




## INVESTIGAÇÃO CRIMINAL COMO CONTEXTO GERADOR PARA A APRENDIZAGEM DE GENÉTICA

### CRIMINAL INVESTIGATION AS A GENERATIVE CONTEXT FOR GENETIC LEARNING

Fabricio Luís Lovato<sup>1</sup>   
Elgion Lúcio da Silva Loreto<sup>2</sup>   
Lenira Maria Nunes Sepel<sup>3</sup> 

#### Resumo

A Ciência Forense é uma área interdisciplinar que oferece suporte às investigações relativas à justiça civil e criminal, permitindo confirmar a autoria ou descartar o envolvimento do(s) suspeito(s). Graças à TV, nunca foi tão popular. O programa *CSI*, em especial, é famoso internacionalmente, abordando alguma forma de conhecimento científico na maioria dos episódios, com a finalidade de se resolver algum crime. A participação do aluno em atividades de investigação também requer a interpretação de evidências, o que possibilita o envolvimento em discussões com os colegas, a ponderação de diferentes fontes de informação e a consideração de outros pontos de vista. Esse artigo apresenta uma sequência didática de atividades de investigação e experimentação, baseada nas séries investigativas e teve como objetivo a revisão e a aplicação do aprendizado das aulas teóricas sobre Genética. Foi aplicada a uma turma do 8º ano do Ensino Fundamental, sendo apontada pelos próprios alunos como um método de ensino diferenciado em relação ao que estão acostumados e facilitador da compreensão dos conteúdos conceituais vistos em aula.

**Palavras-chave:** Investigação Criminal; Experimentação; Genética.

#### Abstract

Forensic Science is an interdisciplinary area that supports civil and criminal justice investigations, allowing authors to confirm authorship or rule out involvement of the suspect(s). Thanks to the TV, it has never been so popular. The *CSI* program, in particular, is internationally famous, approaching some form of scientific knowledge in most episodes, in order to solve some crime. Student participation in research activities also requires the interpretation of evidence, which enables involvement in discussions with classmates, the weighting of different sources of information and consideration of other points of view. This article presents a didactic sequence of investigation and experimental activities, based on the investigative series and aimed at reviewing and applying of the learning of the theoretical lessons on Genetics. It was applied to a group of the 8th grade of Elementary School, being pointed out by the students themselves as a differentiated teaching method from what they are accustomed and facilitator of the understanding of the conceptual contents seen in class.

**Keywords:** Criminal Investigation; Experimentation; Genetics.

---

<sup>1</sup> Doutor em Educação em Ciências, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. Professor no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul), câmpus CaVG, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Doutor em Genética e Biologia Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. Professor na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS

<sup>3</sup> Doutora em Educação em Ciências, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. Professora da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria RS.

## Introdução

Os professores de Ciências da Natureza e disciplinas relacionadas têm sido cada vez mais conduzidos a buscar formas de renovar a contextualização para motivar o aluno no estudo, repensando suas práticas pedagógicas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2007). Para uma renovação do ensino de Ciências, necessita-se não apenas uma renovação epistemológica dos professores, mas uma renovação didático-metodológica de suas aulas (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

Atividades de investigação possibilitam aos alunos identificar alguma questão interessante a ser resolvida. A solução deve requerer reflexão e uma tomada de decisões sobre os passos seguintes a serem seguidos (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

A Genética é percebida, de forma geral, pelos estudantes como um dos assuntos mais difíceis de serem entendidos entre os conteúdos científicos. As dificuldades de compreensão surgem da própria natureza dos conceitos, como por exemplo, ‘DNA’, ‘proteína’ ou ‘gene’, que não fazem parte do cotidiano dos alunos. Além disso, concepções prévias interferem na construção de novos conhecimentos, causando a sua distorção (CID; NETO, 2005). Por isso, métodos didáticos inovadores tornam-se ferramentas promissoras no ensino de Genética, complementando o conteúdo teórico, permitindo uma maior correlação com a prática e melhorando o processo de ensino-aprendizagem (MARTINEZ; FUJIHARA; MARTINS, 2008).

A utilização de temas televisivos no processo de ensino-aprendizagem torna-o mais motivador, ao permitir que as emoções e prazer do aluno sejam transformados em reflexão. Alcançar os aspectos racionais e reflexivos dos estudantes partindo-se das emoções geradas pela TV é uma utilização adequada dos meios audiovisuais na escola (FERRÉS, 1996).

Programas de cunho pericial começaram a ser exibidos nos canais de televisão a cabo a partir de meados da década de 1990. Séries como *Medical Detectives* e *Arquivos do FBI* foram exibidas e despertaram grande interesse do público (FILHO; ANTEDOMENICO, 2010). Desde então, as tecnologias de investigação forense têm se tornado cada vez mais sofisticadas. Enquanto os primeiros métodos de análise de DNA ao final dos anos 80 exigiam amostras do tamanho de uma moeda, os métodos modernos já são capazes de analisar nanogramas (HOUCK, 2006).

A Ciência Forense é uma área interdisciplinar que oferece suporte às investigações relativas à justiça civil e criminal, permitindo confirmar a autoria ou descartar o envolvimento do(s) suspeito(s). As técnicas empregadas possibilitam responder, com relativa precisão, se uma pessoa, por exemplo, esteve ou não na cena do crime (SEBASTIANY *et al.*, 2013). Recentemente, surgiu um grande número de séries televisivas que utilizam princípios científicos

para investigações ligadas à área criminal, desencadeando um renovado interesse por essa temática (HOUCK, 2006). Essa divulgação da ciência forense nas mais diversas mídias permite que grande quantidade dos alunos tenha acesso ao seu conteúdo (ROSA; SILVA; GALVAN, 2014). A utilização de uma série de investigação criminal pode assim servir para desencadear uma atividade de caráter instigante e construir ou consolidar conhecimentos pela interação com os conceitos discutidos na sala de aula (GARCÍA BORRÁS, 2005).

A Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), apresenta como algumas das competências gerais a serem desenvolvidas nas três áreas da Educação Básica (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio) o exercício da curiosidade intelectual e a utilização da abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, investigando causas, elaborando e testando hipóteses e formulando e resolvendo problemas. O presente artigo analisa a aplicação, no Ensino Fundamental, de uma proposta de sequência didática para o ensino de Genética, inspirada nos seriados de investigação criminal e contextualizada a partir de atividades experimentais relacionadas à Genética forense.

