destes animais, assim como aspectos biotecnológicos relacionados a tecnologias inspiradas nestes animais. Após foi aplicado um questionário de perguntas abertas de avaliação das aulas para os estudantes, a fim de captar as percepções sobre o seu processo de aprendizagem com a dinâmica de aulas integradas. As respostas do questionário foram avaliadas de forma qualitativa por Análise textual discursiva (ATD) (Fig. 1).

Figura 1 – Esquematização da metodologia aplicada.



Fonte: Autores, 2024.

compilação de documentos composta principalmente por expressões textuais, onde os textos representam manifestações linguísticas originadas de um fenômeno específico em um tempo e contexto determinados (IBID). A interpretação desses textos requer que o pesquisador construa significados com base em sua teoria e perspectivas, assumindo assim o papel de autor das interpretações resultantes de sua análise (Moraes & Galiuzzi, 2007). O processo de categorização pode manifestar-se de duas maneiras: através de categorias "a priori" ou "emergentes". A primeira refere-se à escolha prévia de categorias, sendo que as categorias emergentes surgirem durante a análise de dados, são reconhecidas como tais e fundamentadas no conhecimento do pesquisador alinhado aos objetivos da pesquisa. Após a categorização foi realizada uma percentagem de frequência de categorias emergentes a fim de avaliar quantitativamente os resultados.

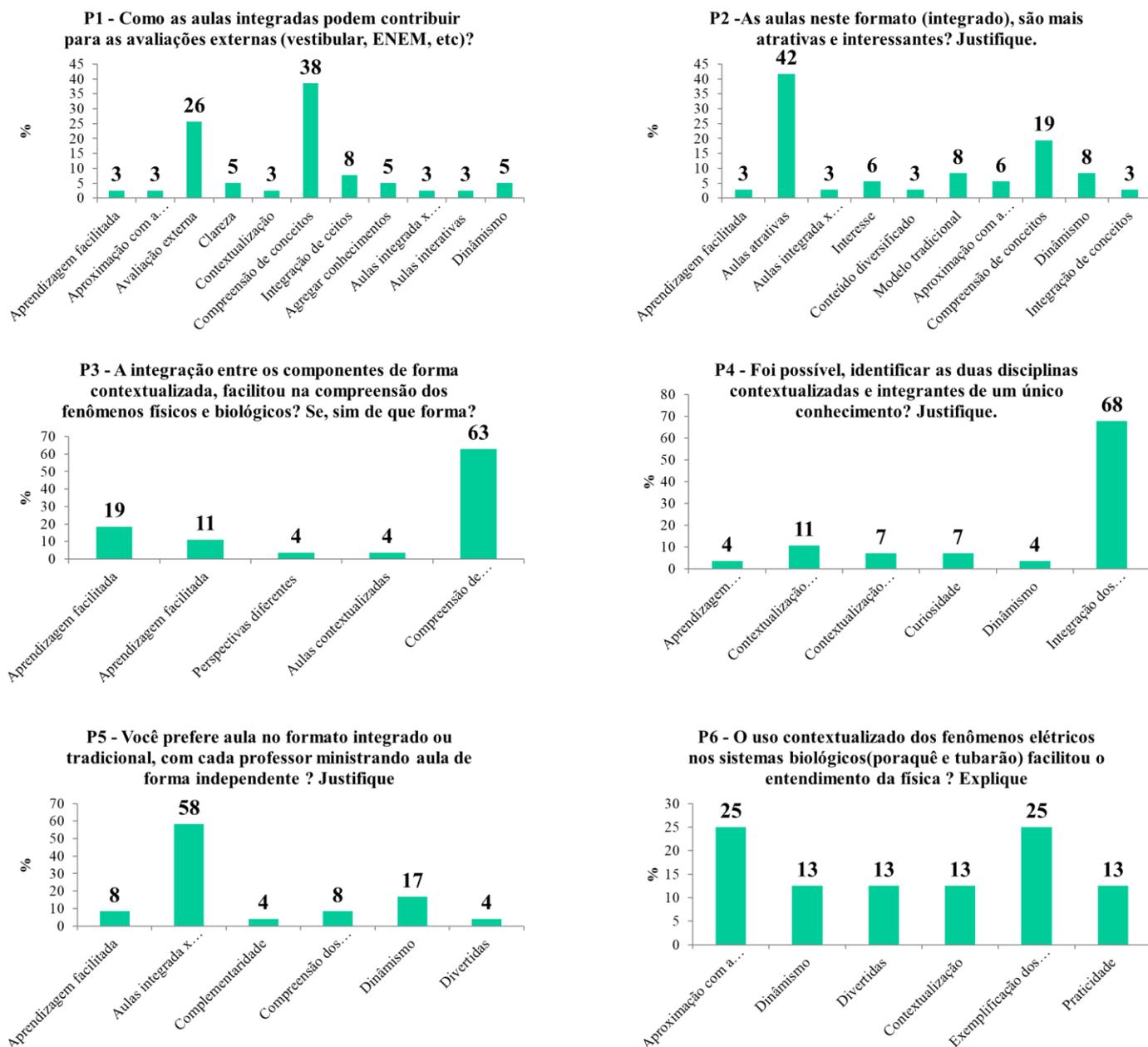
Questionário:

