

DNA EM AÇÃO NA EDUCAÇÃO EM CENTRO DE ENSINO DE TEMPO INTEGRAL: DA EXTRAÇÃO À ANÁLISE FORENSE

Dna in action in education at a full-time education center: from extraction to forensic analysis

Gabrielle Rosa Silva¹ 

¹Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Goiás, Mestre em Microbiologia e Doutoranda em Biologia Molecular pela Universidade de Brasília. Professora no Colégio Estadual Osvaldo da Costa Meireles, Luziânia, GO. E-mail: gabriellerosa10@gmail.com.

Revista Educação em Contexto

Secretaria de Estado da Educação
de Goiás - SEDUC-GO

ISSN 2764-8982

Periodicidade: Semestral.

v. 3 n. 2, 2024.

educacaoemcontexto@educ.go.gov.br

Recebido em: 22/09/2024

Aprovado em: 17/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14188052>

Resumo

A problemática deste trabalho é a carência de métodos que conectem teoria e prática no ensino de biologia, particularmente em áreas emergentes como a ciência forense. A biologia, além de ser um campo amplo e diversificado, precisa ser ensinada de modo que os alunos possam não apenas compreender os conceitos teóricos, mas também aplicá-los a situações reais. A crescente demanda por profissionais de ciências forenses e a necessidade de engajar os alunos em disciplinas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) impulsionam a criação de atividades didáticas que vinculem o conteúdo escolar ao contexto profissional. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo a implementação da área forense dentro do ensino de biologia para proporcionar aos estudantes uma melhor compreensão dessa área da ciência no ambiente escolar. Técnicas práticas como a bioluminescência, extração de DNA e coleta de impressões digitais foram aplicadas em um contexto educacional, proporcionando aos alunos uma experiência tangível do uso dessas metodologias em investigações criminais. A bioluminescência, por exemplo, demonstrou-se eficaz na detecção de vestígios biológicos, enquanto a extração de DNA de morangos e a coleta de impressões digitais mostraram os fundamentos da biologia molecular e da perícia. A integração de atividades práticas no ensino de biologia permitiu aos alunos vivenciarem a ciência forense de maneira acessível, promovendo maior engajamento e compreensão dos conceitos científicos, além de prepará-los para futuras carreiras na área STEM.

Palavras - chave: Ciência forense. Ensino de biologia. STEM.

Abstract

The problem with this study is the lack of methods that connect theory and practice in the teaching of Biology, particularly in emerging areas such as forensic science. Biology, in addition to being a broad and diverse field, needs to be taught in a way that students can not only understand theoretical concepts, but also apply them to real-life situations. The growing demand for forensic

science professionals and the need to engage students in STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) disciplines drive the creation of didactic activities that link school content to the professional context. In this sense, the present study aimed to implement the forensic area within the teaching of Biology to provide students with a better understanding of this area of science in the school environment. In this study, practical techniques such as bioluminescence, DNA extraction and fingerprint collection were applied in an educational context, providing students with a tangible experience of using these methodologies in criminal investigations. Bioluminescence, for example, has proven effective in detecting biological traces, while extracting DNA from strawberries and collecting fingerprints have demonstrated the fundamentals of molecular biology and forensics. Integrating hands-on activities into biology education has allowed students to experience forensic science in an accessible way, fostering greater engagement and understanding of scientific concepts, and preparing them for future careers in STEM.

Keywords: Forensic science. Biology education. STEM.

INTRODUÇÃO

A biologia é a área das ciências naturais dedicada ao estudo sistemático dos seres vivos e dos processos que regem a vida. Mais do que a mera acumulação de fatos, conceitos e princípios, a biologia é entendida como um processo contínuo de investigação e descoberta científica. No ambiente educacional, seu ensino visa capacitar os estudantes a compreender profundamente os conceitos biológicos e a aplicá-los na resolução de problemas pertinentes. Além disso, o ensino de biologia pode promover uma apreciação pelo funcionamento e complexidade da natureza. Reconhecendo a relevância deste campo, é fundamental que os educadores adotem métodos e estratégias pedagógicas eficazes, com o objetivo de maximizar o engajamento dos alunos e proporcionar uma aprendizagem significativa (SYAFII; YASIN, 2013).

