



UMA MANEIRA INTERATIVA DE ENSINAR GENÉTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL BASEADA NO RESGATE DA HISTÓRIA E NA INTRODUÇÃO LÚDICA DE TÉCNICAS MOLECULARES

Leandro Marcio Moreira ^{1,2#} e Marcelo Luiz de Laia ³

¹ Colégio Petrópolis - Av. Pery Ronchetti 890, Nova Petrópolis, São Bernardo do Campo, CEP 09771-000 - SP, Brasil; ² Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo (IB-USP) - Rua do Matão 277, Caixa Postal 11461, CEP 05422-970 - SP, Brasil; ³ Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Jaboticabal, Departamento de Tecnologia, Jaboticabal, CEP 14880-900 - SP, Brasil.

Correspondências podem ser enviadas para LMM (Colégio Petrópolis), E-mail: lmmorei@gmail.com

Palavras-chave: Ensino de Genética, PCR, FISH, Eletroforese, História da Genética, Ensino Fundamental

Resumo

Neste trabalho são apresentadas metodologias lúdicas de baixo custo que, em associação às informações selecionadas e obtidas da internet, permitiram a elaboração de um programa de ensino capaz de estimular alunos a refletirem a respeito da importância da Genética para o conhecimento humano. Inicialmente foi feito um resgate da história da Genética, norteado por um estudo cronológico das descobertas a partir de 1842. Além de envolver cientistas de todo o mundo, esta metodologia permitiu o resgate das descobertas feitas por alguns pesquisadores brasileiros de destaque, embora pouco conhecidos no ensino de Ciências. Para o estudo e montagem do cariótipo humano foram produzidas réplicas de células humanas em papel A4, contendo uma composição cromossômica variada, o que possibilitou o estudo de nove diferentes síndromes em uma só atividade. Com relação ao uso das técnicas moleculares (PCR, Eletroforese e FISH) foram utilizados apenas os recursos disponíveis em uma sala de aula comum, tendo como matéria prima básica os próprios alunos, possibilitando assim maior interatividade entre professor-aluno ou mesmo entre alunos.

Introdução

A Genética sempre despertou no homem uma grande curiosidade, mesmo que só tenha ficado conhecida e categorizada oficialmente como um ramo de estudo da Biologia em 1905, quando o geneticista inglês William Bateson usou o termo, derivado da palavra grega *genno* (fazer nascer), ao enviar uma carta ao então geólogo Adam Sedgwick, cerca de quarenta anos após a clássica publicação dos resultados obtidos por Gregor Mendel (STURTEVANT, 2001). Antecedendo a este período de estudos práticos, os cientistas e até mesmo

peças com menos conhecimento sempre foram atraídas por observações e curiosidades, de tal forma que é fácil encontrar vestígios destas observações em diversas culturas, a exemplo dos tão conhecidos personagens que fazem parte da clássica mitologia grega (BARTSOCAS, 1988; MITTWOCH, 2000; 2005), bem como de personagens que agregam valores culturais nos cinco continentes (LINDEMANS, 1995-2005).

Em contraposição ao fato de que a Genética desperta o interesse e a curiosidade das pessoas, pouco da informação sobre esta ciência chega ao conhecimento popular de uma forma simples e compreensível, pois os meios de comunicação pouco divulgam a respeito do assunto, principalmente os jornais e programas de televisão, salvo quando algum tema inovador ou polêmico aflora. O mesmo comportamento ocorre com alunos dentro de sala de aula, essencialmente nos níveis básicos de ensino (Ensino Fundamental - EF e Médio - EM), motivo pelo qual há, naturalmente, pouco interesse pelo estudo da disciplina. No entanto, quando o tópico a ser estudado em Genética passa a ser o estudo das anomalias humanas, o interesse momentâneo se manifesta, surtindo resultados extremos e uma aplicação eficiente, garantindo a aquisição do conhecimento (BANET e AYUSO, 2000). Diante desta observação, usar o tema para dar continuidade ao interesse se faz necessário, pois aguça a curiosidade e evita uma fuga do cotidiano dos alunos (BANET e AYUSO, 2000; CAMARGO e INFANTE-MALACHIAS, 2007).

Com base nesta perspectiva de mudança, ferramentas lúdicas de fácil confecção, aplicação e de baixo custo foram desenvolvidas com o intuito de facilitar a compreensão de conceitos e técnicas relacionadas ao estudo de Genética, repercutindo de forma positiva de acordo com a avaliação dos próprios alunos. Além disto, o uso destas metodologias estimulou os alunos a buscarem novas informações, impulsionados por terem livre

acesso à internet. É importante destacar que metodologias parecidas já foram feitas com sucesso nestes níveis de ensino, demonstrando que é possível ensinar Biologia Molecular para crianças e adolescentes (MOREIRA, 2007).

