

DNA & AMBIENTE: USO DO ENSAIO COMETA COMO FERRAMENTA PARA DISCUSSÃO INTERDISCIPLINAR DE LESÃO E REPARO DO DNA NA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Juliana da Silva

julianadasilva@uol.com.br

Agostinho Serrano de Andrade Neto

asandrade@brturbo.com

PPGECIM - ULBRA

Av. Miguel Tostes, 101

92420-280 - Canoas / RS

Resumo

A genética é tema discutido tanto no nosso dia-a-dia como em ambientes escolares. Conceitos da genética são ensinados tradicionalmente, indo de teorias evolutivas às síndromes cromossômicas. Hoje com a importância que é dada a tudo que diz respeito ao DNA / Genoma, se fazem necessárias modificações curriculares que enfoquem conceitos fundamentais da genética molecular (do DNA à síntese de proteínas). Nosso objetivo é obter subsídios para discutir a possibilidade de intervenções pedagógicas mais significativas dentro de alguns temas da genética, principalmente através de experimentos didáticos que possibilitem a discussão sobre genética e meio ambiente. Assim, escolhemos utilizar a técnica de Ensaio Cometa (*Comet Assay*), que permite avaliar lesão e posterior reparo no DNA de células ao sofrerem a ação de agentes genotóxicos – no nosso caso, estresse oxidativo de um exercício aeróbico. A atividade foi aplicada em um grupo de pós-graduandos em Ensino de Ciências e Matemática para avaliação conceitual sobre o DNA, desde a compreensão da sua estrutura, função, lesão (natural e/ou antropogênica) e reparo. Resultados indicam uma clara evolução conceitual, principalmente sobre lesão e reparo do DNA, em especial entre estudantes provenientes de outros cursos fora da Biologia. Também foram avaliadas as diversas representações utilizadas pelos estudantes para descrição do DNA.

Palavras-chave: Genética; Representações do DNA; Genotoxicidade; Ensino de Pós-Graduação; Experimentos didáticos.

1 Introdução

Decifrado há 50 anos, o DNA revolucionou o diagnóstico de doenças, a agricultura e a solução de crimes, entre outros campos. Transgenia, clonagem, biotecnologia, câncer, melhoramento genético, terapia gênica, código genético, paternidade (teste do DNA), mutações, são alguns dos temas que são discutidos na imprensa leiga. Programas de TV, desde desenhos a novelas, discutem estes temas, sendo quase impossível não ser assunto no dia seguinte na sala de aula. Assim, os meios de comunicação contribuem para ampliar a difusão do conhecimento científico, e que segundo Giordan e De Vecchi (1988) eles pelo menos tentam...

Sendo uma área de grande efervescência atual, é difícil até para o próprio geneticista se manter atualizado. Assim, não é incomum que a falta de conhecimento científico leve ao sensacionalismo sobre diferentes tópicos de genética. A genética está na moda! Conhecimento científico utilizado como mera estratégia de marketing, onde utilizam o DNA para vender mais. Com este bombardeio que sofremos todos os dias de informações errôneas, será que

somente leigos, aqueles que nunca assistiram uma aula de genética, possuem erros conceituais básicos?

A dificuldade no ensino de ciências, no que diz respeito a genética, decorre da própria complexidade do tema, e do reconhecimento da necessidade da interação entre as disciplinas. Esta interação depende de uma manipulação consciente e responsável dos princípios básicos e variáveis neste ambiente de aprendizagem que é a escola. A utilização de idéias e conceitos que os estudantes/educadores constroem no dia-a-dia muitas vezes têm se distanciado da lógica científica.

A interdisciplinaridade da genética é evidente, observa-se a necessidade de diferentes conceitos de diferentes disciplinas para a sua melhor compreensão. Encontros Internacionais, tendo como tema o ensino, têm discutido a inclusão de pesquisas sobre o genoma (Dyer e Le Blanc, 2002). A inserção de experimentos, discussão e avaliação de idéias têm sido encorajadas. Trabalhos enfocando a interdisciplinaridade como o centro das aulas sobre genética vem sendo colocado em pauta (Dyer e Le Blanc, 2002).

A interação entre pesquisadores de diferentes áreas já é bastante comum, observa-se trabalhos onde interagem geneticistas, químicos, bioquímicos, físicos, profissionais da informática, ética, entre outros, na compreensão de fenômenos ambientais, por exemplo.

Neto (1999) destaca que a pesquisa na área do ensino de ciências em diferentes programas de pós-graduação do Brasil vêm se desenvolvendo desde a década de 70, o que tem levado à uma melhoria deste campo no país. Das centenas de trabalhos que foram analisados pelo autor observa-se um grande “*gap*” no que diz respeito a estudos voltados para graduandos e pós-graduandos como objetos de estudo. O mesmo autor destaca a necessidade de se ampliar os trabalhos voltados a estes grupos.

Considerando o que foi colocado até aqui, nos propusemos a avaliar conceitos sobre o DNA, sua estrutura e funcionamento, no que envolve a compreensão de efeitos ambientais (de origem natural e/ou antropogênico) sobre este - lesão e reparo. Visto a intenção de ampliar este estudo, além da interpretação dos alunos de pós-graduação a respeito do assunto, aqui serão discutidos os resultados a respeito das concepções prévias dos estudantes (consideradas cruciais à aprendizagem sobre a interação DNA & Ambiente). Esta avaliação e uma outra posterior, após aulas expositivas, discussões (artigos científicos e programas de TV) e prática laboratorial poderão nos esclarecer sobre os processos dinâmicos de (re)estruturação de idéias, a partir de uma aprendizagem significativa avaliada através de resoluções de problemas, em situações imprevisíveis.