- Como as aulas integradas podem contribuir para as avaliações externas (vestibular, ENEM, etc)?
- As aulas neste formato (integrado), são mais atrativas e interessantes? Justifique;
- A integração entre os componentes de forma contextualizada, facilitou na compreensão dos fenômenos físicos e biológicos? Se, sim de que forma?
- Foi possível, identificar as duas disciplinas contextualizadas e integrantes de um único conhecimento? Justifique;
- Você prefere aula no formato integrado ou tradicional, com cada professor ministrando aula de forma independente? Justifique;
- O uso contextualizado dos fenômenos elétricos nos sistemas biológicos (poraquê e tubarão) facilitou o entendimento da física? Explique;

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o presente estudo foi possível avaliar a efetividade da interdisciplinaridade no ensino de Ciências da Natureza, onde os estudantes demonstraram ter um melhor entendimento do fenômeno natural. Quando questionados sobre como as aulas integradas podem contribuir para as avaliações externas, como vestibular e ENEM (P1), a categoria Compreensão de Conceitos se destaca com emergência de 38% (Fig.2) nos discursos dos estudantes, podendo ser evidenciado na fala dos estudantes E4 “Elas ajudam a aplicar um tema de vários pontos de vista diferentes, fazendo mais sentido como um todo” e E12 “São formas de aprendizados, assim como as aulas "individuais", faz a gente ter uma facilidade em relacionar ambas as matérias em qualquer situação, qualquer parte da natureza e etc. Isso ajuda a entender e compreender melhor questões de vestibulares e outras provas externas”.

Figura 2 – Resultados da Análise textual descritiva em percentual por categoria.



Fonte: Autores, 2024.

Na busca por uma preparação eficaz para as exigentes avaliações vestibulares, as aulas integradas entre diferentes componentes curriculares surgem como uma estratégia pedagógica valiosa. Ao unir disciplinas aparentemente distintas em uma abordagem interdisciplinar, os estudantes são beneficiados com uma compreensão mais profunda e significativa dos conteúdos, preparando-se de forma mais eficiente para os desafios acadêmicos (Valgas *et al.*, 2020). A interligação entre diferentes disciplinas proporciona aos alunos uma visão ampla e contextualizada do conhecimento. Ao invés de fragmentar os saberes, essa abordagem permite que os estudantes compreendam as relações e interações entre os diversos campos do saber. Essa abordagem não apenas torna o aprendizado mais envolvente, mas também prepara os estudantes para enfrentar os desafios complexos que encontrarão nas avaliações vestibulares e na vida acadêmica e profissional. Um estudo conduzido por Smith *et al.* (2018) destacou os benefícios das aulas integradas na preparação para o vestibular. Os

pesquisadores observaram que os alunos que participaram de programas interdisciplinares apresentaram um desempenho significativamente melhor em testes de compreensão e resolução de problemas, em comparação com aqueles que seguiram uma abordagem mais tradicional e fragmentada do currículo escolar.