Além de apresentar as ferramentas, a seguir são destacadas abordagens que resgataram um pouco da história dos estudos da Genética no âmbito mundial e brasileiro, bem como dos personagens que a fizeram, dando ênfase num resgate cultural/científico nacional tão pouco difundido nas escolas do nosso país. Ao mesmo tempo, serão destacados de que maneira foram abordadas as principais técnicas de Biologia Molecular (PCR, Eletroforese e FISH), usadas com frequência na detecção de síndromes e mutações, para o EF.

Objetivos

- Incorporar a valorização do conhecimento a respeito de tecnologias de ponta utilizadas em Biologia Molecular para diagnóstico de mutações e síndromes, tendo como referencial o resgate da história da Genética, difundindo um pouco da cultura científica e dos pesquisadores que a fizeram.
- Promover o conhecimento e resgatar a importância de cientistas brasileiros internacionalmente conhecidos.
- Elaborar mecanismos e ferramentas lúdicas de baixo custo para difundir o ensino de Genética e Citogenética nos EF e EM, essencialmente na determinação de anomalias genéticas humanas.

Metodologias propostas

Tendo em vista que este trabalho foi elaborado a partir de múltiplas metodologias preparadas e aplicadas durante praticamente um semestre do ano letivo, achou-se por bem descrevê-las individualmente, cada uma com suas próprias abordagens, seus resultados e discussões.

1) Resgatando a história da Genética e a cultura científica nacional

A Genética ficou categorizada como sendo um ramo específico da ciência apenas em 1905, pelo cientista William Bateson, mas já em 1842 havia relatos de estudos catalogados a respeito do assunto (STURTEVANT, 2001). Hoje, a Genética, bem como outros ramos da Ciência, evoluiu muito devido às inúmeras descobertas básicas que se seguiram desde o século XIX. Portanto, conhecer um pouco da história é essencial para se compreender o que norteia as atuais descobertas e interesses científicos, e de fundamental importância na busca da formação do conhecimento científico sistematizado (CARNEIRO e GASTAL, 2005).

Durante a realização desta metodologia são destacadas as atividades de resgate histórico da Genética em duas abordagens diferenciadas: a primeira envolvendo as principais descobertas entre os anos de 1842 e o atual pe-

ríodo, com destaque exclusivo de cientistas estrangeiros e que são continuamente apresentados em livros didáticos; e a segunda dando destaque a cientistas brasileiros conhecidos internacionalmente pelas suas pesquisas e descobertas nesta área, mas ainda muito pouco estudados em sala de aula.

1.1) Material e Métodos

Com o intuito de fazer com que a Genética fosse mais amplamente conhecida do que simplesmente focada na resolução de exercícios em sala de aula, elaborou-se uma lista contendo os nomes de 32 cientistas que desenvolveram pesquisas marcantes no campo da Genética e Citogenética, permitindo que os alunos tivessem acesso ao conhecimento gerado pelos mesmos. Na prática, cada dupla ou trio de alunos ficou incumbido de pesquisar uma determinada celebridade, adquirindo o máximo de informações que pudesse levantar a respeito da mesma. Em muitos casos foi necessário o auxílio do departamento de línguas do colégio, já que uma série de fontes de pesquisa se apresentava redigida em língua não nativa.

De posse do levantamento de dados, os alunos passaram a preparar sínteses das informações capazes de sumarizar as atividades e propostas científicas elaboradas por estes cientistas. A proposta era gerar um único texto minimizado que pudesse relatar de maneira cronológica os acontecimentos do passado. Durante a elaboração das atividades foi constatado que apenas a apresentação do texto sumarizado deixava a metodologia muito monótona. Assim, deu-se início à preparação, em paralelo, de uma figura central de apoio a esta análise, permitindo uma associação de imagens das personalidades à sua importância para o conhecimento científico (**Figura 1**). Todas as imagens da figura foram obtidas através de diferentes sítios da internet.

Do mesmo modo que os alunos formaram duplas (ou trios) para o estudo de personalidades mundiais, grupos contendo cinco alunos passaram a pesquisar sobre os principais geneticistas brasileiros que fizeram história. Diferentemente da proposta anterior, desta vez os alunos puderam pesquisar sobre qualquer celebridade sem tomarem como ponto de partida um nome em especial. Após a pesquisa, ainda em sala de aula, foi feita uma estatística para relatar os principais achados dos alunos, e, conseqüentemente, os personagens mais representativos nas pesquisas passaram a ser estudados e discutidos com mais profundidade (**Tabela 1**).