2 Pesquisa

2.1 Grupo estudado

A pesquisa foi desenvolvida com os alunos do curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática / PPGECIM – ULBRA. O número de estudantes utilizados no pré-teste foi de dez, o que corresponde a 100% dos alunos matriculados na disciplina de “Química, Física e Biologia para o Estudo do Ambiente”. Esta disciplina visa discutir aspectos básicos das ciências de forma interdisciplinar para o estudo do meio ambiente. Sendo assim, a escolha da genética como temática possibilitou utilizar ensaio cometa como atividade experimental. Para o pós-teste somente 60% da amostra foi utilizada (n=6), aqueles que participaram efetivamente de todas as atividades desenvolvidas na disciplina.

Os alunos têm entre 23 e 47 anos (Média = $37,5 \pm 6,9$), graduados em sua maioria em Biologia (50%). Os demais são provenientes de diferentes cursos: um estudante de cada curso de: Química, Farmácia, Administração Rural, Engenharia Civil e Engenharia Elétrica.

O grupo é heterogêneo, além das suas formações diversas, alguns alunos buscam o mestrado na perspectiva de continuarem seus estudos na Universidade (doutorado), outros buscam aprimoramento nesta área, com interesse específico no mercado de trabalho.

2.2 Atividades desenvolvidas

Foram realizadas entrevistas individuais com os estudantes, onde o conhecimento prévio ao início do processo de ensino foi identificado através de questionário – pré-teste com roteiro específico de perguntas, bem como após aulas expositivas e de laboratório através de pós-teste. A atividade foi realizada no primeiro semestre de 2003, sendo o pré-teste em maio e o pós-teste em julho, em um total de sete aulas. Foi proposto aos alunos uma situação problema e exercícios escritos e de representações esquemáticas (Anexo 1).

A seguir, as aulas procederam-se discutindo temas mais amplos de genética e ambiente, conceitos sobre os temas não fazia parte dos objetivos deste curso. Por ser um grupo que não era formado 100% por biólogos, fez-se necessário discutir um pouco sobre cromossomos, divisão celular, estrutura do DNA, síntese de proteínas. Após certo embasamento entrou-se em discussões sobre os agentes ambientais, naturais ou sintéticos, sua forma de ação, dano ao DNA e reparo, suscetibilidade genética, acompanhados por um livro-texto (Da Silva *et al.*, 2003). Também foi realizada atividade em laboratório: os alunos realizaram caminhada de 30 minutos, para induzir dano oxidativo no DNA, e para a prática foi coletada uma amostra de sangue de cada indivíduo (uma ou duas gotas) antes e outra amostra depois do exercício. Com as amostras de sangue realizaram um teste de detecção de danos ao DNA (Ensaio Cometa - Cotelle e Féraud, 1999; Da Silva *et al.*, 2000). O Ensaio Cometa (“Single Cell Gel electrophoresis”) é uma técnica rápida, sensível e barata – portanto factível de ser utilizada no ensino – para a quantificação de lesões e detecção de efeitos de reparo no DNA em células individuais de mamíferos. Este teste apresenta algumas vantagens sobre os testes bioquímicos e citogenéticos, entre estas a necessidade de somente um pequeno número de células e de não ser necessário células em divisão, sem falar dos custos. As células englobadas em gel sobre uma lâmina são submetidas a uma corrente elétrica, que faz migrar para fora do núcleo os segmentos de DNA livres, resultantes de quebras. Após a eletroforese, as células que apresentam um núcleo redondo são identificadas como normais, sem dano reconhecível no DNA. Por outro lado, as células lesadas são identificadas visualmente por uma espécie de cauda, como de um cometa, formada pelos fragmentos de DNA. Estes fragmentos podem se apresentar em diferentes tamanhos, e ainda estarem associados ao núcleo por uma cadeia simples. Para alguns autores o tamanho da cauda é proporcional ao dano que foi causado, mas somente é de consenso que a visualização do “cometa”, significa dano ao nível do DNA, podendo ser quebra simples, duplas, *crosslinks*, sítios de reparo por excisão e/ou lesões álcali-lábeis. A identificação do dano no DNA pode ser feita por diferentes maneiras, uma forma é medir o comprimento do DNA migrante com a ajuda de uma ocular de medidas, outra forma é classificar visualmente em diferentes classes as células com dano (Figura 1), podendo se obter um valor arbitrário que expresse o dano geral que uma população de células sofreu.

