Development of a didactic electrophoresis kit for the practical teaching of Molecular Biology in basic and higher education

Desenvolvimento de um kit didático de eletroforese para o ensino prático de Biologia Molecular na educação básica e superior

César Xavier ^{1*}, Danielle Cavalcanti ²

¹ Instituto Federal de Educação ciência e Tecnologia do Espírito Santo

cesar.xavier@ifes.edu.br

Abstract

The advances in the biotechnology area imposes a new reality, creating products that are present in our daily lives, affecting directly or indirectly the population. Applications related to DNA technologies in the industry, agriculture and medicine have social, ethical and ecological implications, in addition to the human health consequences. In order to create an alternative method to stimulate students in scientific careers and improve the learning of biotechnology and molecular biology, we developed a junior research project with high school students of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the Espírito Santo (Brazil), which aimed the construction of a teaching kit of electrophoresis. The kit built in this work consists of a source of 70 V, and accessories and reagents that are readily available and present low cost and low risk to the health of users. The use of the kit allowed for electrophoretic assays with nucleic acids and food dyes. The kit also contains a printed material that addresses issues about DNA technology and the device user's guide with suggestions of experiences to simulate paternity test, virus identification and others. The application of the teaching kit in practical classes with students and teachers of basic education showed that the activity was effective in reducing the number of errors in answers contained in a questionnaire related to the electrophoresis. Moreover, biology teachers evaluated the printed material of the didactic kit and 75% of them classified the language applied to this material as appropriate and classified the technique as executable for the use in their classrooms.

Keywords: DNA; biotechnology at school; biology practices; molecular biology teaching

Resumo

Os avanços da ciência na área da Biotecnologia impõem uma nova realidade e cada vez mais os produtos destas pesquisas estão presentes no dia a dia, atingindo a população de forma direta ou indireta. Aplicações relacionadas às tecnologias do DNA nas áreas da indústria, agricultura e medicina esbarram em questões sociais e éticas, além das implicações ecológicas e sobre a saúde humana. Com o objetivo de criar uma alternativa para estimular alunos na carreira científica e no aprendizado da biotecnologia e biologia molecular, desenvolvemos um projeto de iniciação científica júnior com alunos do ensino médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, que visou à construção de um kit didático para o ensino prático da eletroforese. O kit construído neste trabalho é constituído por uma fonte de 70 V, por acessórios e reagentes de fácil obtenção, baixo custo e baixo risco à saúde dos usuários. Com o kit foi possível realizar corridas eletroforéticas tanto com ácidos nucleicos quanto com corantes alimentícios. O kit possui ainda uma apostila sobre Tecnologias do DNA e o manual de utilização do aparelho com sugestões de experimentos simulando teste de paternidade, casais em disputa por guarda de criança e identificação de vírus. A aplicação do kit em aulas práticas junto a alunos e professores da educação básica demonstrou eficácia ao reduzir o número de erros em respostas contidas em um questionário relacionado à eletroforese e suas aplicações. Professores de Biologia avaliaram positivamente o material impresso que acompanha o kit didático, 75% dos professores entrevistados consideraram a linguagem do material bastante adequada, a apresentação dos componentes do kit esclarecedora e a técnica executável para utilização em suas turmas.

Palavras-chave: DNA; biotecnologia na escola; práticas de biologia; ensino de biologia molecular