Conforme atuantes no ambiente educacional continuam a enfatizar a importância de aumentar o envolvimento dos estudantes do ensino médio associado à ciências, pesquisas recentes sublinham a necessidade de fornecer suporte específico em disciplinas científicas para esses alunos (STAHL et al., 2021). A previsão de crescimento acelerado na demanda por profissionais na área de ciências forenses, superan-

do outras ocupações, tem incentivado a criação de programas e currículos voltados para preparar estudantes para as futuras exigências do mercado de trabalho. Atividades extracurriculares fora do ambiente tradicional de sala de aula têm mostrado impacto positivo no interesse dos alunos por disciplinas de STEM - Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (CHEN; WEI; ZHANG, 2023).

Estudos indicam que acampamentos científicos, por exemplo, promovem atitudes positivas dos alunos em relação à ciência, com ênfase particular na aplicação da ciência forense (BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2023). Adicionalmente, parcerias com universidades locais têm contribuído para o aprofundamento do conhecimento em disciplinas como biologia e ciências da saúde entre estudantes do ensino médio. No entanto, há uma necessidade de mais pesquisas sobre o impacto das atividades de engajamento fora da escola, com foco específico na ciência forense. Iniciativas de enriquecimento além das salas de aula convencionais podem intensificar o interesse dos alunos em STEM, promovendo o desenvolvimento de identidades científicas, especialmente no campo da ciência forense (YOUNG; ORTIZ; YOUNG, 2017).

Nesse sentido, a bioluminescência é um fenômeno natural fascinante, no qual seres vivos têm a capacidade de produzir e emitir luz. Na natureza, essa característica foi mantida ao longo da evolução, especialmente entre organismos marinhos, algumas espécies de bactérias, fungos e insetos terrestres, desempenhando diferentes funções, como caçar presas, afastar predadores e atrair parceiros. Desde 1667, quando Robert Boyle fez um dos primeiros registros científicos sobre a bioluminescência, muitos pesquisadores têm contribuído para desvendar os mecanismos que a controlam, permitindo que esse fenômeno seja adaptado como uma ferramenta poderosa na biotecnologia para visualização, geração de imagens e controle de processos bioquímico (BOYLE, 1668; SYED; ANDERSON, 2021; WIDDER, 2010; OLIVEIRA et al., 2013).

A bioluminescência, a produção e emissão de luz por organismos vivos, têm ganhado atenção crescente na perícia criminal como uma ferramenta inovadora para a detecção de vestígios biológicos (SANTOS; PAULA; KALAPOTHAKIS, 2009). Este fenômeno ocorre devido a reações químicas dentro dos organismos e pode ser utilizado para identificar fluidos corporais e outros traços em cenas de crime. A bioluminescência oferece uma abordagem avançada para a detecção de vestígios biológicos, especialmente em condições em que métodos tradicionais podem falhar. Nesse sentido, compreender e aplicar essa técnica pode melhorar a precisão na identificação e análise de evidências em cenas de crime, contribuindo significativamente para a resolução de casos complexos, bem como pode impulsionar o entendimento da ciência forense no aspecto educacional para adolescentes da educação básica (CHEN; WEI; ZHANG, 2023).

A bioluminescência, fenômeno bioquímico no qual organismos vivos emitem luz, envolve uma reação que tipicamente depende de uma enzima cha-

mada luciferase, de um substrato, a luciferina, e de um oxidante, geralmente o oxigênio molecular. Em alguns casos, há a necessidade de Adenosina Trifosfato (ATP) ou Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo (NADH) como fontes de energia (SUNTSOV; WIDDER; SUTTON, 2020). Um exemplo clássico é a D-luciferina dos vaga-lumes, cuja estrutura foi uma das primeiras a ser identificada. As aplicações da bioluminescência são amplas e variadas, desde a detecção de ATP em processos biológicos, até o controle de higiene industrial, monitoramento ambiental e estudos de interações moleculares (HASTINGS et al., 1995).