Na pergunta 2 os estudantes são questionados sobre a atratividade das aulas integradas e observamos a categoria Aulas atrativas se destacando com 42% de frequência nos discursos (Fig.2), onde podemos destacar as falas dos estudantes E7 “As relações são mais atrativas, afinal elas se aproximam mais de como a ciência se mostra de fato” e E19 “Sim, porque na mescla de conteúdos, consigo enxergar e compreender aquele assunto em outra matéria facilitando o método de aprendizagem, tornando mais atrativo”. No cenário educacional contemporâneo, a busca por estratégias pedagógicas que despertem o interesse e engajamento dos estudantes é fundamental. Nesse contexto, as aulas integradas entre diferentes disciplinas surgem como uma abordagem atrativa e eficaz para promover a aprendizagem significativa (Valgas *et al.*, 2021A). Ao conectar os conhecimentos de diferentes áreas do saber, essas aulas proporcionam uma experiência de aprendizado mais dinâmica e envolvente para os alunos.

A interdisciplinaridade no ensino tem sido reconhecida como uma forma de tornar o aprendizado mais relevante e contextualizado para os estudantes (Bowers, 2019). Ao invés de abordar os conteúdos de forma isolada, as aulas integradas permitem que os alunos percebam as conexões entre diferentes disciplinas e compreendam como os conceitos se aplicam em situações do mundo real. Um estudo realizado por Mendonça *et al.* (2021) analisou o impacto das aulas integradas no engajamento dos estudantes e demonstrou que os alunos se mostraram mais motivados e interessados quando as disciplinas eram ensinadas de forma interligada. Os resultados indicaram que a interdisciplinaridade contribuiu para uma maior satisfação dos alunos com o processo de aprendizagem, além de promover uma compreensão mais profunda e duradoura dos conteúdos.

Na pergunta 3 quando questionados sobre a facilitação da compreensão dos fenômenos da biologia e da física, novamente se destaca a categoria Compreensão de Conceitos, onde 63% (Fig.2) dos discursos analisados apresentaram esta categoria, ficando evidente nos discursos dos estudantes E10 “Sim, na maneira de relacionar os conteúdos” e E16 “Sim. Acredito que quem tem mais facilidade em uma das duas matérias e dificuldade em outra conseguiu visualizar melhor o conteúdo, já que ambas se complementaram durante a aula”. No contexto educacional contemporâneo, as aulas integradas entre disciplinas como Física e Biologia emergem como uma abordagem promissora para facilitar a compreensão dos fenômenos naturais pelos estudantes (Valgas *et al.*, 2020, 2021A). Essa integração permite uma abordagem mais holística e contextualizada, proporcionando uma compreensão mais profunda e significativa dos processos físicos e biológicos que ocorrem no mundo ao nosso redor.

Ao unir conceitos de Física e Biologia, os alunos são capazes de enxergar as conexões intrínsecas entre essas duas áreas do conhecimento. Essa abordagem multidisciplinar permite aos alunos uma compreensão mais abrangente e integrada do tema. A interdisciplinaridade também facilita a compreensão de conceitos abstratos e complexos através de exemplos concretos e aplicados. Por meio de experimentos práticos e estudos de caso, os estudantes podem visualizar como os princípios físicos se manifestam nos processos biológicos e vice-versa. Isso torna o aprendizado mais tangível e acessível, ajudando os alunos a internalizarem os conceitos de forma

mais eficaz (Favero *et al.*, 2018). Um estudo conduzido por Silva & Souza (2020) examinaram os efeitos da integração entre Física e Biologia no desempenho dos estudantes e revelou que os alunos apresentaram uma melhoria significativa na compreensão dos fenômenos naturais quando essas disciplinas foram ensinadas de forma integrada. Os resultados indicaram que a abordagem interdisciplinar promoveu uma aprendizagem mais eficaz e duradoura, preparando os alunos para enfrentar os desafios acadêmicos e profissionais com confiança.