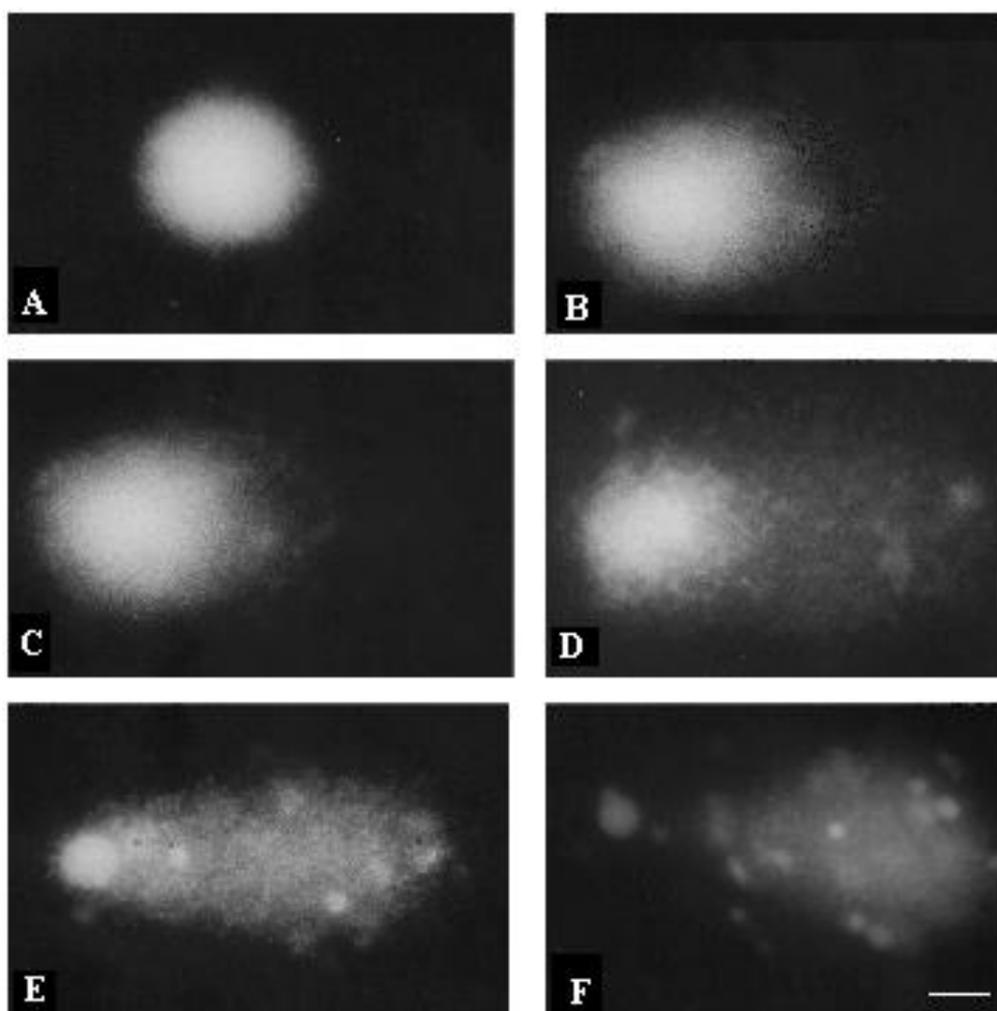


Figura 1. Classes dos *COMETAS*, desde sem dano até máximo de lesão: A= classe zero / sem dano; B= classe I; C= classe II; D= classe III; E= classe IV; F= apoptose / morte celular (adaptado de Da Silva *et al.*, 2000).

3 Resultados e Análises

3.1 Avaliação dos questionários

A comparação dos questionários dos estudantes foi realizada a partir da proposição de categorias de análise que refletissem sobre a compreensão a respeito do assunto. As respostas foram analisadas procurando-se pontos em comum, que possibilitasse o agrupamento. Primeiramente avaliaram-se os questionários em duas etapas:

(A) avaliação sobre modelo do DNA e conceitos (*Questões 1-2*);

(B) avaliação sobre conceitos de como o DNA pode ser lesado e reparado (enfoque ambiental) (*Questões 3-8*).

Com relação às respostas, foram propostas categorias baseadas nos trabalhos de Falcão e Barros (1999) e Griffin *et al.* (2003). Assim, dentro de cada etapa, A e B, as respostas dos estudantes foram agrupadas em:

- (0) **Sem resposta** - Respostas do tipo *não sei* ou em branco;
- (1) **Resposta Pobre / Sem informação** – Respostas que não indicavam compreensão do aluno sobre o tema;
- (2) **Resposta Fraca / Racionalidade Científica não Compatível com Modelo Científico** - Respostas que manifestam uma certa compreensão dos conceitos, mas sem fundamentação teórica;
- (3) **Resposta Satisfatória / Racionalidade Científica com Certa Compatibilidade com o Científico** - Respostas que demonstram compreensão dos elementos científicos mais importantes;
- (4) **Resposta Excelente / Expressa Racionalidade Científica com ou sem Refinamento de Modelo Compatível** - Percebe-se compreensão total sobre a resposta, podendo apresentar refinamento nas respostas (discussões além do questionado).

Na Tabela 1 e 2, é possível observar todas as respostas dos estudantes já separadas em categorias para cada questão, bem como nas Figuras 2, 3, 5 e 6. Em relação às respostas ao questionário, para cada questão foi atribuído um valor numérico, referente à Classe, somando-se os valores atribuídos para cada questão geramos um valor arbitrário. Este Índice Arbitrário foi atribuído à cada sujeito avaliado, podendo variar de 0 (8 questões X 0 - Classe) até 32 (8 questões X 4 - Classe). Na Figura 5, pode-se observar este Índice gerado por indivíduo, bem como as médias por Etapa e por Grupo de origem.

Com base nas Tabelas 1 e 2 e Figura 2, observa-se que os estudantes apresentaram um certo conhecimento sobre o que é o DNA e a sua função (questões 1 e 2), mas que a respeito dos agentes ambientais e naturais e seus efeitos sobre o material genético este conhecimento era bastante falho. Observe na Figura 2 que ao final da disciplina (pós-teste) o número de respostas classificadas como 4 (Excelente) aumenta nitidamente.

Olhando ainda com um maior cuidado, verifica-se que a Questão 6 foi a que resultou em uma melhora mais clara, onde um maior número de indivíduos passou de respostas sem ou com alguma compatibilidade científica para respostas que expressassem compatibilidade científica (Classe 4). 80% dos alunos chegaram a uma compreensão excelente sobre reparo, o que antes da disciplina não era observado. Pode-se sugerir aqui a eficiência de um dos dispositivos didático utilizado, a aula prática. Como a aula prática focava o efeito do estresse oxidativo devido à atividade aeróbica, é possível que os alunos tenham percebido que a lesão é bem mais comum que normalmente se supõe (questão 6). Além disto, a ocorrência de lesões tão frequentes deve, naturalmente, ser seguida pela atuação de um mecanismo de reparo eficiente que atue logo em seguida. Esta metodologia simples foi utilizada como estratégia, permitindo discutir desde os agentes ambientais e naturais que causam danos até mecanismos de proteção dos organismos, o que parece ter levado a um resultado satisfatório. Alguns dos teóricos citados por Villani (1999), como Ausubel e Novak, consideram estratégias e recursos didáticos como instrumentos que permitem a manipulação de variáveis do processo ensino-aprendizagem e são eles os “organizadores prévios” e os “mapas conceituais”. A mesma

autora comenta a respeito destes “dispositivos” como já utilizados como recurso por diversos autores.