No contexto da educação em biologia, esses conhecimentos são de extrema importância, pois proporcionam aos estudantes uma compreensão mais aprofundada dos processos bioquímicos e de suas aplicações práticas em diversas áreas, como saúde, tecnologia e meio ambiente. O ensino de bioluminescência, por exemplo, oferece uma oportunidade única de explorar conceitos como metabolismo, síntese de proteínas e interação entre enzimas e substratos, que são fundamentais para a compreensão dos processos biológicos (REIS, 2023; BEVILÁQUA; SILVA; VIVIANI, 2022).

Além disso, o estudo da estrutura do Ácido Desoxirribonucleico ou DNA, descrito por sua característica dupla hélice e seus nucleotídeos compostos por desoxirribose, grupos fosfato e bases nitrogenadas (adenina, timina, citosina e guanina), é central para a educação em biologia (BIRNBOIM; DOLY, 1979). Esse conhecimento básico é essencial para que os alunos compreendam a genética e a expressão gênica, fundamentais para entender como as características dos organismos são determinadas, como ocorre a síntese proteica e a função das proteínas em processos vitais.

Ao integrar esses conteúdos no currículo de biologia, os educadores podem estimular o desenvolvi-

mento de habilidades críticas, como o pensamento científico, a resolução de problemas e a capacidade de aplicar o conhecimento teórico em contextos práticos. Além disso, essas áreas de estudo fornecem uma base para explorar avanços tecnológicos, como a biotecnologia, e aplicações médicas, preparando os alunos para enfrentar desafios científicos do mundo real. Portanto, a inclusão de temas como bioluminescência e a estrutura do DNA no ensino de biologia contribui para uma formação mais completa e significativa, promovendo a curiosidade científica e a capacidade de inovação entre os estudantes (CHEN; WEI; ZHANG, 2023).

A eletroforese em gel é uma técnica utilizada para separar e analisar moléculas carregadas, como DNA, Ácido Ribonucleico (RNA) e proteínas, com base em seu tamanho e carga. O processo envolve a migração dessas moléculas através de uma matriz de gel sob a ação de um campo elétrico. O princípio da eletroforese é que as moléculas carregadas se movem em direção ao eletrodo com carga oposta. A matriz de gel é normalmente feita de polímeros reticulados, como agarose ou poliacrilamida. Géis de agarose são comumente usados para separar fragmentos de DNA, enquanto os de poliacrilamida são preferidos para a separação precisa de moléculas menores, como proteínas. Esta técnica é amplamente aplicada em diversas áreas de pesquisa, incluindo biologia molecular, genética, ciência forense e bioquímica de proteínas, permitindo a separação e análise de moléculas e fornecendo informações valiosas sobre seu tamanho, quantidade, pureza e características genéticas ou estruturais (SANTOS; SANTIAGO, 2015).

O estudo do DNA possui uma ampla gama de aplicações em diversas áreas. Na medicina, a análise de DNA é utilizada em testes genéticos para diagnosticar doenças hereditárias, identificar predisposições genéticas e desenvolver tratamentos personalizados. Na ciência forense, o perfil de DNA é

usado em investigações criminais e para identificar indivíduos. As técnicas de sequenciamento de DNA transformaram a genômica, permitindo que cientistas investiguem os genomas de diferentes organismos, impulsionando avanços em áreas como biologia evolutiva, biotecnologia e desenvolvimento de novos medicamentos (STRACHAN; READ, 2011).

Atualmente, há um número crescente de aplicações que utilizam sistemas de reconhecimento de impressões digitais, como para acessar celulares, monitorar a presença de funcionários em uma empresa e, em investigações forenses, para obter a identificação inequívoca de um indivíduo. Os avanços tecnológicos no processamento de impressões digitais permitem que métodos de captura, armazenamento e comparação sejam mais acessíveis financeiramente hoje, permitindo que uma parcela significativa da população use essas tecnologias (NACHAR et al., 2020).