Ao serem questionados sobre se foi possível, identificar as duas disciplinas contextualizadas e integrantes em um único conhecimento, a categoria emergente mais frequente foi a integração de saberes (68%) (Fig.2), que fica evidenciado na fala dos estudantes E5 “Sim, a partir da explicação é possível entender o conteúdo tanto em partes tanto como um todo” e E9 “Sim, acredito que abriu minha mente para a questão de que tudo é ligado, a biologia com a física que não precisamos pensar em tudo como diferente, mas sim como uma ligação”. A integração da Física e da Biologia nas aulas possibilita aos alunos uma visão mais abrangente dos processos que ocorrem no mundo natural. Por exemplo, ao estudar a biomecânica, os alunos podem explorar como os princípios físicos, como força, movimento e energia, influenciam o funcionamento dos organismos vivos, desde os movimentos dos músculos até a estrutura óssea e a locomoção dos animais (Valgas *et al.*, 2021A).

Além disso, a interdisciplinaridade promove uma compreensão mais contextualizada e aplicada dos conceitos científicos (Valgas *et al.*, 2021B). Ao invés de aprenderem os conteúdos de forma isolada, os estudantes são desafiados a relacionar os conhecimentos de Física e Biologia em situações práticas e do cotidiano (Silva & Souza, 2020). Um estudo realizado por Oliveira & Santana (2019) examinou os efeitos da integração entre Física e Biologia no desempenho dos estudantes e constatou que a abordagem interdisciplinar promoveu uma aprendizagem mais significativa e duradoura. Os resultados indicaram que os alunos apresentaram uma melhoria na compreensão dos conceitos e uma maior motivação para aprender quando as disciplinas eram ensinadas de forma integrada. Ao unir conhecimentos de diferentes áreas do saber, essa abordagem promove o desenvolvimento de habilidades essenciais, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a criatividade, preparando os alunos para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo com conhecimento e habilidade.

Com relação a preferência do formato de aula, obtivemos uma resposta interessante, onde a categoria Aula integrada x Aulas tradicionais aparece com maior frequência 58% (Fig.2), onde na fala de E2 “gosto da aula integrada quando ela se é necessária” e E20 “Eu gosto das duas maneiras, acredito que seja ótimo ter aulas integradas durante períodos de tempo, porque após aprendermos certos conteúdos em cada componente, podemos relacioná-los dentro da ciência, entre si, através do formato integrado”. Onde os estudantes demonstram identificar a importância das duas formas de abordagens no seu processo de aprendizagem. No ambiente educacional, tanto as aulas tradicionais quanto as integradas desempenham papéis fundamentais no processo de aprendizagem dos estudantes, cada uma com suas vantagens e contribuições distintas. Enquanto as aulas tradicionais mantêm um enfoque disciplinar mais específico, as aulas integradas promovem a interconexão e contextualização dos conhecimentos, oferecendo uma abordagem multidisciplinar e holística. Ambas têm seu lugar na educação contemporânea, e sua combinação pode enriquecer significativamente a experiência de aprendizado dos alunos (Caldas, 2019).

As aulas tradicionais, que seguem um formato mais convencional de ensino, fornecem uma estrutura clara e organizada para a transmissão de informações e conceitos específicos de uma disciplina. Esse tipo de aula geralmente é focado em conteúdos específicos e métodos de ensino mais tradicionais, como aulas expositivas e exercícios práticos. As aulas tradicionais são úteis para fornecer uma base sólida de conhecimento em uma disciplina específica, ajudando os alunos a desenvolverem habilidades fundamentais e compreenderem conceitos essenciais. Por outro lado, as aulas integradas têm como objetivo conectar os conhecimentos de diferentes disciplinas, proporcionando uma compreensão mais ampla e interdisciplinar dos conteúdos. Essa abordagem promove a aplicação prática dos conceitos aprendidos e ajuda os alunos a perceberem as interconexões entre diferentes áreas do conhecimento (Da Silva *et al.*, 2018; Caldas, 2019).