Ficha da atividade

Título	Development of a didactic electrophoresis kit for the practical teaching of Molecular Biology in basic and higher education.
Categoria:	Prêmio Nacional de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular “Bayardo Baptista Torres”: Materiais didáticos
Tipo de Material/ atividade	Kit didático para ensino prático
Público-alvo:	Alunos do ensino médio, técnico e graduandos de ciências biológicas e ciências da saúde
Conteúdos abordados	Biologia molecular, Ácidos nucleicos, análises de DNA, eletroforese.
Objetivos educacionais	Estimular nos discentes a curiosidade e o interesse por conteúdos relacionados a Biologia molecular, genética forense, biotecnologia e engenharia genética através da investigação e experimentação para a resolução de questões que reproduzem o trabalho de profissionais e pesquisadores nos laboratórios de Biologia molecular.
Duração estimada	Aproximadamente 100 minutos, sendo possível dividir a prática em duas aulas de 50 minutos, sendo a primeira aula para a preparação das soluções e gel de eletroforese e a segunda aula para a aplicação e corrida das amostras e análise dos resultados.
Materiais utilizados	Água, espátulas, balança e forno micro-ondas, kit didático para eletroforese
Justificativa	Os avanços da pesquisa científica na área de Biotecnologia geram produtos e serviços que impactam diretamente a sociedade. A escola e os professores devem estar preparados para transmitir estes conhecimentos aos seus alunos para formação de indivíduos críticos, capazes de emitir opiniões e de se posicionar perante as vantagens e desvantagens advindas deste novo conhecimento ¹ . Dentre as inúmeras ferramentas utilizadas em laboratórios de pesquisa, a eletroforese é uma técnica de fundamental importância. Esta técnica foi inicialmente utilizada em meio líquido para a separação de uma mistura de proteínas ² . Na década de 1950, a técnica foi aperfeiçoada com a utilização de uma matriz de amido para a separação de enzimas ³ . Nos anos 1960, é utilizada uma matriz de agar para separar moléculas de DNA em função de suas formas e tamanhos a partir do princípio da combinação de forças elétricas e friccionais ⁴ . Nas décadas posteriores a técnica teve grande aceitação pela comunidade científica, passou por vários aperfeiçoamentos e se tornou indispensável em diversas aplicações na área biológica ^{5,6} . A eletroforese é uma técnica que tem uma grande variedade de aplicações em estudos sobre taxonomia, produção de OGM's, diagnose de doenças, identificação de suspeitos de crimes entre outros. Além disso, essa técnica pode ser reproduzida no ambiente escolar com a utilização de elementos e baixo custo, fácil aquisição e inócuos ¹ .

1 Introdução

A falta de material adequado para realização de aulas práticas é um dos grandes impeditivos apontados por professores para não utilização deste importante recurso pedagógico⁷, assim este trabalho se propôs a desenvolver um kit didático que simula uma série de experimentos que envolvem a eletroforese, para estimular os professores da educação básica no desenvolvimento de aulas experimentais e despertar nos alunos o interesse pela ciência. A utilização de atividades experimentais pode ser uma importante alternativa praticada pelos professores para instigar o aprendizado através da investigação e análise de dados.

A aula experimental, as atividades em grupo em laboratórios de Ciências, bem como projetos de iniciação científica com alunos da educação básica, tornam-se excelentes espaços de organização, discussão e reflexão acerca das novidades científicas⁸. Por mais simples que seja a experiência realizada, ela se torna rica ao revelar as contradições entre o pensamento do aluno, o limite de validade das hipóteses levantadas e o conhecimento científico⁹. Uma vez que as Ciências Naturais têm como característica preponderante seu caráter investigativo, a importância do trabalho prático/experimental no ensino destas disciplinas é inquestionável e deveria ocupar posição central nas discussões educacionais.

O aparelho que acompanha o kit didático de eletroforese foi produzido com base em equipamentos utilizados em laboratórios de Biologia Molecular das Universidades e Centros de Pesquisa. Ele pode ser usado para reproduzir e simular a eletroforese de ácidos nucleicos utilizando substâncias de fácil obtenção, baixo custo e inofensivas à saúde dos professores e estudantes. Este uso é apropriado para o ensino básico técnico e tecnológico.

O aparelho também pode ser utilizado na eletroforese de ácidos nucleicos com as mesmas substâncias usadas nos laboratórios de Biologia Molecular, adequado para alunos de cursos técnicos e graduações nas áreas de Biotecnologia, Biologia e Química, para esta aplicação, a metodologia também deverá ser adequada. A seguir serão apresentados os seus componentes e as principais funções de cada um deles, assim como a metodologia para sua utilização em aulas do ensino básico. Através da aplicação deste aparelho junto a alunos do ensino básico e junto a professores de ciências e biologia em curso de capacitação foi possível gerar dados satisfatórios referentes ao aprendizado sobre eletroforese, atualmente ele vem sendo utilizado junto a alunos do ensino básico, técnico e tecnológico e em curso de extensão em ciências forenses.

2 Componentes

Fonte de alimentação e cabos - A fonte de alimentação libera 70 Volts contínuos na saída e tem como função fornecer a energia necessária para gerar o campo elétrico que estimula o deslocamento das moléculas pela matriz, neste caso o gel de agar, durante a corrida eletroforética (Figura 1). Conectados aos polos da fonte, encontram-se os cabos que contêm nas extremidades presilhas do tipo jacaré. Estas presilhas prenderão os polos da fonte aos eletrodos encontrados na cuba.