Tabela 1. Categorização das respostas dos alunos quanto a sua compreensão sobre o tema DNA, antes do início das discussões (*Pré-Teste*).

QUESTÕES	NÚMERO TOTAL DE ALUNOS / CLASSE DE RESPOSTA				
	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
(A) DNA X CONCEITOS					
1. O que é o DNA e qual a sua função?	3	6	1	0	0
2. Desenhe o modelo do DNA que você utiliza.	1	2	4	1	2
(B) DNA X AMBIENTE - LESÃO / REPARO	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
3. Quais fatores você acha que podem levar a modificações no DNA?	2	4	3	1	0
4. O que você pensa que acontece com uma célula após seu DNA ser lesionado?	2	0	8	0	0
5. “O homem na era pré-industrial tinha seu DNA intacto pela maior parte de sua vida”. Você concorda ou discorda desta afirmação? Explique	1	4	0	5	0
6. E quanto a suas próprias células? Quando você supõe que o DNA das suas células sofre alteração? Quantas vezes por ano?	0	1	3	4	2
7. As modificações que podem ocorrer no seu DNA sempre são maléficas? Explique.	1	3	5	1	0
8. O que aconteceu com o DNA dos roedores do texto do início da folha? Comente e explique a descoberta dos cientistas: a variabilidade genética da espécie permaneceu a mesma.	0	2	2	6	0

Tabela 2. Categorização das respostas dos alunos quanto a sua compreensão sobre o tema DNA após aulas expositivas, laboratoriais e discussões (*Pós-Teste*).

QUESTÕES	NÚMERO TOTAL DE ALUNOS / CLASSE DE RESPOSTA				
	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
(A) DNA X CONCEITOS					
1. O que é o DNA e qual a sua função?	2	4	0	0	0
2. Desenhe o modelo do DNA que você utiliza.	1	1	4	0	0
(B) DNA X AMBIENTE - LESÃO / REPARO	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
3. Quais fatores você acha que podem levar a modificações no DNA?	4	1	1	0	0
4. O que você pensa que acontece com uma célula após seu DNA ser lesionado?	3	2	0	0	1
5. “O homem na era pré-industrial tinha seu DNA intacto pela maior parte de sua vida”. Você concorda ou discorda desta afirmação? Explique	4	1	1	0	0
6. E quanto a suas próprias células? Quando você supõe que o DNA das suas células sofre alteração? Quantas vezes por ano?	5	0	1	0	0
7. As modificações que podem ocorrer no seu DNA sempre são maléficas? Explique.	3	2	1	0	0
8. O que aconteceu com o DNA dos roedores do texto do início da folha? Comente e explique a descoberta dos cientistas: a variabilidade genética da espécie permaneceu a mesma.	3	1	0	2	0

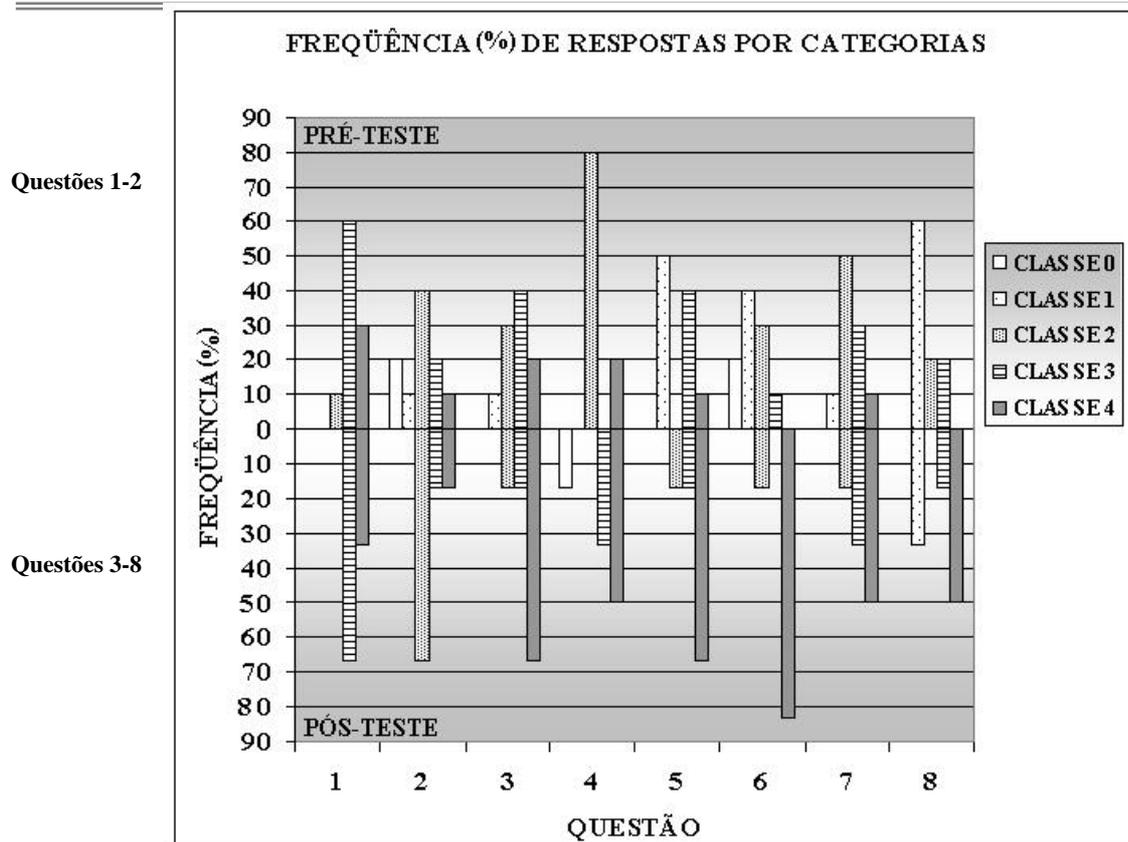


Figura 2. Gráfico representando a frequência das respostas dos estudantes ao pré-teste e pós-teste em relação às categorias (Classe 0-4), para cada questão (Questões de 1-8).