## **Metodologia**

A atividade foi realizada em uma turma de 29 alunos do 8º ano do Ensino Fundamental, em uma escola da rede privada no município de Santa Maria, RS. A turma era composta por 12 meninos e 17 meninas, com idades variando entre 12 e 14 anos. Os alunos foram divididos, por afinidade, em seis equipes. A realização de todas as atividades ocupou 12 horas-aula, ocorrendo nos períodos da disciplina de Ciências, que acontecem três vezes por semana.

Após a aplicação do questionário (item “a” da Metodologia), os alunos tiveram aulas teóricas onde aprenderam sobre os conceitos e fenômenos básicos da disciplina da Genética: hereditariedade, DNA, RNA, nucleotídeos, bases nitrogenadas, cromossomo, cariótipos diploides e haploides, genótipo e fenótipo, genes dominantes e recessivos, tipos sanguíneos, heredogramas, mutações e resoluções de exercícios simples utilizando quadros de Punnett. Toda a atividade transcorreu, portanto, como ferramenta de revisão e aplicação dos conhecimentos científicos obtidos em aula.

### **a) Questionário aplicado aos alunos**

Antes do início das atividades, um questionário foi entregue aos alunos com as seguintes questões:

1. Sexo biológico:  Masculino  Feminino
2. Você já assistiu a seriados de investigação criminal?

3. Você gosta de seriados de investigação criminal?
  4. Quais seriados você já assistiu?
  5. Você gostaria de participar de uma simulação de investigação criminal? Por quê?
  6. O que você entende quando ouve a palavra “DNA”?
  7. Há alguma relação entre DNA e a investigação de crimes?
- Não era necessária a identificação do aluno na ficha de perguntas.

## b) Interpretação da cena do crime

O cenário de um crime foi preparado no laboratório de Ciências da escola, com vários vestígios para serem investigados pelos alunos (Figura 1). Ao chegarem no ambiente do crime, os alunos ouviram a história de como “Maria Eduarda” (nome fictício) havia sido encontrada morta pela polícia após a saída da escola. A cena consistia em: uma boneca (simbolizando a menina assassinada); tinta vermelha (representando o sangue), sobre a boneca e o chão, formando um rastro de pegadas; uma faca limpa; a bituca de um cigarro; e um bilhete dobrado com a seguinte mensagem, escrita com letras recortadas de revistas: “*Você destruiu minha vida. Agora eu destruí a sua.*” O cenário estava isolado com fita para demarcação zebraada.

**Figura 1:** Cenário do crime preparado na escola. Em destaque: bilhete, faca e bituca de cigarro.



**Fonte:** Autores

Em um primeiro momento, os alunos não podiam ultrapassar a fita, devendo analisar a cena externamente. Conforme discutido previamente, isso foi feito para que ocorresse a mínima interferência nas evidências deixadas. Cada grupo deveria relatar por escrito todas as “pistas” do cenário que poderiam ser utilizadas para a resolução do crime, e entregar ao professor. A seguir, foi permitido que entrassem no cenário e o analisassem de forma mais próxima. Na aula seguinte, foi entregue às equipes uma lista com os nomes e descrições de cinco suspeitos do crime.

### c) Teste presuntivo de sangue

Os chamados testes presuntivos identificam a presença de sangue, mesmo que este não esteja visível, baseados em reações de oxidação. No começo dessa etapa, os alunos assistiram a um trecho do episódio 11 da quinta temporada da série *CSI: Miami*, o qual demonstra a utilização do reagente luminol, que provoca uma reação chamada quimiluminescência.

Outro teste dessa categoria é o que utiliza o reagente chamado Kastle-Meyer. O teste foi realizado pelos alunos para determinar se a faca encontrada (a qual, aparentemente, estava limpa), pode ter sido realmente a arma utilizada no crime.

O reagente foi preparado pelo professor, utilizando uma solução de hidróxido de sódio (20 g de NaOH adicionados à 90 ml de água destilada), na qual se adicionou 1 g de fenolftaleína dissolvida em 10 ml de etanol. Com a adição de 20 g de pó de zinco metálico à solução e aquecendo-a, a cor vermelha desaparece, tornando-se incolor (FILHO; ANTEDOMENICO, 2010).

Previamente, o professor realizou cortes com a faca da cena do crime em um pedaço de carne, para que moléculas de sangue aderissem à sua lâmina. Foi pedido aos alunos que passassem na faca um cotonete levemente umedecido em solução fisiológica, e pingassem sobre ele uma gota do reagente de Kastle-Meyer e uma gota de água oxigenada (Figura 2). A visualização da mudança de cor (de incolor para avermelhado) indica a presença de sangue (FILHO; ANTEDOMENICO, 2010).

**Figura 2:** Alunos realizando o teste Kastle-Meyer.



**Fonte:** Autores.

### d) Tipagem sanguínea

Na aula seguinte, os alunos lembraram os princípios de tipagem sanguínea (levando em conta o sistema ABO), a qual responde à pergunta: como podemos determinar se o sangue de

uma pessoa é A, B, AB ou O? Os alunos foram informados de que o tipo sanguíneo de “Maria Eduarda” era A. Os “vestígios de sangue” encontrados na faca deveriam ser identificados com precisão, para que o tipo fosse comparado com o de “Maria Eduarda”.

Para a simulação do sangue nessa atividade, utilizou-se leite misturado ao corante safranina (poderiam ser utilizados outros corantes, ou mesmo beterraba). Cada equipe deveria pingar uma gota deste leite em cada uma das duas extremidades de uma lâmina de vidro de microscopia. Em seguida, adicionou-se a uma das “gotas de sangue” uma gota de vinagre diluído em água (50%), representando uma solução de anticorpos anti-A, e na outra “gota de sangue” uma gota de água sem vinagre, representando uma solução de anticorpos anti-B (adaptado de ESQUISSATO; ARRUDA; SOARES, 2007).