Figura 1. Fonte de alimentação com destaque nos polos. (Foto: Arquivo pessoal)

Cuba - Recipiente retangular de material acrílico que abriga a solução tampão, em contato com os eletrodos. Os eletrodos encontram-se presos às laterais da cuba e adquirem carga elétrica (positiva ou negativa) quando a corrente elétrica é ligada.

Suporte do gel (berço ou cama) - Recipiente retangular em material acrílico sem duas das laterais. Neste suporte é que será depositado o gel ainda fundido. Uma vez solidificado, o gel receberá as amostras.

Pente - Lâmina em material acrílico com projeções que se assemelham aos dentes de um pente para cabelo. O pente é utilizado para formar os orifícios (pocinhos ou *slots*) no gel onde serão depositadas as amostras (Figura 2).

Figura 2. A cuba, o suporte do gel e o pente, identificados como 1, 2 e 3, respectivamente. Destaque para

os cortes nas laterais do suporte (seta), nos quais o pente será encaixado. Na última figura da direita, o pente encontra-se encaixado no berço. (Foto: Arquivo pessoal)

Borato de Sódio - Encontrado em lojas de produtos químicos para a produção de produtos de limpeza. O borato de sódio em solução aquosa funcionará como solução tampão.

Goma de Agar Agar - O ágar é um polissacarídeo extraído das paredes celulares de alguns gêneros de algas marinhas. Encontrada em lojas de produtos alimentícios para confeitaria e guloseimas na forma de goma de ágar. A goma de ágar é usada para a preparação do gel, substituindo a agarose (mais pura) utilizada nos laboratórios de pesquisa. É neste gel que as amostras se deslocam sob influência da corrente elétrica.

Corantes alimentícios - Os corantes são utilizados neste kit como amostras para simular as moléculas de ácidos nucleicos. São utilizadas as cores azul, vermelho, preto, verde e amarelo. Assim como os ácidos nucleicos, em pH próximo de 9,0 apresentam carga elétrica negativa. A tabela 1 mostra as propriedades destes corantes.

Tabela 1. Corantes utilizados nos experimentos e algumas de suas propriedades

COR	VERMELHO	AZUL	AMARELO	PRETO	VERDE
CORANTE	AMARANTO	AZUL BRILHANTE	TARTRAZINA	AMARANTO+ AZUL BRILHANTE	TARTRAZINA + AZUL BRILHANTE
SINÔNIMOS	Amaranth; FoodRedNo.2; Bordeaus S	FD&C Blue No.1, Food Blue 2, Brilliant blue FCF	Tartrazine, FD&C Yellow No. 5, FoodYellow No.4	-----	-----
FÓRMULA	$C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$	$C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$	-----	-----
MASSA				-----	-----
MOLAR	604,46361	792,84314	534,35781		

2.1 Instrumentos

Espátula – Utilizada para a manipulação (coleta e pesagem) dos reagentes.

Seringa de insulina – Utilizada na aplicação das amostras nos pocinhos do gel em substituição das pipetas automáticas usadas nos laboratórios de pesquisa.

Fita adesiva 48mm X 50m – Utilizada nas laterais do berço onde o gel ainda líquido será vertido. A fita adesiva retém o gel sobre o berço até que se solidifique.

2.2 Apostila

O material impresso que acompanha o kit didático é constituído por três seções,

sendo a primeira uma introdução intitulada “Biotecnologia e técnicas de manipulação do DNA”, onde são abordados assuntos tais como enzimas de restrição, eletroforese, PCR, clonagem, sequenciamento do material genético, projeto genoma, entre outros.

Na segunda seção, intitulada “conhecendo o aparelho e o procedimento”, o leitor encontra informações sobre os componentes, reagentes, instrumentos e procedimentos utilizados para a realização da técnica da eletroforese e informações sobre como proceder para preparo da solução tampão, do gel e aplicação das amostras.

A terceira seção intitulada “Roteiros dos experimentos”, contem roteiros para simulação de atividades experimentais, com a sugestão de 3 atividades: uma sobre identificação de linhagem de vírus, outra atividade sobre teste de paternidade e a terceira atividade sobre a disputa pela guarda de uma criança.