A coleta de impressões digitais é uma técnica essencial na perícia criminal utilizada para identificar indivíduos e resolver casos de crimes. As impressões digitais são únicas para cada pessoa e permanecem inalteradas ao longo da vida, tornando-as uma ferramenta crucial para a identificação e autenticação de indivíduos (ZHOU; HU; WANG, 2017). Nesse sentido, o presente trabalho visou analisar os aspectos da experimentação na área da ciência forense com metodologias didáticas para enfatizar a importância da relação teoria e prática no contexto escolar, com o objetivo de explorar e promover a compreensão da aplicação do estudo do DNA em técnicas forenses dentro do contexto escolar, destacando sua importância na detecção de vestígios biológicos e na investigação criminal de uma forma didática e acessível.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no laboratório de biologia do Colégio em Tempo Integral Osvaldo

da Costa Meireles, localizado no município de Luziânia, no estado de Goiás. O trabalho foi produzido durante os semestres eletivos de 2024 na unidade escolar. A pesquisa foi desenvolvida sob orientação da professora de biologia e realizada pelos estudantes. A plataforma de busca Google Acadêmico, foi a base para a pesquisa teórica do projeto.

Para o efeito de simulação de uma cena de crime contendo sangue, utilizamos uma mistura com peróxido de hidrogênio (água oxigenada) 40 volumes, e luminol (um éter) para a reação de quimioluminescência, adquiridos através de pulseiras neon alto brilho vendidas em comércio eletrônico. Para efeitos intensificação da reação de luminosidade, foi adicionado 0,5g de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) a mistura e deixados a temperatura ambiente (BARNI et al., 2007). A cena do crime foi analisada tanto com luz visível quanto em luz ultravioleta, com o comprimento de onda variante entre 400 nm e 100 nm. As imagens das cenas e das reações químicas foram utilizadas como aspectos de resultados para esse trabalho.

Para a extração de DNA, foram utilizadas 4 unidades de morangos médios. Estes foram macerados com auxílio de um cadinho e um pistilo. Após esse processo, foi adicionado 3 mL de detergente incolor e 2 g de sal de cozinha. Essa mistura foi agitada e deixada sob a bancada por 5 minutos a temperatura ambiente. Após esse período, essa mistura foi transferida para uma proveta de 50 mL. Foi adicionado à solução de precipitação gelada (álcool etílico 70% 5 °C). A mistura foi deixada sob a bancada e o registro do processo da extração do DNA foi realizado para comprovação do experimento (LOLGE; AGHADTE, 2023). Para o experimento de mimetização do gel de eletroforese, foi utilizado 20 g de gelatina incolor solubilizada em água quente. Após a polimerização da gelatina, foram utilizadas tintas fluorescentes para mimetizar a reação do DNA com

a luz ultravioleta, e a luz UV para intensificar a visualização da tinta.

As superfícies de coletas de materiais foram higienizadas, com o objetivo de remover qualquer resíduo ou contaminante que possa interferir no processo. Foi adicionado uma quantidade de tinta na almofada de impressão e pressionou-se o dedo indicador na superfície da almofada até que esteja completamente coberto de tinta. Em seguida, o dedo foi pressionado sobre o cartão de coleta de impressões digitais, garantindo que a impressão ficasse clara e completa. Após esse processo, foi aplicado uma pequena quantidade de pó revelador sobre a superfície onde a impressão digital foi deixada, utilizando um pincel fino para espalhar o pó delicadamente. Nesse trabalho, o pó revelador foi utilizado o pó solto de maquiagem. A fita adesiva transparente foi utilizada para levantar a impressão digital revelada pelo pó e transfira-a cuidadosamente para o cartão de coleta. Após a coleta, examinou-se as impressões digitais sob uma lupa para observar os detalhes específicos, como cristas, sulcos e outras características únicas. Os dados foram registrados e comparados com as impressões digitais. No total foram anotadas 20 impressões digitais de diferentes indivíduos presente dentro do ambiente escolar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os reagentes bioluminescentes foram aplicados em amostras coletadas de diferentes superfícies e fluidos corporais. A bioluminescência foi efetivamente detectada em locais com presença de sangue e outros fluidos, demonstrando a eficácia da técnica na visualização de vestígios invisíveis a olho nu, como observado na figura 1. A simulação demonstrou a utilidade da bioluminescência na identificação de fluidos corporais em condições controladas. A técnica mostrou-se particularmente