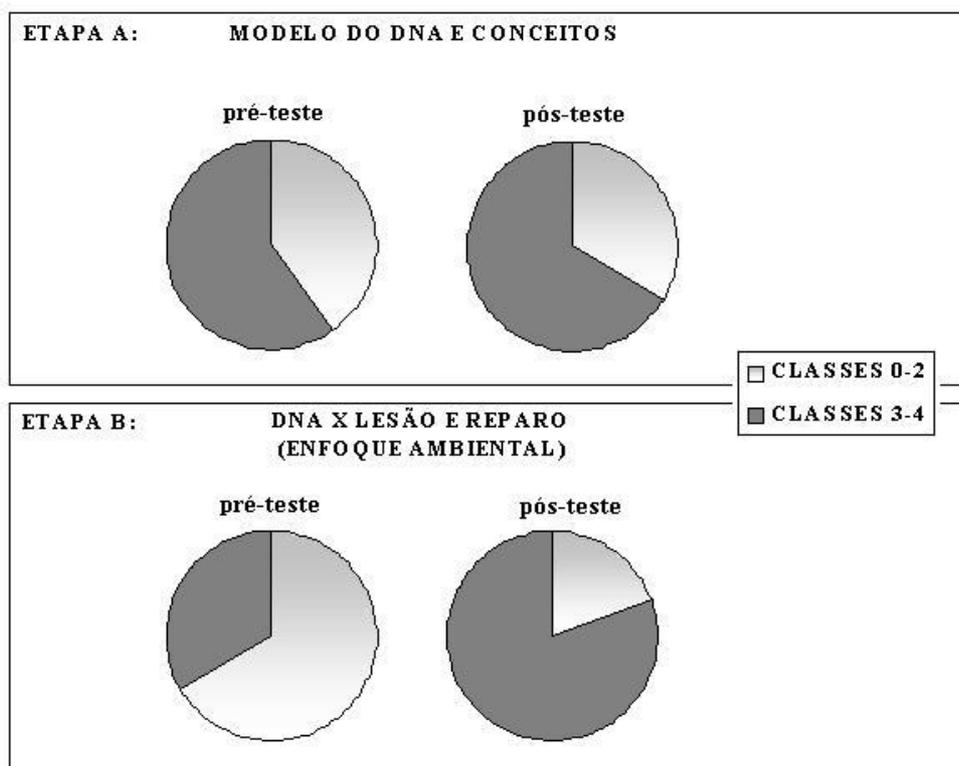


Figura 3. Representação do agrupamento entre Classes (Porcentagens por Classes 0-2 e Classes 3-4) por Etapa de avaliação: (A) Conceitos e (B) Enfoque Ambiental (Lesão X Reparo).

A comparação dos dados resultantes das duas avaliações (Figura 3), pré- e pós-teste, revela mais uma vez que para cada etapa (Bloco de Questões) as porcentagens de acertos

mostraram-se maiores após a implementação da disciplina. Sendo que o conhecimento sobre a estrutura e função do DNA (Etapa A) era maior previamente que o conhecimento sobre dano e reparo (Etapa B), mas que após aulas teóricas e prática os estudantes tiveram elevados seus níveis de conhecimento. Percebe-se que a melhora das respostas, passando de fracas e pobres (Classes 0-2) para satisfatórias e excelentes (Classes 3-4), se deu principalmente a respeito de efeitos ambientais e naturais sobre o DNA, e a capacidade deste de se reparar (Etapa B).