Na segunda parte dessa atividade, como um complemento para reforço do conteúdo de Genética, cada equipe deveria relatar por escrito e entregar ao professor todas as possibilidades de genótipos sanguíneos dos pais de “Maria Eduarda”, a fim de que ela nascesse com o seu tipo sanguíneo específico.

#### **e) Extração de DNA de morango**

A coerência entre o tipo sanguíneo (de acordo com o sistema ABO) da vítima e o sangue encontrado na faca ainda não comprova que o sangue realmente é dela; milhões de pessoas possuem o mesmo tipo sanguíneo. Uma resposta mais exata poderia ser dada extraindo-se e analisando-se as sequências das moléculas de DNA das amostras (REECE *et al.*, 2015).

Optou-se pela extração de DNA de morango, a fim de simular o sangue por causa da cor vermelha. As equipes realizaram o procedimento no Laboratório de Ciências da escola. Para essa atividade, foi empregado o protocolo produzido pelo Centro de Estudos do Genoma Humano da Universidade de São Paulo (USP), disponibilizado na internet (DESSEN; OYAKAWA, 2007). Os morangos foram providenciados pelas equipes, e os demais instrumentos e reagentes (colheres, béqueres, tubos de ensaio, bastões de madeira, coadores de café, sal de cozinha, detergente e álcool etílico) foram disponibilizados pela escola.

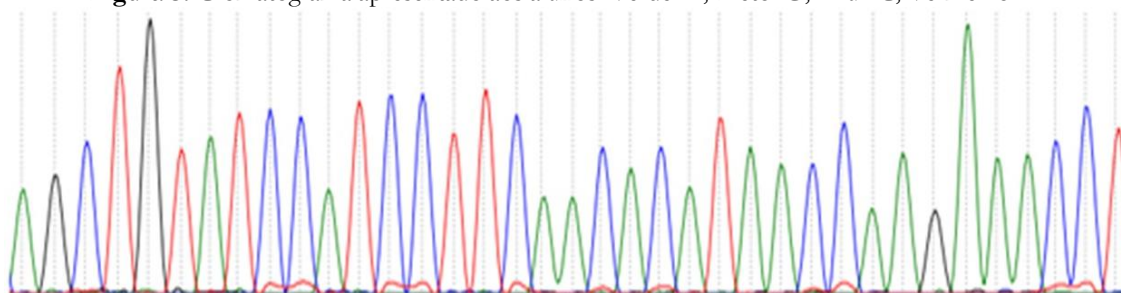
#### **f) Cromatografia e sequenciamento genético**

Após a extração do DNA, este deve ser sequenciado, ou seja, deve-se determinar sua sequência de nucleotídeos, a qual é única para cada pessoa. No moderno sequenciamento automatizado, utilizam-se marcadores fluorescentes que são detectados e analisados por cromatografia. A emissão de cores distintas em distintos comprimentos de onda permite descobrir a identidade de cada nucleotídeo (NELSON; COX, 2011).

No início dessa etapa, os alunos assistiram a um trecho do episódio 21 da terceira temporada da série *CSI: Miami*, no qual a técnica de cromatografia é realizada. Cada equipe recebeu três corantes alimentícios, nas cores amarelo, verde e azul, bem como tiras retangulares de papel filtro. Os alunos deveriam adicionar em cada tira o pingo de um dos corantes, cerca de 1 cm da parte inferior do papel. Após a preparação, deveriam colocar o papel em um copo de plástico contendo álcool etílico e observar e registrar o que ocorreria (SILVA; ROSA, 2013).

A seguir, foi projetada para os alunos a imagem de um cromatograma de DNA (Figura 3). Após receberem uma explicação sobre como cada cor correspondia a um nucleotídeo específico, cada equipe deveria escrever a sequência de nucleotídeos obtida, bem como a da fita complementar, e compará-las com uma sequência mais longa fornecida pelo professor, pertencente à “Maria Eduarda” (Figura 4).

**Figura 3:** Cromatograma apresentado aos alunos. Verde: A; Preto: G; Azul: C; Vermelho: T.



Fonte: <goo.gl/LTbRi9>.

**Figura 4:** Sequência de nucleotídeos pertencente à Maria Eduarda, entregue às equipes.

TCCTATTGCATGTCAATTGCATATATTTGCATCAGCTGT  
 ATCCATCCTTCAACACATAACCAAGAAACCTTGACACAG  
 TCATTATATCCGATCGATTDATATATCTATATCCAGCTA

Fonte: Autores.

### **g) Detecção de impressões digitais**

Dentre as várias técnicas disponíveis para o procedimento de detecção de impressões digitais, optou-se pela técnica do vapor de iodo, uma das mais antigas e simples (SILVA; ROSA, 2013). O professor preparou a amostra utilizando o dedo polegar embebido em óleo vegetal, em um pedaço de papel filtro, simulando uma digital encontrada na faca da cena do crime. A seguir, a amostra foi colocada dentro de um frasco erlenmeyer contendo uma pequena quantidade de tintura de iodo (líquido), o qual foi fechado e aquecido. Apenas o professor realizou a atividade, de forma demonstrativa, para a segurança dos estudantes.

A seguir, e para fins didáticos, a imagem impressa em papel de uma impressão digital foi entregue aos alunos e eles deveriam compará-la com as dos vários suspeitos, cujas imagens (retiradas de bancos de imagens gratuitas) também foram disponibilizadas pelo professor (Figura 5).

**Figura 5:** Impressões digitais dos suspeitos.



**Fonte:** Imagens Stock da Adobe. Legenda adicionada pelos autores.

#### **h) Simulação de Eletroforese**

A Eletroforese é uma técnica de estudo molecular simples e eficiente para a análise de proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA), por meio da aplicação de um campo elétrico em um gel. Possui a vantagem de tanto permitir a visualização como a separação de moléculas da amostra. Como a sequência dos nucleotídeos da molécula de DNA é única para cada pessoa (excetuando os casos de gêmeos idênticos), a eletroforese do DNA encontrado na cena do crime e do DNA do(s) suspeito(s), realizada pelo perito forense, permite a comparação de ambos. Havendo correspondência nos padrões, fica demonstrada a autoria do crime (NELSON; COX, 2011).