eficaz para localizar vestígios em superfícies não absorventes e em ambientes com baixa iluminação. A capacidade da bioluminescência de revelar traços invisíveis aumenta a precisão da perícia, permitindo uma análise mais detalhada e confiável. No ensino de ciências forenses, por exemplo, a bioluminescência pode ser usada para demonstrar técnicas de detecção de fluidos corporais ou vestígios que seriam invisíveis a olho nu, permitindo aos alunos experimentarem a aplicação direta da ciência na resolução de problemas. Isso não só tor-

na o aprendizado mais engajador, como também destaca a importância do método científico e a relação entre ciência e justiça.

Além disso, a bioluminescência pode ser explorada em experimentos relacionados à biotecnologia, ao estudo de organismos marinhos e até a conservação ambiental, promovendo um ensino interdisciplinar. Esses experimentos podem também incentivar a curiosidade científica, despertar o interesse em carreiras nas ciências e desenvolver habilidades práticas e analíticas nos alunos.



Figura 1. Simulação de uma cena de crime com o corpo com luz ultravioleta (A) e com luz visível (C). Cena do crime simulada com a luz ultravioleta (B) e o reagente luminol com 0,5 g de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) na ausência de luz (D).

O processo de extração resultou na formação visível de um precipitado branco e filamentosos, que é o DNA, na interface entre a solução de lise e o álcool. O DNA foi facilmente visualizado (seta figura 2) e coletado usando um bastão de vidro (Figura 2). A simulação mostrou que o DNA pode ser extraído de morangos, que possuem várias células e são ricos em DNA. A técnica demonstrada é simplificada em comparação com métodos profissionais, mas fornece uma base sólida para entender o processo no próprio ambiente escolar. A eficiência da extração depende de

fatores como a concentração da solução de lise e a temperatura do álcool. O gel de agarose permitiu que os alunos visualizem a separação de fragmentos de DNA com base em seu tamanho, o que é realizado com a técnica da eletroforese em gel, quando aplicada, possibilita que eles observem diretamente como as moléculas de DNA migram no gel sob a influência de um campo elétrico. Isso torna conceitos abstratos, como a polaridade das moléculas e o tamanho do DNA, mais compreensíveis por meio da experiência prática (SAMBROOK; RUSSELL, 2001).