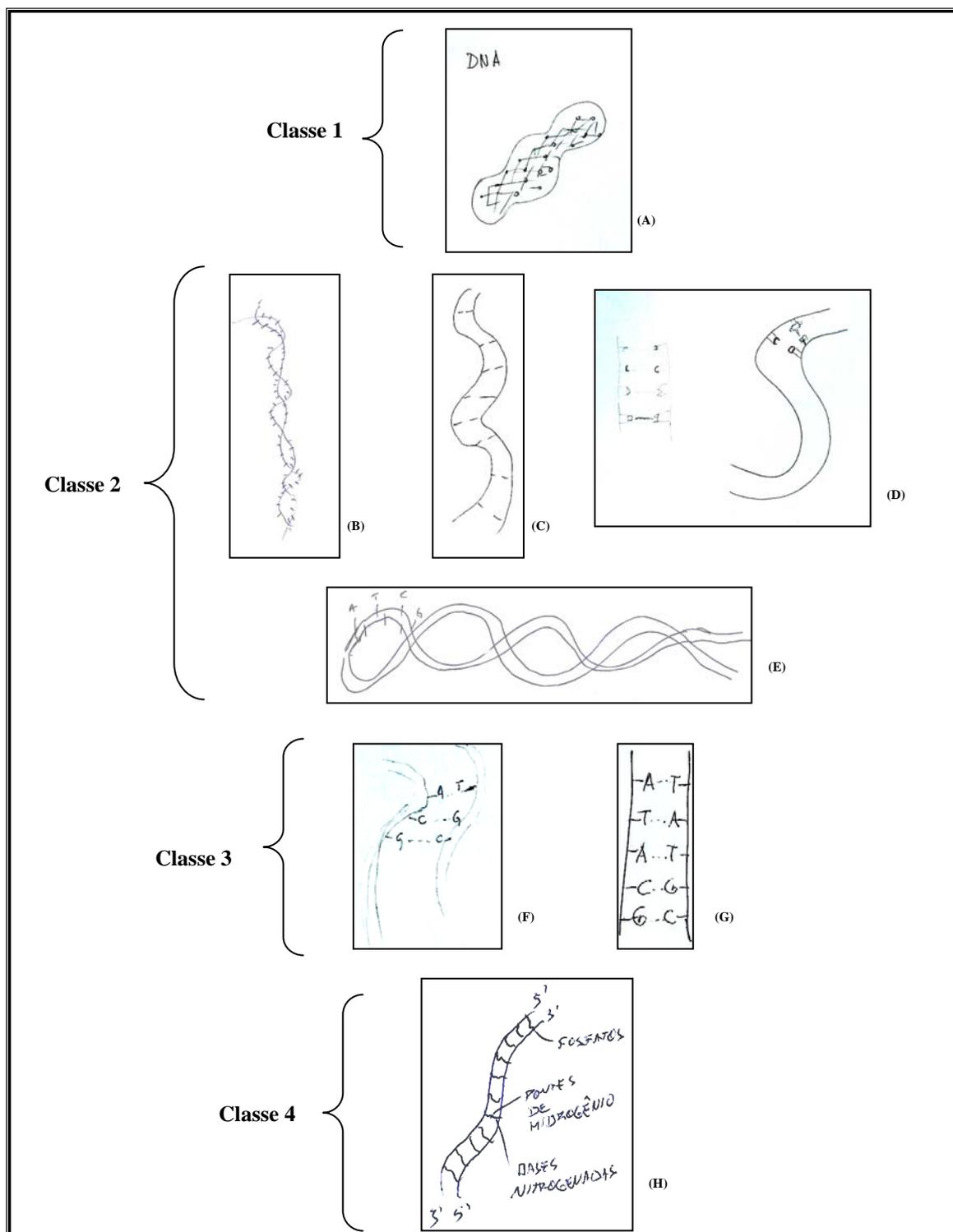


Figura 4. Representações da estrutura do DNA realizadas pelos alunos no Pré-teste e sua classificação.

Observando-se ainda a Figura 6, aonde foi utilizado o Índice Arbitrário criado, fica ainda mais evidente a evolução conceitual sobre dano e reparo do DNA, apresentando uma diferença significativa quando comparados pré- e pós-teste ($P < 0,05$), e também que esta etapa (B) foi a responsável direta da mudança geral observada. Os resultados de aprendizagem dos alunos apontam para a efetividade do emprego dos recursos didáticos na organização do contexto de ensino de DNA & Ambiente. Mas, apesar disto, visto que não apresentou-se grande melhora na Etapa A, talvez por não ser objetivo da disciplina rever conceitos e sim a compreensão do todo sobre poluição e seu efeito sobre os organismos, alguns aspectos básicos - conceituais devem ser revistos.

Com base na Figura 4 e Tabela 1, observa-se que em torno de 30% das respostas demonstraram que pelo menos uma certa compreensão dos elementos científicos sobre a estrutura do DNA e armazenamento de informação genética ocorre, e que mesmo após o curso não se observou melhora neste valor para o resto da amostra, reforçando a necessidade de rever a estratégia de ensino. Os modelos desenhados pelos estudantes foram classificados em quatro categorias, conforme ilustrado na Figura 4. Dois alunos estão na Categoria 0, ou seja, não tentaram esboçar nenhum desenho (não representados). Na Categoria 1, encontra-se a figura 4.A, onde estudantes não fazem menção a elementos estruturais básicos do DNA. A Categoria 2, representadas pelas Figuras 4.B, C, D e E já esboçam elementos estruturais básicos – i) estrutura em duas fitas; ii) forma espiralada; iii) e por vezes traços internos como conectores (Figura 4.D) ou traços internos como bases nitrogenadas (Figura 4.E). Dessa forma, esta categoria indica que os estudantes sentem a necessidade de estruturar a molécula de DNA inicialmente, na forma de dupla fita espiralada e, podendo complementar esta estrutura com indicativos da funcionalidade destes traços – pontes de hidrogênio para a conservação da estrutura espiralada – ou com informações sobre elementos da funcionalidade do DNA, como as bases nitrogenadas (informação genética). A Categoria 3 possui todos os elementos anteriores, e ainda distingue a dupla função das bases nitrogenadas para conservação da estrutura espiralada (pontes de hidrogênio) e como informação genética. Também existe a noção de complementariedade das fitas (A e T; G e C). Finalmente, a Categoria 4 apresenta todos os elementos anteriores e adiciona a direção (5' e 3') das fitas (anti-paralelas), que se relaciona com o mecanismo de síntese protéica. Além disto, menciona os “fosfatos”, ou seja, mais uma molécula da estrutura do DNA, componente do nucleotídeo (uma base nitrogenada, mais uma açúcar - pentose, mais grupo fosfato). Os desenhos sugerem que elementos para representação do DNA, em estudantes, devam incluir informações estruturalizadoras e o elemento essencial da informação genética.

Cem por cento dos estudantes testados na segunda fase (pós-teste) apresentaram melhora no desempenho. Olhando com maior atenção, verifica-se que os alunos de áreas não biológicas (Figura 5), apresentaram uma evolução conceitual significativa ao nível de entendimento sobre dano e reparo do DNA, enquanto que a melhora entre os biólogos não foi estatisticamente significativa. 40 % dos estudantes são professores de primeiro e segundo graus (4 dos biólogos), talvez por este motivo este grupo apresentou um conhecimento prévio melhor que os alunos provenientes das outras áreas. Mas após os procedimentos didáticos foi o grupo “outras áreas” que apresentou um melhor desempenho. Talvez os estudantes de biologia apresentem alguma resistência a mudança de conceitos.