Ao início dessa etapa, os alunos assistiram a um trecho do episódio 20 da terceira temporada da série *CSI: NY*, no qual aparecem imagens referentes às bandas de DNA resultantes da eletroforese. Para o procedimento, foram seguidas as orientações de Loreto e Sepel (2002), com algumas adaptações. O tampão TAE, o gel de agarose, a réplica de uma cuba eletroforética construída com materiais de fácil acesso e uma fonte de alimentação com a voltagem de 100 volts foram gentilmente concedidos pelo Laboratório de Biologia Molecular e Sequenciamento da Universidade Federal de Santa Maria. Utilizaram-se corantes alimentares para a simulação de moléculas de DNA, as quais foram supostamente extraídas da saliva encontrada no cigarro deixado na cena do crime e comparado com os padrões de DNA obtidos dos “suspeitos”.

O gel foi produzido pesando-se 0,8 g de agarose e dissolvendo em 100 mL do tampão aquecido. A solução foi transferida para uma pequena caixa de plástico, onde foi encaixada a uma



régua (com oito dentes de cerca de 0,5 cm x 0,5 cm, cortados com uma serra para cortar ferro) para se criar os poços. O gel foi mantido por cerca de duas horas sob refrigeração para obter consistência firme. Após essa etapa, a caixa com o gel foi colocada dentro da cuba eletroforética, na qual se verteu cerca de 400 mL do tampão TAE, de modo a cobrir completamente os fios de aço inox, até a altura do gel. O corante líquido, o qual deveria simular amostras de DNA, foi dissolvido em glicerina, de modo a aumentar a sua densidade e evitar a sua dispersão no tampão e, a seguir, foi aplicado nos poços do gel utilizando-se pipeta de Pasteur de plástico.

Ao final da simulação, as equipes receberam uma imagem simulando os padrões de bandas encontradas no teste, os quais também deveriam ser comparados com os dos suspeitos.

**Figura 6:** Simulação de sistema eletroforético.



**Fonte:** Autores.

### **i) Avaliação dos alunos e da atividade**

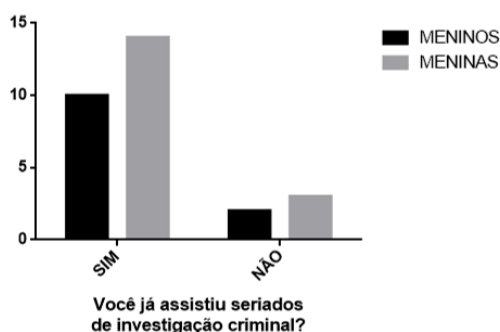
Os alunos foram avaliados ao longo do desenvolvimento de todo o projeto, em termos conceituais, procedimentais e atitudinais, por meio de sua participação na realização dos experimentos e construções propostas e nas discussões. Foi também solicitada às equipes, como atividade avaliativa, a produção de um relatório com a descrição e os resultados de todas as etapas. Ao final, os alunos foram solicitados a escrever, de forma anônima, a respeito de suas impressões sobre toda a atividade.

## **Resultados e Discussão**

### **a) Questionário aplicado aos alunos**

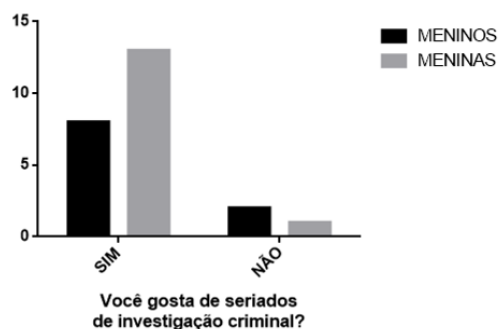
Observando-se as Imagens 7 e 8, pode-se perceber que a maior parte dos alunos, tanto meninos quanto meninas, já tiveram a oportunidade de assistir a seriados de investigação criminal, bem como se interessam grandemente pelo gênero.

**Figura 7:** Respostas à Pergunta 2.



Fonte: Autores.

**Figura 8:** Respostas à Pergunta 2.



Fonte: Autores.

Em relação à quarta questão, os nomes de 17 seriados diferentes foram mencionados pelos alunos, sendo *CSI*, *Criminal Minds* e *Chicago P.D.* os que apareceram com a maior frequência. Na quinta pergunta, todas as meninas responderam que gostariam de participar de uma simulação de investigação criminal, enquanto apenas dois meninos responderam de forma negativa, mas não apresentaram justificativa à sua resposta. As justificativas foram das mais diversas, como “*porque é curioso, e tipo, nós aprenderíamos como investigar e tal. Seria emocionante.*”, “*porque seria uma experiência de vida incrível*”, “*porque seria interessante ver como é uma investigação*”, “*porque futuramente desejo ser policial*”, “*porque é massa [gíria para algo agradável, muito legal] ajudar as pessoas a descobrir coisas*”, “*para sentir adrenalina*” e “*porque seria interessante, uma forma de ‘ativar’ o nosso cérebro.*”

A sexta pergunta teve o propósito de averiguar as concepções prévias dos alunos a respeito da molécula de DNA. As respostas foram categorizadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Respostas dos Alunos do 8º ano do Ensino Fundamental sobre o que Entendem por DNA, ano 2019.

RESPOSTA	Nº DE ALUNOS
É o que define nossas características	10
É o que passa as características dos pais para os filhos	8
É uma parte do sangue	2
É o que define nosso gênero	1
É o que define pessoas, animais e plantas	1
Não sei explicar / Não me recordo	11

Fonte: Autores.

Percebeu-se que a maior parte dos alunos associou de forma correta a molécula de DNA com a determinação e a transmissão de características de uma geração para outra. Dois alunos associaram o DNA como um constituinte do sangue, o que pode ter sido induzido pelas cenas de

filmes e seriados em que se utilizam resquícios de sangue para a realização de exames genéticos. Um aluno soube indicar que o DNA não é algo exclusivo de nossa espécie, mas também está ligado a outros grupos de seres vivos, como as plantas e os animais.

De forma curiosa, todos os alunos responderam afirmativamente a respeito da relação entre o DNA e a resolução de um crime, com diversas justificativas apresentadas. As respostas foram sumarizadas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Respostas dos Alunos do 8º ano do Ensino Fundamental sobre a Relação entre DNA e a Investigação Criminal, ano 2019.