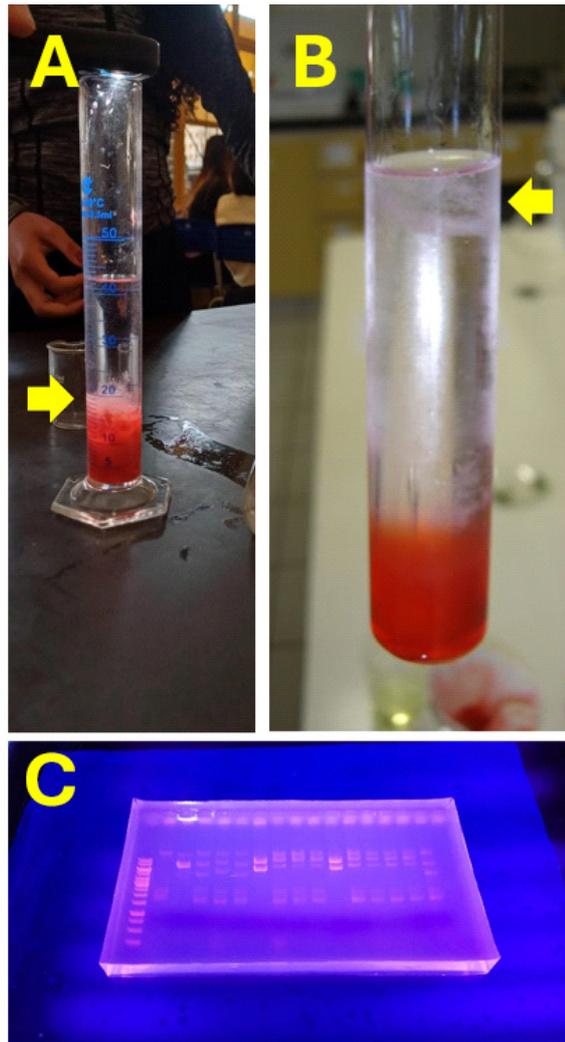


Figura 2. Processo de extração de DNA do morango (A e B). Observação do DNA filamentosos (setas). Análise da mimetização de um gel de agarose com tinta fluorescente (C).

A extração de DNA é uma técnica essencial na biologia molecular, com aplicações amplamente relevantes, especialmente na ciência forense. O DNA, como material genético, carrega as informações hereditárias dos organismos e desempenha um papel central na identificação de indivíduos, sendo um recurso valioso na resolução de crimes (LOLGE; AGHADTE, 2023). No contexto educacional, simulações práticas, como a extração de DNA de morangos, proporcionam uma abordagem acessível e ilustrativa para que os alunos compreendam o processo biológico e técnico envolvido. Esse tipo de ati-

vidade é fundamental para introduzir os estudantes às metodologias utilizadas em investigações forenses, oferecendo uma visão prática de como o DNA pode ser aplicado na ciência criminal. A introdução dessa técnica no ensino de biologia possibilita uma conexão direta entre a teoria genética e suas aplicações no mundo real, despertando o interesse dos alunos por áreas como biotecnologia e ciências forenses.

Além disso, a coleta de impressões digitais, abordada por meio de dois métodos – com tinta e com pó – oferece uma compreensão mais ampla das técnicas forenses. O método com tinta resulta em impressões digitais nítidas e visíveis, sendo eficaz em amostras mais acessíveis. Já o método com pó é crucial para revelar impressões latentes em superfícies não absorventes, demonstrando aos alunos a importância de diferentes abordagens para diferentes tipos de evidências. A figura 3.A exemplifica a revelação de uma impressão digital utilizando pó de maquiagem, enquanto a figura 3.B ilustra o processo de comparação e análise das especificidades de cada amostra coletada. Essas simulações fornecem uma visão prática das técnicas forenses e evidenciam a necessidade de rigor, precisão e cuidado durante a coleta e análise de evidências, aspectos essenciais em investigações criminais.

No âmbito do ensino de biologia, a inclusão de atividades práticas como a extração de DNA e a coleta de impressões digitais permite aos alunos explorar o papel da ciência na aplicação da lei, promovendo um aprendizado ativo e integrado. Essas experiências enriquecem a compreensão dos estudantes sobre os métodos científicos e suas aplicações tecnológicas, ao mesmo tempo que os preparam para compreender a importância da precisão técnica e da integridade na coleta e análise de dados biológicos. Tais abordagens são fundamentais para o desenvolvimento de competências investigativas e analíticas, essenciais para futuros profissionais em áreas relacionadas à biologia, genética e ciências forenses.