Estudos têm demonstrado os benefícios tanto das aulas tradicionais quanto das integradas no processo de aprendizagem dos estudantes. Por exemplo, uma pesquisa realizada por Johnson *et al.* (2018) comparou os efeitos de diferentes abordagens de ensino e descobriu que tanto as aulas tradicionais quanto as integradas podem promover um aprendizado significativo, desde que sejam bem planejadas e executadas. Outro estudo conduzido por Mendonça *et al.* (2020) investigou a percepção dos alunos sobre diferentes métodos de ensino e encontrou evidências de que tanto as aulas tradicionais quanto as integradas são valorizadas pelos estudantes, cada uma contribuindo de maneira única para sua experiência de aprendizado.

Na pergunta 4 duas categorias emergentes se destacam com 25%, a apresentação do conteúdo é mais próxima da realidade e Exemplificação dos conceitos (Fig.2). Onde fica evidenciado na fala dos estudantes E22 “Sim, exemplifica alguns fenômenos físicos com demonstrações mais próximas da minha realidade” e E26 “Sim, pois mostra esses fenômenos elétricos na natureza, por exemplo”. A compreensão dos fenômenos elétricos é fundamental não apenas para a física, mas também para diversas áreas do conhecimento, incluindo a biologia. Através da contextualização desses fenômenos elétricos com exemplos biológicos, os estudantes podem não só compreender melhor os conceitos elétricos, mas também perceber a importância e a aplicabilidade desses fenômenos em contextos biológicos.

A contextualização do fenômeno elétrico na biologia não apenas torna os conceitos elétricos mais tangíveis e relevantes para os estudantes, mas também promove uma compreensão mais profunda e interdisciplinar do tema. Ao conectar os princípios da física elétrica com exemplos concretos e aplicados da biologia, os estudantes são incentivados a pensar de forma crítica e criativa sobre as interações entre diferentes áreas do conhecimento. Portanto, a contextualização do fenômeno elétrico através de exemplos na biologia representa uma oportunidade valiosa para os estudantes compreenderem melhor os princípios elétricos e sua relevância para a vida e a saúde. Ao integrar conceitos de física e biologia, os alunos são capazes de adquirir uma compreensão mais profunda e interdisciplinar dos fenômenos naturais, preparando-os para enfrentar os desafios complexos do mundo contemporâneo com conhecimento e habilidade (Silva & Souza, 2019).

A categoria de Compreensão dos Conceitos aparece com destaque na ATD (p1 – 38%; p2 -19%; p3 – 63%; p5 – 8%), a facilitação da compreensão através de um contexto real, ajuda a aprimorar habilidades e competências essenciais para execução do ENEM, como previsto pela BNCC. A contextualização dos fenômenos físicos através das adaptações dos animais ao meio ambiente é um aproximador do conteúdo nuclear

da curiosidade e cotidiano dos estudantes, tornando um conteúdo denso e de difícil compreensão em algo interessante e atrativo. Como observado na fala do Estudante 12 na pergunta 4, “São formas de aprendizados, assim como as aulas "individuais", faz a gente ter uma facilidade em relacionar ambas as matérias em qualquer situação, qualquer parte da natureza etc. Isso ajuda a entender e compreender melhor questões de vestibulares e outras provas externas”. As aulas integradas de Física e Biologia estão intrinsecamente alinhadas com as competências e habilidades exigidas tanto pelo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) quanto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018).