RESPOSTA	Nº DE ALUNOS
O DNA pode identificar quem é o assassino	12
O DNA pode identificar quem é a vítima	8
Sim, pois há digitais na cena do crime	4
Sim, pois há sangue na cena do crime	3
Para se fazer exames	1
Não soube explicar	7

**Fonte:** Autores.

Assim como a maioria dos alunos associou na questão anterior corretamente o DNA com a produção das características de cada pessoa, a maioria dos alunos respondeu coerentemente que o DNA pode auxiliar na identificação do assassino e/ou da vítima. Alguns alunos associaram de forma incorreta o DNA com as impressões digitais, relação que pode ter sido causada por frequentemente impressões digitais serem procuradas na cena do crime. As diferenças nas impressões digitais originam-se nas forças mecânicas experimentadas por cada feto em seu desenvolvimento uterino à medida que as células proliferam, o que explica por que mesmo gêmeos univitelinos não possuem digitais idênticas (REECE *et al.*, 2015).

### **b) Interpretação da cena do crime**

A informação prévia de que a turma seria envolvida na resolução de um suposto crime, agindo como investigadores forenses levou à grande expectativa por parte dos alunos. Sua curiosidade foi despertada sobre onde aconteceria o crime, como a cena se apresentaria e que tipo de evidências eles iriam encontrar no local.

Ao chegarem no ambiente do crime, os alunos começaram a andar ao seu redor, procurando observá-lo de vários ângulos, tirando fotografias que poderiam ser utilizadas na sua



questão importante precisa ser previamente respondida: aquela mancha hematoide é realmente sangue? (FILHO; ANTEDOMENICO, 2010)

Com o teste de Kastle-Meyer, os alunos confirmaram que a faca deixada na cena do crime de fato havia sido limpa, mas ainda continha vestígios microscópicos de sangue (Figura 10). Mas o sangue seria de fato da vítima “Maria Eduarda”? Questionados a respeito e tomados pela incerteza, os alunos perceberam a necessidade de testes adicionais para se chegar à resolução.

**Figura 10:** Resultado positivo para o teste de Kastle-Meyer.

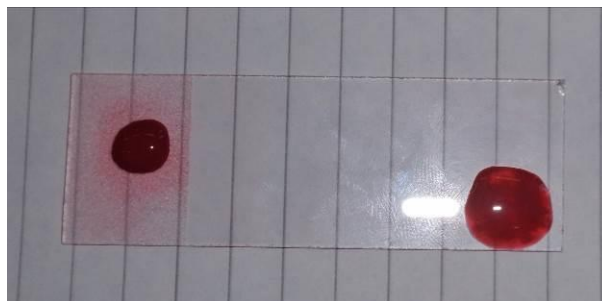


**Fonte:** Autores.

#### **d) Tipagem sanguínea**

A “aglutinação” ocorrida entre o leite e o vinagre simulou a aglutinação entre o aglutinogênio A e a aglutinina anti-A do sangue (Figura 11). Isso indicou aos alunos que o sangue encontrado na faca pertencia ao grupo sanguíneo A, o mesmo tipo sanguíneo apontado anteriormente para a vítima.

**Figura 11:** Simulação de tipagem sanguínea.



**Fonte:** Autores.

Na segunda parte da atividade, os alunos deveriam deduzir os possíveis genótipos de “Maria Eduarda” ( $I^A I^A$  ou  $I^A i$ ) e de seus pais, a fim de que “Maria Eduarda” nascesse com seu tipo sanguíneo. Por exemplo: seu pai poderia pertencer ao tipo AB e sua mãe ao tipo O; mas seu

pai pertencer ao grupo B e sua mãe ao grupo O seria um cruzamento impossível para originar o tipo A. Cada equipe deveria registrar o maior número de combinações possível. Os resultados são apresentados no Quadro 1. Uma das equipes não entregou suas respostas. Ao final, o professor realizou a correção com a turma e todos puderam ver mais claramente as diversas possibilidades de resolução.

**Quadro 1:** Possíveis genótipos para os pais de “Maria Eduarda” fornecidos pelas equipes.

EQUIPE	CRUZAMENTOS ENTRE OS GENÓTIPOS DOS PAIS
1	$I^{A}I^{A} \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}I^{B} \times I^{A}i$ ; $I^{A}I^{A} \times I^{A}i$ ; $I^{A}I^{A} \times I^{B}i$ ; $I^{A}I^{A} \times ii$ (5 possibilidades)
2	$I^{A}I^{B} \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}I^{B} \times I^{A}I^{B}$ ; $I^{A}i \times I^{A}I^{B}$ ; $I^{A}I^{B} \times I^{B}I^{B}$ ; $I^{A}I^{A} \times I^{A}I^{A}$ (5 possibilidades)
3	$I^{A}I^{A} \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}i \times I^{A}i$ ; $I^{A}I^{B} \times ii$ ; $I^{A}I^{A} \times ii$ ; $I^{A}i \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}i \times I^{B}i$ (6 possibilidades)
4	$I^{A}I^{A} \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}i \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}I^{B} \times I^{A}i$ ; $I^{A}i \times I^{A}i$ (4 possibilidades)
5	$I^{A}I^{A} \times I^{A}I^{A}$ ; $I^{A}I^{B} \times I^{A}I^{B}$ (2 possibilidades)

Fonte: Autores.

### e) Extração de DNA de morango

Na atividade experimental de extração de DNA, cada equipe ia desenvolvendo as etapas passo a passo, dividindo as responsabilidades entre seus integrantes, à medida que o professor fornecia as diretrizes necessárias (Figura 12). Os alunos conseguiram visualizar uma grande quantidade de DNA extraída. Ao final, foram feitas perguntas aos alunos a respeito dos procedimentos realizados e do porquê de cada reagente utilizado. A função de cada reagente foi associada às estruturas e barreiras químicas da célula, as quais já haviam sido estudadas previamente no ano letivo.

**Figura 12:** Alunos realizando as etapas da extração de DNA de morango.



Fonte: Autores.