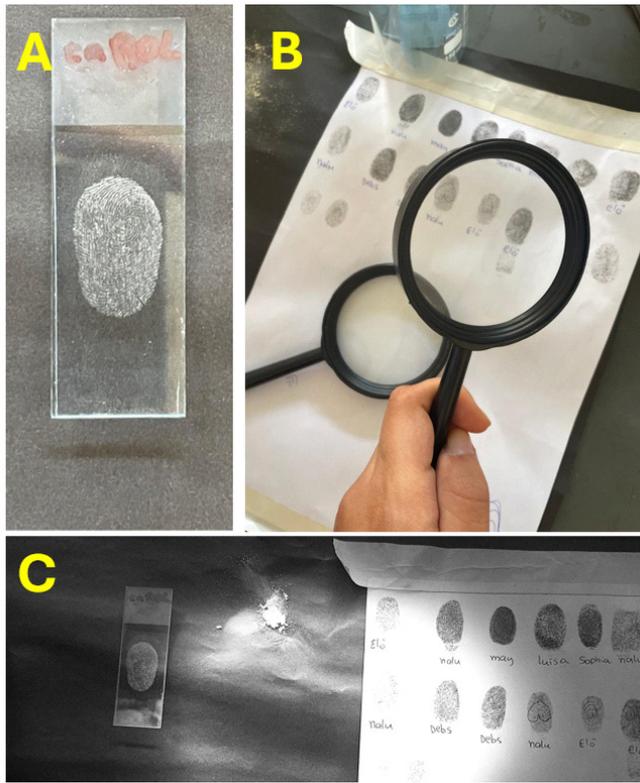


Figura 3 Apresentação da impressão digital com revelação com pó de maquiagem. Análise comparativa das impressões digitais dos diferentes indivíduos (B e C).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da bioluminescência demonstrou-se eficaz na identificação e visualização de vestígios biológicos com alta precisão, fornecendo aos alunos uma compreensão aprofundada sobre o uso dessa técnica em perícias criminais. No contexto educacional, o ensino da bioluminescência ofereceu uma oportunidade valiosa para explorar métodos avançados de detecção de evidências, além de ressaltar sua relevância na resolução de casos forenses complexos. Ao incorporar esse conteúdo no ensino de biologia, os estudantes puderam entender como as inovações científicas impactam diretamente o campo das ciências forenses, promovendo o desenvolvimento de competências técnicas. A simulação

de extração de DNA de morangos, realizada com sucesso, serviu como uma ferramenta prática e ilustrativa para demonstrar a viabilidade de técnicas básicas de biologia molecular no ambiente educacional. Essa atividade permitiu aos alunos compreender de maneira tangível o processo de extração de DNA, um procedimento fundamental em investigações forenses. Ao integrar essa técnica no currículo, os educadores fornecem uma base sólida para que os estudantes compreendam os princípios da biologia molecular, facilitando a ligação entre a teoria genética e sua aplicação prática, especialmente na ciência forense.

A coleta de impressões digitais também foi realizada com sucesso, demonstrando a aplicação prática dos métodos de captura e análise de impressões em investigações criminais. Esta atividade proporcionou aos alunos uma visão detalhada da importância das impressões digitais na perícia criminal e da precisão necessária em sua coleta. Ao ensinar esses métodos, o educador pode enfatizar a relevância da exatidão técnica e do rigor científico na identificação de indivíduos e na resolução de crimes.

Essas atividades práticas, incluindo bioluminescência, extração de DNA e coleta de impressões digitais, foram essenciais para o ensino de biologia, pois conectam o conhecimento teórico com aplicações do mundo real. Elas permitiram que os estudantes desenvolvam habilidades investigativas, analíticas e técnicas, preparando-os para futuros desafios em áreas como biotecnologia, genética e ciências forenses. O uso de simulações em sala de aula fortaleceu a compreensão dos alunos sobre o papel da ciência na sociedade, incentivando o aprendizado ativo e promovendo a curiosidade científica.

REFERÊNCIAS

BARNI, F. et al. Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. **Talanta**, v. 72, n. 3, p. 896-913, 2007.

BEVILAQUA, V. R.; SILVA, J. R.; VIVIANI, V. R. Demonstração bioluminescente de ATP com luciferase recombinante de vagalume (*Amydetes vivianii* Silveira & Mermudes, 2014) em aulas práticas de bioenergética. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 20, n. 2, p. 209-228, 2022.