1.2) Resultados e Discussões

Tanto a figura (Figura 1) quanto o texto referente a esta temática foram desenvolvidos pelos próprios alunos. Os professores/tutores ficaram incumbidos apenas de adicionar comentários, bem como as referências corretas (originais), no texto, já que a maioria dos alunos acabou obtendo informações da própria internet. O intuito central da adição das referências originais foi o de promover

uma sistematização das mesmas em um só trabalho, facilitando a busca deste tipo de informação cronológica a quem possa interessar, em pesquisas futuras.

É importante destacar que todo este texto referenciado, juntamente com outras informações relevantes, acabou sendo parte integrante de um livro paradidático

envolvendo o tema. Este livro, que se encontra disponível no sítio web da escola (www.colegiopetropolis.com), foi editado e impresso pelo colégio e distribuído a cada um dos alunos que participou de sua elaboração (Figura 2), como uma finalização deste projeto pedagógico.

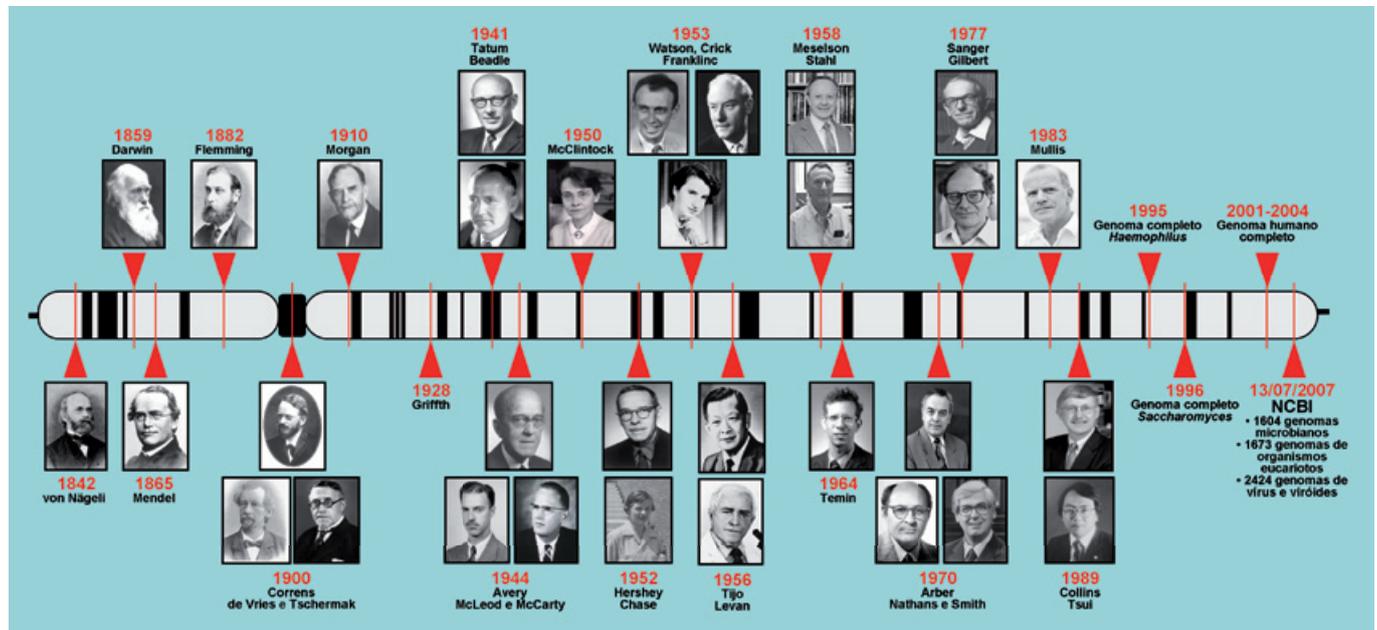


Figura 1: Principais cientistas que colaboraram com as pesquisas no ramo da Genética e Citogenética a partir de 1842. É importante destacar que muitos dos cientistas explicitados nesta figura acabaram sendo premiados com o Prêmio Nobel¹. O cromossomo que indica a linha do tempo foi corado por técnica de bandamento². Todas as imagens foram obtidas da internet em sítios variados.

Para a surpresa dos professores, a interação dos alunos com a temática de busca pela história foi além das expectativas. Discussões contextualizadas começaram a surgir, algumas das quais envolvendo temas polêmicos, como transgênicos, clonagem e células tronco, permitindo uma discussão dos mesmos sem prévio planejamento.

Uma observação interessante trazida à tona pelos alunos após todo este levantamento de dados e que mereceu atenção especial, foi que, até os anos de 1980, as pesquisas eram feitas por cientistas que trabalhavam individualmente ou em pequenos grupos, mas que, a partir de então, agregaram-se em grandes equipes, sendo esta observação realmente verdadeira. Atualmente, em prol de um desenvolvimento mais promissor da ciência, o que se tem observado é a formação dos chamados consórcios de pesquisa ou simplesmente grupos de colaboração que focam um tema em comum e buscam, com apoio de cientistas ao redor do mundo, obter resultados favoráveis para a ciência e para o conhecimento.