A experimentação é de crucial importância no processo de ensino-aprendizagem e na construção do pensamento científico. Giordan (1999, p. 44) destaca a sua importância ao declarar que

a elaboração do conhecimento científico apresenta-se dependente de uma abordagem experimental, não tanto pelos temas de seu objeto de estudo, os fenômenos naturais, mas fundamentalmente porque a organização desse conhecimento ocorre preferencialmente nos entremeios da investigação.

Os experimentos didáticos realizados em aula devem promover o caráter investigativo, favorecendo uma compreensão das relações conceituais da disciplina por parte dos alunos, para que esses possam aprender tanto com seus erros quanto com seus acertos (MACHADO; MOL, 2008).

#### **f) Cromatografia e sequenciamento genético**

Essa técnica de simulação ilustrou o princípio da separação de cores que ocorre na técnica da cromatografia (Figura 13). O procedimento realizado foi bastante simples, o qual também demonstra que diversas atividades experimentais podem ser desenvolvidas em qualquer sala de aula, sem instrumentos ou aparelhos sofisticados (BORGES, 2002).

**Figura 13:** Simulação do procedimento da Cromatografia.



**Fonte:** Autores.

Através da sequência genética fornecida, os alunos puderam relembrar o princípio da complementaridade das bases nucleotídicas (adenina com timina e citosina com guanina), descobrir a sequência da fita paralela e confirmar que a sequência genética realmente pertencia à vítima.

#### **g) Detecção de impressões digitais**

A datiloscopia ou obtenção de impressões digitais baseia-se no fato biológico de que até hoje não foram encontradas duas pessoas com o mesmo padrão de impressões digitais. Os compostos orgânicos têm um papel importante na revelação da impressão digital e, conseqüentemente, na identificação de determinado indivíduo (CRUZ *et al.*, 2016).

Dentre as várias técnicas disponíveis para esse procedimento, optou-se pela técnica do vapor de iodo (Figura 14). Essa consiste na absorção do vapor do iodo pelos compostos gordurosos do suor (FARIAS, 2010). O vapor do iodo aquecido foi adsorvido pelo papel, deixando a digital em destaque. Uma vez que a digital é única, essa atividade permitiu se chegar à identidade do suspeito com mais segurança (embora mais uma atividade confirmadora fosse ainda ser realizada). Uma discussão foi feita com os alunos sobre como as nossas características pessoais são formadas, partindo-se da interação entre o genótipo e o fenótipo, destacando-se a formação das impressões digitais e porque elas são diferentes mesmo entre gêmeos idênticos.

**Figura 14:** Iodo sendo aquecido para “revelar” a impressão digital.



**Fonte:** Autores.

#### **h) Simulação de Eletroforese**

Como a sequência dos nucleotídeos da molécula de DNA é única para cada pessoa (excetuando os casos de gêmeos idênticos), a eletroforese do DNA encontrado na cena do crime e do DNA do(s) suspeito(s), realizada pelo perito forense, permite a comparação de ambos. Havendo correspondência nos padrões, fica demonstrada a autoria do crime (CRUZ *et al.*, 2016).

A técnica é realizada por meio de géis especiais, que atuam como peneiras moleculares, retardando a migração de moléculas na proporção de sua relação carga-massa, com as moléculas de menor massa migrando mais rápido. A migração também é afetada pela forma das moléculas. A agarose utilizada no gel é um polissacarídeo que forma uma rede e permite regular a velocidade da migração das moléculas durante a separação. O gel é aplicado em um recipiente retangular chamado cuba, preenchido com uma solução tampão para que se mantenham as condições químicas ideais para a amostra migrar livremente. Após a eletroforese, as moléculas de DNA são visualizadas pela adição de corantes como o brometo de etídio, que se liga às moléculas, mas não ao gel. O uso de radiação ultravioleta permite a visualização e a fotografia de um conjunto de

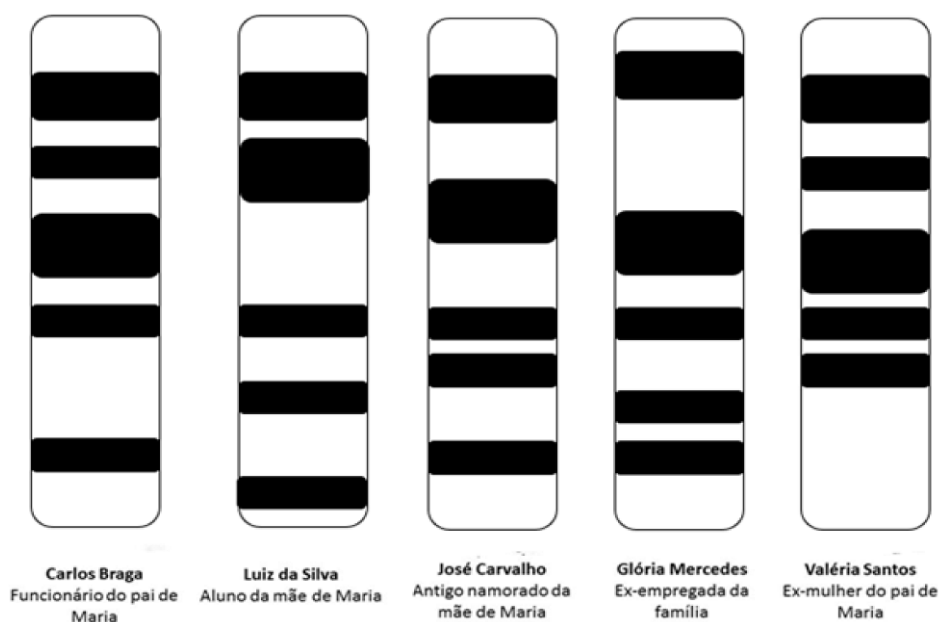


bandas visíveis no gel. Cada banda no gel representa a presença de um fragmento de DNA; fragmentos menores movem-se através do gel mais rapidamente do que os fragmentos maiores e, portanto, são encontradas mais próximos à base do gel. A técnica permite mapear e visualizar as diferenças nas sequências genéticas de espécies e realizar exames de paternidade, análises forenses, possibilidades de transplantes médicos, entre outras aplicações (NELSON; COX, 2011).