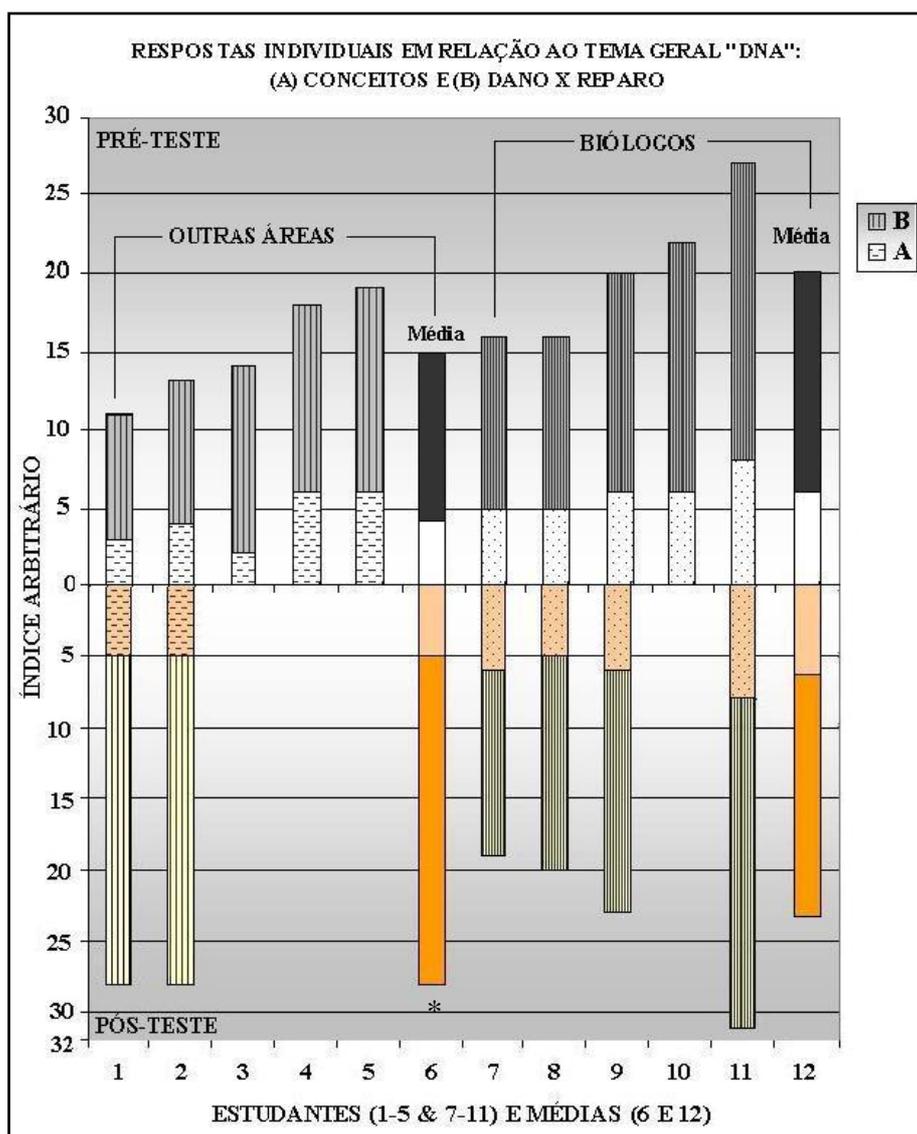


Figura 5. Médias e valores individuais (por estudante) em relação ao índice arbitrário gerado sobre as respostas (ver texto). * $P < 0,05$ para média geral (A+B) / Teste t-Student.

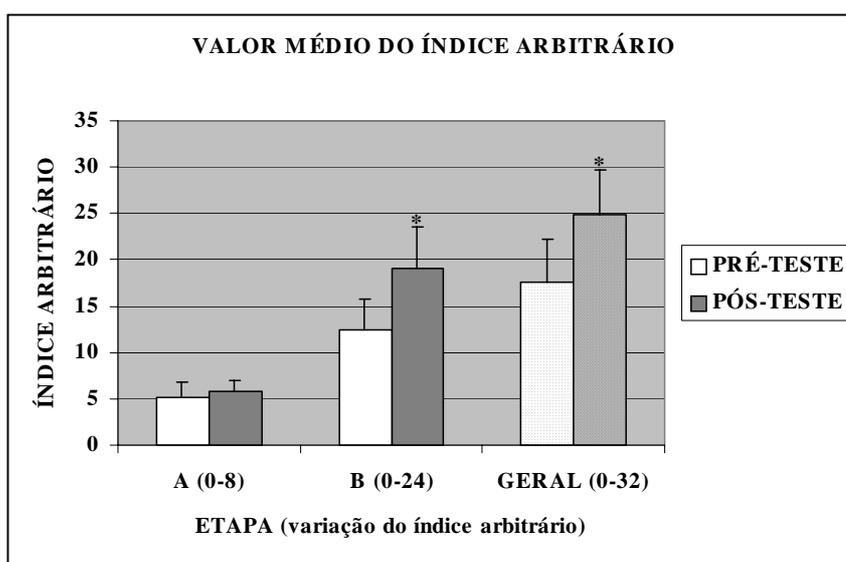


Figura 6. Médias em relação ao índice arbitrário gerado sobre as respostas para a Etapa A, Etapa B, e sobre o tema Geral "DNA". * $P < 0,05$ / Teste t-Student.

4 Conclusões Preliminares

Os conhecimentos são dificilmente transmitidos, tanto no plano individual como social, sua transferência, de um nível ao outro de ensinamento, parece ser igualmente difícil. Segundo Giordan e De Vecchi (1988), professores do ensino superior culpam os do nível secundário, e estes os do primário. Os mesmos autores ainda ressaltam que não existe um ensinamento integrador, e que é por isto que ocorre uma lacuna em muitos dos temas estudados.

O DNA é um dos grandes descobrimentos da ciência contemporânea, sendo que seu conhecimento foi rapidamente popularizado. Os meios de comunicação graças a estrutura do DNA, imagens fantásticas, e explicações sobre o código genético, influenciaram na introdução deste tema nos programas de ensino. A Biologia Molecular mesmo fazendo parte dos programas de ensino ainda hoje apresentam muitas carências, o que pode ser observado neste estudo.