A Figura 3 representa o kit completo com os componentes, reagentes e instrumentos.

Figura 3. Kit completo

3 Potencial Educacional

Alunos da educação básica ou ensino superior que tiverem a oportunidade de utilizar o material apresentado neste trabalho poderão realizar uma corrida eletroforética, simulando situações experimentais que são vivenciadas em um laboratório de pesquisa. Para isto, os discentes estarão envolvidos com procedimentos como a produção da solução tampão, produção do gel de eletroforese, preparação dos componentes do aparelho, aplicação das amostras no gel, observação e interpretação dos resultados da

corrida. Diante da aprendizagem das características do material genético e as tecnologias que envolvem a sua manipulação, bem como do entendimento dos fundamentos da técnica de eletroforese, espera-se desmistificar a ciência, aproximando ensino e pesquisa e despertando a curiosidade dos alunos de modo que eles desenvolvam o interesse em aprofundar seus conhecimentos sobre os benefícios e malefícios que envolvem a Biotecnologia.

4 Diferencial com os materiais/ atividade pré-existent

Embora existam alguns relatos na literatura acerca da construção de um aparato de eletroforese para utilização na escola, todos eles são muito rudimentares e utilizam:

- (i) vasilhas plásticas para produção da cuba e suporte para o gel, os quais podem se deformar devido ao calor gerado durante a corrida;
- (ii) amido de milho para preparação do gel, sendo esta uma matriz que apresenta algumas limitações como a demora na solidificação do gel (cerca de 2 horas), além da grande difusão das moléculas nesta matriz e a opacidade do amido de milho que impede a boa visualização das amostras após a corrida;
- (iii) fontes elétricas de aparelhos domésticos, como impressoras, que alcançam tensões em torno de 30V, o que torna a corrida das amostras extremamente demorada (aproximadamente 3 horas), não sendo compatível com o tempo de aula de 50 minutos disponível na escola. Além disso, esses aparatos de eletroforese não são acompanhados por manual ou apostila que forneçam informações acerca da técnica nem sugestões de atividades experimentais a serem trabalhadas com os alunos ou tampouco são de fácil preparo, uma vez que o professor tem que serrar o plástico para produzir a cuba, pente, suporte do gel, etc, além de ter que ter disponível uma fonte elétrica que possa ser usada na aula^{7,10,11}.

O diferencial do nosso kit didático é que ele já se encontra pronto para ser utilizado pelo professor, contendo:

- (i) cuba e suporte para o gel, bem como o pente que produz os slots no gel produzidos em material acrílico;
- (ii) ága- ágar como matriz, que apresenta como vantagem o rápido tempo de solidificação, além de ser facilmente encontrado em lojas de produtos alimentícios a preços baixos;
- (iii) uma fonte de 70V desenvolvida por nós constituída de dispositivos com pequenas

dimensões dispostos no interior de uma caixa adequada que mantém tanto a integridade do aparelho quanto a de quem o manuseia. Essa fonte tem como vantagem a redução do tempo da corrida eletroforética (entre 30 a 40 minutos), de modo que a aula prática possa ocorrer em um tempo de aula;

(iv) uma apostila com três capítulos, sendo o primeiro deles com conteúdos sobre Biotecnologia, engenharia genética e técnicas de manipulação do DNA; o segundo com os procedimentos detalhados para a utilização do aparelho, incluindo a preparação das soluções e do gel, a preparação do suporte do gel e a aplicação das amostras para o início da corrida eletroforética e o terceiro capítulo, contendo cinco experimentos que sugerem a investigação de casos como teste para provar a paternidade de um homem, e disputa de casais que tentam provar a paternidade de uma criança, a identificação de um vírus e o isolamento de um plasmídeo.

5 Procedimentos de uso ou aplicação

Procedimento

Preparação da solução tampão

- Adicionar em um frasco o equivalente a 3,8 gramas de borato de sódio em 1 litro de água preferencialmente destilada⁷. Caso não haja balança e água destilada disponíveis, adicionar o equivalente a meia colher de sopa de borato de sódio conforme figura 4 em um litro de água preferencialmente filtrada.
- Misturar bem até a solução ficar límpida.