O sistema eletroforético foi conectado por meio de cabos à fonte de alimentação, com a voltagem de 100 volts, e em poucos minutos, os alunos observaram a migração do corante pelo gel. Graças ao apoio da universidade federal local, o sistema de eletroforese proposto procurou simular o teste real da forma mais próxima possível, empregando-se quanto possível materiais e reagentes utilizados na técnica original. Outras sugestões para um custo mais baixo para aplicação em escolas são trocar a caixa de material acrílico da cuba eletroforética por caixas plásticas e até mesmo de madeira; aplicar fontes de menor voltagem obtidas, por exemplo, a partir de brinquedos elétricos, telefones sem fio ou barbeadores (embora envolvam um maior tempo de duração da eletroforese); e trocar o gel de agarose por amido de milho.

Após a finalização da prática, os alunos receberam em uma folha o resultado hipotético da eletroforese, com diferentes padrões de bandas dispostos em colunas, bem como os padrões genéticos dos suspeitos (Figura 15, produzida no software *PowerPoint*). O desafio era descobrir qual dos indivíduos havia deixado o cigarro no local do crime. A identidade descoberta foi coerente com o teste das impressões digitais, ajudando a turma a chegar à resolução do caso.

**Figura 15:** Padrões de bandas de DNA dos suspeitos.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

### **i) Avaliação dos alunos e da atividade**

Foi notório o interesse da turma em todas as etapas, com o envolvimento de todos os alunos e o trabalho em equipe. Isso se deveu ao caráter diferenciado e prático das aulas, diferente de outras aulas. A coordenação pedagógica foi de grande importância no desenvolvimento do projeto, manifestando desde o início o seu apoio e providenciando os materiais necessários solicitados pelo professor da disciplina.

Solicitou-se aos alunos que avaliassem de forma escrita a atividade proposta. Todas as respostas foram positivas, especialmente em relação ao experimento de extração de DNA do morango, podendo ser exemplificadas nas seguintes avaliações de alguns dos alunos (grafia original preservada).

*“Eu achei a atividade bem interessante, pois aprendemos de uma forma mais ‘divertida’ e é algo que não estamos acostumados a fazer ou aprender desse jeito. Corresponderam as minhas expectativas, não precisava melhorar nada, tava tudo ótimo!”*

*“o trabalho foi muito criativo, realmente de acordo com minhas expectativas. a parte que eu mais gostei foi a do morango.”*

*“No início eu tive a impressão de que seria fácil descobrir o assassino. As atividades foram divertidas. Gostei bastante da parte que esmagamos o morango. Poderia ter melhorado mais o corpo da vítima.”*

*“Sabe, o projeto foi muito legal, divertido, um jeito novo de aprender. Fomos até o lugar do assassinato, coletamos DNA do crime para ver de quem era.”*

*“Achei bem interessante e nos explica ainda mais de como funciona uma perícia, com mais detalhes.”*

*“Eu achei bem criativo e é um método de ensino muito dinâmico, o que nos faz entender melhor a matéria. Eu gostei bastante da experiência do morango, só me decepcionei com a boneca, que podia ser mais real.”*

É importante que os cidadãos sejam capazes de posicionar-se perante os avanços científicos e tecnológicos, inclusive aqueles provenientes das pesquisas da Genética. A base para essa capacidade de posicionamento inicia-se na própria educação científica recebida na escola. Para alguns autores, a compreensão de tais debates é tão importante quanto as habilidades de leitura e escrita (JUSTINA; FERLA, 2006).

Faz-se necessário que o professor sonde os interesses individuais dos alunos, para que a sua atenção seja despertada e esses sintam-se mais motivados e envolvidos no processo de ensino-aprendizagem, valorizando-o mais intensamente. Pode-se apontar que a televisão é um dos meios de comunicação mais utilizados pelo público (MCSHARRY, 2002), especialmente pela faixa etária infanto-juvenil (DUARTE; LEITE; MIGLIORA, 2006).

Graças à TV, as ciências forenses nunca foram tão populares. Elas estavam na lista dos 20 programas mais assistidos em outubro de 2005, como o seriado *CSI: Crime Scene Investigation*. Em

uma quinta-feira daquele mês, 27% dos televisores dos Estados Unidos estavam sintonizados nesse programa (HOUCK, 2006). O programa *CSI*, em especial, é famoso internacionalmente, abordando alguma forma de conhecimento científico na maioria dos episódios, com a finalidade de se resolver algum crime. Isso aponta para o seu potencial como recurso didático para o ensino de Ciências (GARCÍA BORRÁS, 2005).

Temas atuais e polêmicos possibilitam dar significado às disciplinas ensinadas no ambiente escolar, ampliando a visão e instrumentando o aprendiz, para que o aprendizado escolar exerça uma função social (BARBOSA, 2007). Crimes de repercussão e acidentes trágicos acabam por proporcionar temas instigantes, os quais despertam o interesse dos estudantes (FILHO; ANTEDOMENICO, 2010).

Dificuldades para serem trabalhadas individualmente ou em grupo devem ser apresentadas pelos professores aos estudantes, sugerindo que utilizem dados para justificarem as suas hipóteses. Assim, se estimulará o uso de capacidades cognitivas como analisar, comparar, deduzir, inferir e valorar, além de descrever, definir, explicar, justificar, argumentar e demonstrar (COSTA, 2008). A “aprendizagem colaborativa” vem sendo amplamente discutida na literatura de ensino de Ciências. De forma crescente se aponta para a necessidade de se criar oportunidades para a realização de experimentos em equipe (NURRENBERN; ROBINSON, 1997).

A participação do aluno em uma atividade de investigação requer a interpretação de evidências, o que possibilita o envolvimento em discussões com os colegas, a ponderação de diferentes fontes de informação e a consideração de outros pontos de vista (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; ERDURAN, 2008). Requer dos alunos cuidadosa atenção aos fenômenos ocorridos, o que aprimora a sua capacidade de observação, fundamental para a compreensão das etapas da atividade proposta e melhora a concentração (CARVALHO; VANNUCCHI; BARROS, 1998).