O uso de experimentos didáticos no ensino interdisciplinar de ciências é desejável, pois fornece subsídios à discussão de temas que permeiam diversas ciências. Em particular, o Ensaio Cometa é uma técnica barata e que permite abordar a temática de lesão e reparo do DNA, provocada tanto por efeitos simples como estresse oxidativo como de outros fatores genotóxicos. Aspectos qualitativos da lesão do DNA podem ser abordados, e também aspectos quantitativos, como a frequência das lesões que ocorre naturalmente. Consideramos que, hoje em dia, várias universidades do país que possuem laboratório de genética podem utilizar esta técnica para integrar este tema no ensino, tanto na graduação, como na pós-graduação. Além disto, utilizar experimentos didáticos que envolvam a atuação de fatores ambientais na genética de seres vivos permite discutir conceitos básicos das diversas ciências. Um dos resultados observados é que estudantes de engenharia, por exemplo, apresentam um aprendizado significativo da temática da genética, em especial, sobre lesão e reparo. Já o aprendizado da estrutura e função do DNA não apresentou, na nossa investigação, uma melhora substancial, talvez por não ter sido abordada representações microscópicas do funcionamento da genética em nível molecular. Entretanto, conhecimento básico sobre a função e estrutura do DNA foi satisfatoriamente apresentado pelos estudantes após a atividade.

As representações utilizadas pelos estudantes de área ou não da biologia refletem a necessidade de descrever a estrutura do DNA e sua composição química (entre as fitas), e suas funções (código genético). Assim, as representações dos estudantes refletem modelos científicos com nenhuma ou algumas concepções alternativas, à medida que incluem ou não os elementos supracitados. Estas representações podem servir para categorizar os estudantes, pois podem refletir o grau de conhecimento científico apresentado por eles.

Desta forma, faz-se necessário investigar ainda mais o processo de aprendizagem no que se refere ao tema tratado, quanto aos conceitos, desde antes de concluído os cursos específicos de graduação, e até mesmo os livros didáticos disponíveis sobre o assunto, juntamente aos métodos de ensino utilizados. É importante salientar também a necessidade de se utilizar e avaliar diferentes estratégias, e métodos mais novos, como o Ensaio Cometa, principalmente quando tratados de temas mais complexos como dano e reparo do DNA. Este método se mostrou eficaz entre os pós-graduandos avaliados neste estudo, permitindo inclusive discussões entre diferentes disciplinas como química, física e biologia.

Referências Bibliográficas

- COTELLE, S., e FÉRARD, J.F. Comet assay in genetic ecotoxicology: A review. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 34, 246-255, 1999.
- DA SILVA, J., FREITAS, T. R. O., MARINHO, J. R., SPEIT, G., e ERDTMANN, B. Alkaline Single-Cell Gel Electrophoresis (Comet Assay) to Environmental In Vivo Biomonitoring With Native Rodents. *Genetics and Molecular Biology*, 23 (1), 241-245, 2000.
- DA SILVA, J., ERDTMANN, B., e HENRIQUES, J.A.P. (orgs.). *Genética Toxicológica*, ed. 1. Porto Alegre, Alcance, 2003, 424 pp.
- DYER, B.D., e LEBLANC, M.D. Meeting report: Incorporating genomics research into undergraduate curricula. *Cell Biology Education*, 1 (4), 101-104, 2002.
- FALCÃO, D., e DE BARROS, H. L. Estudo de impacto de uma visita a uma exposição de um museu de ciências. 2. *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*, 1999.
- GIORDAN, A., e DE VECCHI, G. Los origenes del saber., ed. 1, Sevilla, Diada, 1988, 240 pp.
- GRIFFIN, V., MCMILLER, T., JONES, E., e JOHNSON, C.M. Identifying novel helix-loop-helix genes in *Caenorhabditis elegans* through a classroom demonstration of functional genomics. *Cell Biology Education*, 2 (1), 51-62, 2003.
- NETO, J. M. O que sabemos sobre a pesquisa em ensino de ciências no nível fundamental: Tendências de teses e dissertações defendidas entre 1972 e 1995. 2. *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*, 1999.
- VILLANI, V.G. Um contexto de ensino e a aprendizagem da fisiologia humana. 2. *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*, 1999.

Apoio parcial: **CAPES, CNPq, FAPERGS, PPGECIM/ULBRA**

ANEXO 1

No leste europeu ocorreu um acidente no reator nuclear de Chernobyl, em que o núcleo do reator, devido a falhas mecânicas e humanas teve uma súbita mudança de temperatura, que provocou a sua explosão, jogando grande quantidade de fumaça com elementos radioativos na atmosfera. Esta fumaça radioativa contaminou uma grande área nos arredores da região, que sofreu e ainda sofre os efeitos. Logo após o acidente, uma análise de roedores da região mostrou que a variabilidade genética destes roedores era idêntica a de roedores da mesma espécie em outros lugares do mundo.

Após a leitura deste texto, responda às questões:

1. O que é o DNA e qual a sua função?
 2. Desenhe o modelo do DNA que você utiliza.
 3. Quais fatores você acha que podem levar a modificações no DNA?
 4. O que você pensa que acontece com uma célula após seu DNA ser lesionado?
 5. “O homem na era pré-industrial tinha seu DNA intacto pela maior parte de sua vida”. Você concorda ou discorda desta afirmação? Explique.
 6. E quanto a suas próprias células? Quando você supõe que o DNA das suas células sofre alteração? Quantas vezes por ano?
 7. As modificações que podem ocorrer no seu DNA sempre são maléficas? Explique.
 8. O que aconteceu com o DNA dos roedores do texto do início da folha? Comente e explique a descoberta dos cientistas: a variabilidade genética da espécie permaneceu a mesma.
-