Figura 4. Colher de sopa com borato de sódio (Foto: Arquivo pessoal)

Preparação inicial do suporte do gel

- Aplicar a fita adesiva nas laterais abertas do suporte conforme a figura 5, de modo

a evitar vazamento do gel enquanto estiver no estado líquido. Este procedimento vai permitir que o gel solidifique como um bloco uniforme. Deve-se evitar a obstrução da fenda onde o pente será encaixado. Após aplicada a fita adesiva, encaixar o pente nas fendas do suporte.

Figura 5. Preparação inicial do berço (suporte do gel): À esquerda a aplicação da fita adesiva nas bordas abertas. Deve-se ter o cuidado de vedar bem para evitar o vazamento do gel quando este for depositado. À direita, o berço preparado para receber o gel. (Foto: Arquivo pessoal)

Preparação do gel

- Pesar em um erlenmeyer de 250 ml, 1g da goma de ágar em pó e adicionar ao frasco sobre uma balança, a solução tampão de borato de sódio até completar 50 g. Neste caso, o gel preparado possui concentração de 2%. Caso não haja balança ou erlenmeyer disponíveis, usar um copo de 200 ml e adicionar uma colher de chá da goma de ágar (figura 6) a 50 ml da solução tampão de borato de sódio.

Figura 6. Colher de sobremesa com o pó de ágar. (Foto: Arquivo pessoal)

- Homogeneizar lentamente evitando a formação de bolhas, levar ao forno micro-ondas na potência máxima por 15 segundos, retirar, homogeneizar mais um pouco e observar, caso ainda haja muito precipitado, levar por mais 15 segundos ao

micro-ondas. Pode ser necessário que esta operação seja repetida por três vezes, ou seja, 3 X 15 segundos. Cuidado para não deixar entrar em ebulição, a fervura levaria a perda de material e alteração na concentração do gel. Caso a mistura não se torne homogênea, levar por mais dez segundos e ir observando (Figura 7).

- **Figura 7.** Comparação do gel antes (à esquerda) e após homogeneização (Foto: Arquivo pessoal)
- Com a solução relativamente homogênea, (mais límpida, ou seja, menos turva) deixar esfriar por alguns minutos para evitar que o acrílico do berço trinque com o calor, quando o gel for vertido.
 - Após resfriamento parcial, verter o gel de ágar ainda líquido no interior do suporte do gel, observando o nível do ágar para evitar que os dentes do pente fiquem totalmente submersos, uma vez que os pocinhos (slots) devem ser formados separadamente.
 - Esperar até que o gel solidifique, para acelerar o resfriamento, o conjunto pode ser levado ao congelador (cerca de 5 minutos) até obter uma consistência de uma gelatina bem firme, evite congelamento.
 - Retirar as fitas adesivas das extremidades do berço com muito cuidado para não deixar o gel cair. Neste caso o trabalho terá sido perdido!
 - Retirar o pente com cuidado para não rasgar o gel, observar os pocinhos (slots). Agora seu berço com o gel está pronto, como pode ser observado na figura 8._

Figura 8. Gel solidificado no berço com destaque nos pocinhos (slots) formados.

(Foto: Arquivo pessoal)

Aplicação das amostras no gel

- Abrir o frasco de corante e aplicar o equivalente a uma gota na tampa do frasco.
- Utilizar a seringa para sugar o conteúdo da tampinha. Limpar com papel o entorno da agulha para tirar o excesso de corante. A limpeza da agulha é necessária para evitar respingos ou manchas do corante sobre o gel.
- Aplicar o corante em um dos pocinhos do gel com cuidado para não perfurar o gel. Aplicar uma quantidade mínima no gel, correspondente a meia gota. A seringa deve ser lavada com água antes de repetir o procedimento de aplicação da outra amostra, para que não haja mistura dos corantes, conforme figura 9.

Figura 9. À esquerda, retirada da amostra da tampa do frasco com a seringa. Ao centro, aplicação da amostra no gel e à direita, lavagem da seringa antes de aplicar outra amostra. (Foto: Arquivo pessoal)

Preparação da cuba

- Colocar o berço com o gel e amostras no interior da cuba.
- Adicionar lentamente (evitando a difusão dos corantes) a solução tampão no interior da cuba até cobrir o gel, não aplicar a solução tampão diretamente sobre o gel, se possível, utilizar uma picete. Caso o suporte venha a flutuar, pressionar

lentamente até que fique no fundo da cuba. Observe a figura 10.