Os experimentos possibilitam a participação dos estudantes em seu próprio processo de aprendizagem, saindo de uma postura passiva e agindo sobre o seu objeto de estudo. Assim, podem relacioná-lo a outros acontecimentos e buscar uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações (CARVALHO; VANNUCCHI; BARROS, 1998). A experimentação contribui para a melhoria da qualidade no ensino, principalmente por gerar situações de confronto entre as hipóteses dos alunos e as evidências experimentais (MARANDINO; SELLES; FERREIA, 2009). As atividades experimentais precisam ser flexíveis e adequadas ao nível cognitivo dos alunos, acompanhadas de reflexão crítica, permitir que os alunos testem livremente suas hipóteses e serem desenvolvidas a partir de uma problematização (AMARAL, 1997).

### Considerações Finais

A sequência didática proposta e executada ao longo desse trabalho teve sucesso em despertar o interesse e a motivação dos alunos. Apesar das limitações próprias presentes nas simulações e analogias (as quais foram discutidas com a classe), a sequência foi apontada pelos participantes como um método de ensino diferenciado em relação ao que eles estão acostumados. Através dos experimentos e simulações realizados (teste presuntivo de sangue, tipagem sanguínea, extração de DNA, cromatografia, sequenciamento genético, detecção de impressões digitais e eletroforese), diversos conceitos e processos ligados à Genética discutidos em sala de aula puderam ser “visualizados” e mais facilmente compreendidos.

Não temos a pretensão de originalidade com nenhuma das etapas propostas. A originalidade de nosso trabalho é o agrupamento de todas as etapas em uma única sequência didática e o emprego da contextualização dos seriados criminais e da Ciência Forense para o ensino de Genética. Dependendo-se do nível de profundidade empregado, as atividades realizadas adequam-se tanto ao nível do Ensino Fundamental como do Ensino Médio. Além do envolvimento da Ciência Forense ampliar a diversidade de atividades de ensino, acreditamos que pode proporcionar o estímulo à curiosidade, à criatividade e à busca por carreiras na área da ciência e tecnologia pelos estudantes.

### Referências

- AMARAL, I. A. Conhecimento Formal, Experimentação e Estudo Ambiental. **Ciência e Ensino**, Campinas, v. 3, p. 10-15, 1997.
- BARBOSA, L. M. S. **Temas Transversais**: Como utilizá-los na prática educativa? Curitiba: Ibpex, 2007. 148 p.
- BORGES, A. T. Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Educação é Base. 2018. Disponível em: <[goo.gl/ZvFu4A](http://goo.gl/ZvFu4A)>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- CACHAPUZ, A. *et al.* **A necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. 264 p.
- CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I.; BARROS, M. A. **Ciências no Ensino Fundamental**: O Conhecimento Físico. São Paulo: Scipione, 1998.
- CID, M.; NETO, A. J. Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da Genética. VII Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, número extra, p. 1-5, 2005.

COSTA A. Desenvolver a capacidade de argumentação dos estudantes: um objectivo pedagógico fundamental. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 46, n. 5, p. 1-8, 2008.

CRUZ, A. A. C.; RIBEIRO, V. G. P.; LONGHINOTTI, E.; MAZZETTO, S. E. A Ciência Forense no Ensino de Química por Meio da Experimentação Investigativa e Lúdica. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 2, p. 167-172, 2016.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2007. 364 p.

DESSEN, E. M. B.; OYAKAWA, J. **Extração Caseira de DNA Morango**. 2007. Disponível em: <goo.gl/d3BG3v>. Acesso em: 21 ago. 2018.

DUARTE, R.; LEITE, C.; MIGLIORA, R. Crianças e televisão: o que elas pensam sobre o que aprendem com a tevê. **Revista Brasileira de Educação**, v. 11, n. 33, p. 497-510, 2006.

ESQUISSATO, G. N. M.; ARRUDA, G.; SOARES, M. A. M. Modelo Didático para o Fator Rh. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 5., 2007. Maringá, PR. **Anais...** Maringá: Centro Universitário de Maringá, 2007. p. 1-4.

FARIAS, R. F. **Introdução à Química Forense**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 142 p.

FERRÉS, J. **Televisão e educação**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 180 p.

FILHO, C. R. D.; ANTEDOMENICO, E. A Perícia Criminal e a Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências Naturais. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p. 67-72, 2010.

GARCÍA BORRÁS, F. J. La serie C.S.I. como metáfora de algunas facetas del trabajo científico. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 3, p. 374-387, 2005.

GIORDAN. M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 43-49, 1999.

HOUCK, M. M. CSI Reality. **Scientific American**, v. 295, p. 84-89, 2006.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. Argumentation in Science Education: an Overview. In: ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Ed.). **Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 3-27.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no ensino de genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **Arquivos da Apadec**, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

LORETO, E. L. S.; SEPEL, L. M. N. Atividades **Experimentais e Didáticas de Biologia Molecular e Celular**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 2002. 72 p.

MACHADO, P. F. L.; MOL, G. S. Experimentando química com segurança. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 57-60, 2008.

MARANDINO, M.; SELLES, S; FERREIRA, M. **Ensino de Biologia:** histórias e práticas em diferentes espaços educativos. São Paulo: Cortez, 2009. 215 p.

MARTINEZ, E. R. M.; FUJIHARA; R. T.; MARTINS, C. Show da Genética: um jogo interativo para o ensino de genética. **Genética na Escola**, v. 3, n. 2, p. 24-27, 2008.

MCSHARRY, G. Television programming and advertisements: help or hindrance to effective science education? **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 5, p. 487-497, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 1273 p.

NURRENBERN, S. C.; ROBINSON, W. R. Cooperative Learning: A Bibliography. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 6, p. 623-624, 1997.

REECE, J. B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10 ed. São Paulo: Artmed, 2015. 1488 p.

ROSA, M. F.; SILVA, P. S.; GALVAN, F. D. B. Ciência Forense no Ensino de Química por Meio da Experimentação. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 1, p. 35-43, 2015.

SEBASTIANY, A. P.; PIZZATO, M. C.; DEL PINO, J. C.; SALGADO, T. D. M. A utilização da Ciência Forense e da Investigação Criminal como estratégia didática na compreensão de conceitos científicos. **Educación Química**, v. 24, n. 1, p. 49-56, 2013.