- **Interdisciplinaridade (BNCC):** A BNCC enfatiza a importância da interdisciplinaridade no processo educacional, incentivando a integração de diferentes áreas do conhecimento. As aulas integradas de Física e Biologia exemplificam essa abordagem, permitindo que os alunos compreendam fenômenos naturais complexos sob múltiplas perspectivas, desenvolvendo uma visão mais completa e integrada do mundo.
- **Contextualização (ENEM):** Uma das competências cobradas pelo ENEM é a capacidade de relacionar conhecimentos científicos com situações do cotidiano e compreender fenômenos naturais em diferentes contextos. As aulas integradas de Física e Biologia proporcionam aos estudantes a oportunidade de contextualizar os conceitos aprendidos em ambas as disciplinas, permitindo uma compreensão mais profunda e significativa dos temas abordados.
- **Pensamento crítico e resolução de problemas (ENEM e BNCC):** Tanto o ENEM quanto a BNCC valorizam o desenvolvimento do pensamento crítico e da habilidade de resolver problemas de forma autônoma e contextualizada. As aulas integradas estimulam os alunos a pensar criticamente ao enfrentar desafios que requerem a aplicação de conceitos de Física e Biologia em conjunto, preparando-os para analisar questões complexas e encontrar soluções criativas e eficazes.
- **Compreensão sistêmica (BNCC):** A BNCC destaca a importância de desenvolver uma compreensão sistêmica dos fenômenos naturais, reconhecendo as interações e interdependências entre diferentes componentes do mundo físico e biológico. As aulas integradas de Física e Biologia fornecem uma visão mais holística dos sistemas naturais, capacitando os alunos a compreenderem a complexidade e a dinâmica dos processos que ocorrem no ambiente físico e biológico.

Em resumo, as aulas integradas de Física e Biologia são uma estratégia pedagógica eficaz para promover o desenvolvimento das competências e habilidades exigidas pelo ENEM e pela BNCC, preparando os alunos não apenas para o exame nacional, mas também para enfrentar os desafios do século XXI com uma base sólida de conhecimento interdisciplinar e uma mentalidade crítica e analítica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidenciou-se que os estudantes obtiveram um maior entendimento dos conteúdos abordados, além de perceberem que essa metodologia contribuiu significativamente para o preparo do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), ao proporcionar uma compreensão mais ampla e integrada dos fenômenos naturais. A implementação de aulas integradas nos componentes de Física e Biologia demonstrou ser altamente eficiente no processo de aprendizagem. Ao abordar conceitos interdisciplinares de maneira conjunta, os alunos puderam estabelecer conexões mais profundas entre os dois campos de estudo, promovendo uma compreensão mais abrangente e holística dos fenômenos naturais. Essa abordagem integrada não só facilitou a assimilação dos conteúdos, mas também estimulou o pensamento crítico e a resolução de problemas de forma mais contextualizada. As aulas integradas de Física e Biologia desempenham um papel fundamental no

desenvolvimento das competências e habilidades exigidas tanto pelo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) quanto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ao adotar uma abordagem interdisciplinar, essas aulas proporcionam uma compreensão mais ampla e integrada dos fenômenos naturais, preparando-os de forma abrangente para enfrentar os desafios do século XXI.

A interdisciplinaridade presente nas aulas integradas permite que os estudantes relacionem conceitos e conhecimentos de Física e Biologia, promovendo uma compreensão mais profunda e contextualizada dos fenômenos naturais. Isso não só facilita a aplicação dos conhecimentos em situações do cotidiano, como também estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas de forma autônoma e criativa. Além disso, as aulas integradas contribuem para o desenvolvimento de uma visão sistêmica dos sistemas naturais, conforme preconizado pela BNCC. Os alunos aprendem a reconhecer as interações e interdependências entre os diferentes componentes dos sistemas físicos e biológicos, preparando-se para compreender a complexidade e a dinâmica do mundo ao seu redor.