Figura 10. Adição da solução tampão na cuba. A adição da solução na cuba deve ser executada lentamente para evitar que as amostras (corantes) se misturem com a solução tampão, se difundindo fora dos slots do gel. (Foto: Arquivo pessoal)

- Conectar os cabos da fonte nos eletrodos da cuba, atentar para ligar o eletrodo de carga positiva na posição oposta à localização das amostras nos slots.
- Quando o sistema estiver pronto, ligar a fonte e aguardar por período entre 30 a 50 minutos.

Na figura 11 é possível observar o resultado após 35 minutos de corrida.

Figura 11. Corrida eletroforética com corantes. A figura da esquerda mostra o início da corrida eletroforética. No lado direito, o gel após 30 min de corrida, onde podemos observar a separação dos pigmentos constituintes do corante preto (slot de cima), corante vermelho (slot do meio) e corante azul (slot de baixo). O corante vermelho possui menor peso molecular, comparado ao corante azul. (Foto: Arquivo pessoal)

5.1. Materiais/ procedimentos

Material	Descrição	Tipo do arquivo
Kit para ensino de eletroforese	Kit constituído por fonte,	Kit para experimentos

6 Considerações finais

O kit didático foi produzido com base nos equipamentos utilizados em laboratórios de Biologia Molecular das Universidades e Centros de Pesquisa e pode ser facilmente usado para reproduzir e simular a eletroforese de ácidos nucleicos utilizando substâncias de fácil obtenção, baixo custo e inofensivas à saúde dos professores e estudantes. O uso com corantes alimentícios é apropriado para o ensino básico. Porém o aparelho também pode ser utilizado para eletroforese de ácidos nucleicos no ensino técnico e tecnológico e em cursos de graduação nas áreas de Biotecnologia, Biologia e Química, salvo suas devidas adequações metodológicas.

O custo de produção deste kit didático foi estimado em torno de R\$ 150,00, valor este baixo quando comparado a um kit de eletroforese vendido por empresas especializadas. Este valor não é tão elevado que não compense os benefícios didáticos e de aprendizagem de sua utilização simulando condições o mais próximo da realidade dos laboratórios de pesquisa, além da melhor apresentação e durabilidade do produto e maior adequação ao tempo das aulas e a fidelidade dos experimentos quando comparados aos outros relatos na literatura.

Referências

- [1] XAVIER, C. S. Desenvolvimento de kit didático sobre eletroforese através de um projeto de iniciação científica na escola e estudo de suas aplicações no ensino de biologia. Março de 2016. f. 134. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016.
- [2] TISELIUS, A. A new apparatus for electrophoretic analysis of colloidal mixtures. Transactions of the Faraday Society, 33: 524-531. 1937.
- [3] SMITHIES, O. Zone electrophoresis in starch gels. Biochem. J. v. 61, p.629-641, 1955.
- [4] THORNE, H. V. Electrophoretic Separation of Polyoma Virus DNA from Host Cell DNA. Virology, 29: 234-239. 1966.
- [5] BRAMMER, S. P. A técnica de eletroforese: importância e aplicações em análises genéticas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 13 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 6). Disponível: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do06.htm em 15.01.2016.
- [6] SAMBROOK, J. RUSSELL, D W. Molecular Cloning – A laboratory manual. 3ed, New York, Cold Spring Harbor, 2001, vol.1 p. 725.
- [7] LORETO, E. L. S. e SEPEL, L. M. N. Atividades Experimentais e Didáticas de Biologia Molecular e Celular. 2a Ed., Sociedade Brasileira de Genética. Ribeirão Preto. SP. 81p., 2003b.
- [8] CARMO, S.; SCHIMIN, E.S. O ensino da Biologia através da experimentação, 2008. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1085-4.pdf>. Acesso: janeiro, 2016.
- [9] BIZZO, N. Ciências: fácil ou difícil. Ed. Ática, São Paulo, SP, 1998.144p.

[10] SANTOS FILHO, F. S. Eletroforese: uma importante ferramenta da genética. *Genética na Escola*.v. 6, n. 2, p. 43-45, 2011.

[11] MARTINEZ, E. R. M.; PAIVA, L. R. S. Eletroforese de ácidos nucléicos: uma prática para o ensino de genética. *Genética na Escola*. v. 3, n. 1, p. 43-48. 2008.