BIRNBOIM, H.; DOLY, J. A rapid alkaline extraction procedure for screening recombinant plasmid DNA. **Nucleic Acids Research**, v. 7, n. 6, p. 1513–1523, 1979.

BOYLE, R. New experiments concerning the relation between light and air (in shining wood and fish). **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 2, p. 581–600, 1668.

BUREAU OF LABOR STATISTICS, U.S. Department of Labor. Occupational Outlook Handbook, Forensic Science Technicians. Disponível em: <https://www.bls.gov/ooh/life-physical-and-social-science/forensic-science-technicians.htm>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CHEN, S.; WEI, B.; ZHANG, H. Exploring high school students' disciplinary science identities and their differences. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 21, n. 2, p. 377-394, 2023.

REIS, D. P. Atividade lúdica nas aulas de ciências: diferenciando a bioluminescência da luz emitida a partir de corrente elétrica. **Gestão & Educação**, v. 6, n. 08, p. 13-19, 2023.

HASTINGS, L. Y. et al. A novel method based on deep learning for aligned fingerprints matching. **Applied Intelligence**, v. 50, p. 397-416, 2020.

LOLGE, V.; AGHADTE, G. Extraction of Fruit DNA. **International Journal of Public Mental Health and Neurosciences**, v. 10, n. 2, p. 1-5, 2023.

NACHAR, R. et al. Hybrid minutiae and edge corners feature points for increased fingerprint recognition performance. **Pattern Analysis and Applications**, v. 23, n. 1, p. 213-224, 2020.

OLIVEIRA, A. G. et al. Bioluminescência de fungos: distribuição, função e mecanismo de emissão de luz. **Química Nova**, v. 36, p. 314-319, 2013.

SAMBROOK, J.; RUSSELL, D. W. **Molecular Cloning: A Laboratory Manual**. 3rd ed. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001.

SANTOS, M.; SANTIAGO, M. A. C. Difusão da Ciência: Oficinas em Biologia Molecular para professores e alunos do ensino médio no município de Passos (MG) e seu entorno. **Ciência ET Praxis**, v. 8, n. 16, p. 7-12, 2015.

SANTOS, V. R. D.; PAULA, W. X.; KALAPOTHAKIS, E. Influence of the luminol chemiluminescence reaction on the confirmatory tests for the detection and characterization of bloodstains in forensic analysis. **Forensic Science International: Genetics Supplement Series**, v. 2, n. 1, p. 196-197, 2009.

STAHL, G.; SCHOLLES, L.; MCDONALD, S.; LUNN, J. Middle years students' engagement with science in rural and urban communities in Australia: Exploring science capital, place-based knowledges and familial relationships. **Pedagogy, Culture and Society**, v. 29, n. 1, p. 43-60, 2021.

STRACHAN, T.; READ, A. P. **Human Molecular Genetics**. 4th ed. New York: Garland Science, 2011.

SUNTSOV, A. V.; WIDDER, E. A.; SUTTON, T. T. **Bioluminescence**. In: FISH LARVAL PHYSIOLOGY. CRC Press, 2020. p. 51-88.

SYAFII, W.; YASIN, R. M. Problem solving skills and learning achievements through problem-based module in teaching and learning biology in high school. **Asian Social Science**, v. 9, n. 12, p. 220-228, 2013.

SYED, A. J.; ANDERSON, J. C. Applications of bioluminescence in biotechnology and beyond. **Chemical Society Reviews**, v. 50, n. 9, p. 5668-5705, 2021.

WIDDER, E. A. Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity. **Science**, v. 328, n. 5979, p. 704-708, 2010.

YOUNG, J.; ORTIZ, N.; YOUNG, J. STEMulating Interest: A Meta-Analysis of the effects of out-of-school time on student STEM interest. **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 62-74, 2017.

ZHOU, W.; HU, J.; WANG, S. Enhanced locality-sensitive hashing for fingerprint forensics over large multi-sensor databases. **IEEE Transactions on Big Data**, v. 7, n. 4, p. 759-769, 2017.