Os resultados obtidos sugerem que aulas integradas são uma estratégia pedagógica promissora para enriquecer o processo de aprendizagem e preparar os alunos para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo, onde a interdisciplinaridade é fundamental. Futuras pesquisas poderiam explorar a expansão da abordagem interdisciplinar aplicada neste estudo para incluir outras áreas do conhecimento, como Química, Matemática e Ciências da Computação. A integração dessas disciplinas com a Bioeletricidade pode oferecer um currículo ainda mais abrangente e estimulante para os estudantes, promovendo uma compreensão mais profunda e holística dos fenômenos naturais. Além disso, é essencial realizar estudos de longo prazo para avaliar os impactos permanentes dessa metodologia no desempenho acadêmico e no interesse dos alunos, verificando se a integração de saberes contribui significativamente para o sucesso em avaliações externas e para o desenvolvimento de competências complexas necessárias no mundo moderno.

Agradecimentos

Agradecemos ao Marista Brasil pela possibilidade de realizar este estudo, por todo apoio da equipe diretiva do colégio onde foi aplicado a metodologia do trabalho, assim como aos estudantes que aceitaram responder aos questionários após as aulas.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Autor 1. Execução e aplicação das aulas integradas, análise de dados, produção do texto.

Autor 2. Execução e aplicação das aulas integradas, análise de dados, produção do texto.

Autor 3. Análise de dados, produção do texto.

Autor 4. Análise de dados, produção do texto.

Autor 5. Análise de dados, produção do texto.

REFERÊNCIAS

- Argueta, A. (2015). **Os saberes e as práticas tradicionais: conceitos e propostas para a construção de um campo transdisciplinar**. In C. Udry, & J. S. Eidt (Eds.), *Conhecimento tradicional: conceitos e marco legal* (pp. 177–199). Brasília: Embrapa.
- Baker, C. V., Modrell, M. S., & Gillis, J. A. (2013). **The evolution and development of vertebrate lateral line electroreceptors**. *Journal of Experimental Biology*, 216(13), 2515-2522.
- Brasil. (2018). **Ministério da Educação**. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília.
- Bowers, L. (2019). **Interdisciplinary education in the age of assessment**. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 19(1), 22-40.
- Caldas, N. D. S. (2018). **Aulas tradicionais x aulas diferenciadas: uma análise dos seus efeitos em aprendizagens significativas com noções de pertencimento**. *Trabalho de conclusão de curso UFRGS*.
- Carlson, B. A., Sisneros, J. A., Popper, A. N., & Fay, R. R. (Eds.). (2019). **Electroreception: Fundamental Insights from Comparative Approaches**. *Springer Handbook of Auditory Research*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29105-1>
- Catania, K. (2014). **The shocking predatory strike of the electric eel**. *Science*, 346(6214), 1231-1234.
- da Silva, J. B., de Oliveira Silva, D., & Sales, G. L. (2018). **Modelo de Ensino Híbrido: a percepção dos alunos em relação à Metodologia progressista x Metodologia tradicional**. *Revista Conhecimento Online*, 2, 102-118.
- dos Santos Crepalde, R., Klepka, V., Halley, T. O. P., & Sousa, M. (2019). **A integração de saberes e as marcas dos conhecimentos tradicionais: reconhecer para afirmar trocas interculturais no ensino de ciências**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 275-297.
- Estivaleta, E. B. (2016). **A crescente preocupação com a integração de saberes através do currículo**. *Educação Por Escrito*, 7(1), 34-46.
- El-Hani, C. (2018). **Integrando conhecimentos científicos e tradicionais na conservação**. <https://darwinianas.com/2018/05/01/integrando-conhecimentos-cientificos-e-tradicionais-na-conservacao/>
- Fazenda, I. C. A. (2002). **Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa** (10. ed.). Campinas: Papirus.
- Favero, L. P., Santos, C. M., & Fernandes, C. C. (2018). **Interdisciplinarity in the classroom: contributions to the teaching-learning process**. *Journal of Health Interdisciplinarity*, 7(18), 155-166.
- Freitas, R., Zhang, G., Albert, J. S., Evans, D. H., & Cohn, M. J. (2006). **Developmental origin of shark electrosensory organs**. *Evolution Development*, 8(1), 74–80. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142x.2006.05076.x>
- Guimarães, Lucas Peres, Tayná Gonçalves Silva, and Dimitri Ramos Alves. (2021). **Rachel Carson salva a branca de neve: proposta de estratégia didática envolvendo o tema agrotóxico na educação básica**. *Journal of Education Science and Health* 1.1: 1-12. <https://doi.org/10.52832/jesh.v1i1.3>
- Japiassu, H. (2006). **O espírito interdisciplinar**. *Cadernos EBAPE.BR*, IV(3), 1-9.

- Johnson, A., Smith, B., & Thompson, K. (2018). **The effects of traditional versus integrated teaching on student learning.** *Journal of Educational Research*, 111(3), 297-308.
- Kajiura, S. M., & Holland, K. N. (2002). **Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks.** *Journal of Experimental Biology*, 205(23), 3609-3621.
- Mendonça, M. L., Salla, A. L., & de Castro, F. C. (2021). **Interdisciplinarity and student engagement: A case study in higher education.** *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 15(1), 1-14.
- Mendonça, M. L., Salla, A. L., & de Castro, F. C. (2020). **Student perception of teaching methods: a comparison between traditional and integrated approaches.** *Journal of Higher Education*, 45(2), 189-201.
- Moraes, R., & Galiazzi, M. C. (2007). **Análise Textual Discursiva.** Ijuí: Editora Unijuí.
- Newton, K. C., Gill, A. B., & Kajiura, S. M. (2019). **Electroreception in marine fishes: chondrichthyans.** *Journal of Fish Biology*. <https://doi.org/10.1111/jfb.14068>
- Nogueira, N. R. (2001). **Pedagogia dos projetos: uma jornada Interdisciplinar rumo ao desenvolvimento das múltiplas inteligências.** São Paulo: Érica.
- O'Connell, C. P. (2018). **The utilization of prey-simulating electrodes to analyze the predatory behavior of the great hammerhead shark (*Sphyrna mokarran*).** *Zoology and Ecology*, 28(2), 75-85.
- Pombo, O. (2008). **Epistemologia da interdisciplinaridade.** *Ideação*, 10(1), 9-40.
- Pombo, O. (2005). **Interdisciplinaridade e integração dos saberes.** *Linc em Revista*, 1(1), 3-15.
- Santomé, J. T. (1998). **Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado.** Porto Alegre, RS: Artmed.
- Silva, D. F., & Souza, D. V. (2020). **The interdisciplinarity between Physics and Biology as a facilitating strategy for teaching and learning.** *International Journal of Science Education*, 12(2), 78-91.
- Smith, J. K., Jones, R. S., & Doe, J. M. (2018). **Interdisciplinary Approaches to Education: Integrating Different Fields of Study.** *Educational Psychology Review*, 30(1), 1-21.
- Valgas, A. A. N., Gonçalves, T. A., & do Amaral, L. C. (2020). **Biofísica: Integrando os componentes de Biologia e a Física no Ensino Remoto.** *Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, 6, e155820-e155820.
- Valgas, A. A. N., Gonçalves, T. A., & do Amaral, L. C. (2021a). **Aulas integradas: percepções dos estudantes do ensino médio frente a uma proposta de trabalho entre os componentes de física e biologia.** *Journal of Education Science and Health*, 1(3), 1-15.
- Valgas, A. A. N., de Azevedo, M. K., & da Rosa, A. F. P. (2021b). **Análise de capas de revistas: Uso da imagem na conscientização ambiental.** *Caderno Marista de Educação*, 12(1), e40801-e40801.
- Virtuoso, G. C. P., & Martins, Z. B. (2018). **Perception of Business People on the Evolution of the Accountant Profile.** *Research, Society and Development*, 7(4), 1174303.
- Zanetic, J. (2000). **Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas.** *História, Ciência e Saúde, Manguinbos – Rio de Janeiro*, 13(suplemento), 55-70.