Esta abordagem de caráter político deu parâmetros para uma discussão contraditória a esta evolução científica. Alguns alunos levantaram a idéia de que toda esta inovação na descoberta científica está gerando uma política de busca frenética por patentes, monopolizando as descobertas e tornando a ciência cada vez mais refém da política e da economia. Mais uma vez há razão nestas observações. Aqui fica uma proposta em aberto para a promoção deste tipo de discussão com os alunos, tornando a temática multidisciplinar.

No que diz respeito à busca de informações a respeito de personalidades brasileiras que contribuíram para o desenvolvimento da Genética foi gerada uma lista, pelos próprios alunos, contendo os nomes de 33 pesquisadores, destacados a partir de 1900 (dados não mostrados). Na tentativa de deixar a discussão ainda mais intensa, foi pedido aos alunos que produzissem uma tabela com especificamente 5 destas 33 personalidades, de acordo com o que julgavam ser mais importante (**Tabela 1**). Curiosamente, os cinco cientistas escolhidos e presentes na tabe-

1 Premiação máxima concedida a um pesquisador em decorrência de suas descobertas e contribuições para o conhecimento humano. São concedidos a cientistas de várias áreas, tais como Física, Química, Medicina/Fisiologia, entre outras.
2 Vários métodos de bandamento são empregados em trabalho de rotina em laboratórios citogenéticos, de tal forma que o propósito geral é facilitar a identificação dos cromossomos bem como a análise de suas estruturas. Entre as técnicas mais comuns estão o bandamento G, Q, R e C.

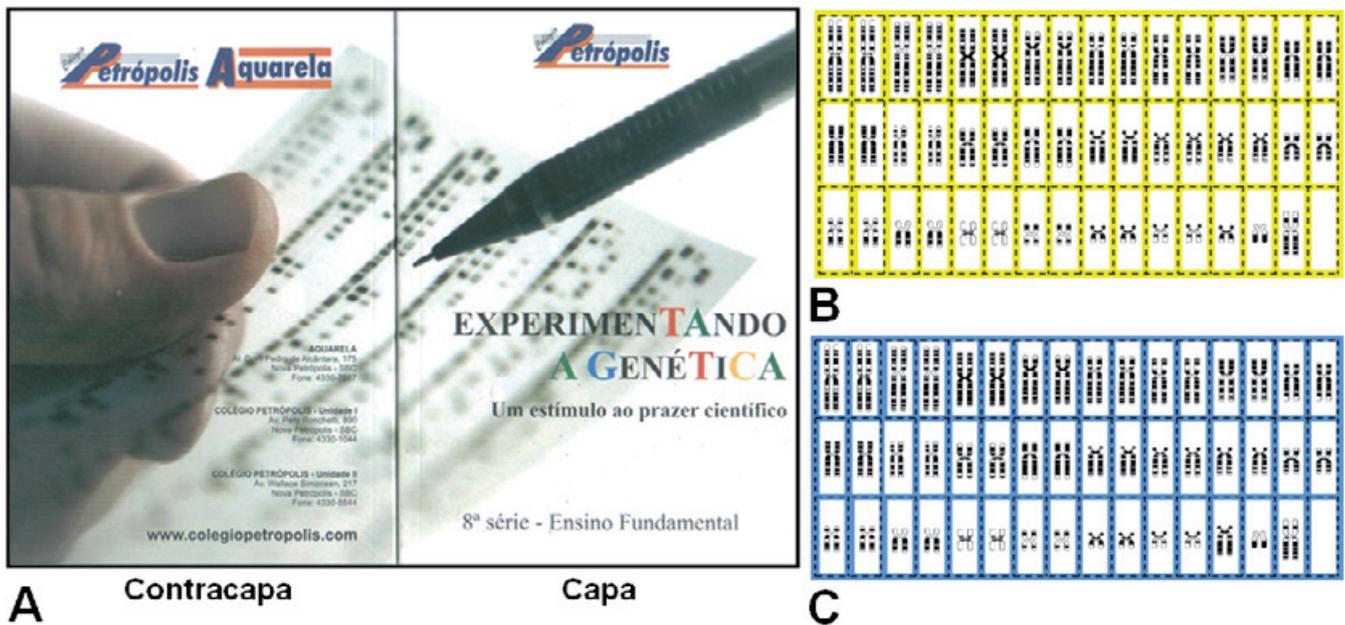


Figura 2: Amostra do livro paradidático feito pelos próprios alunos como fechamento do projeto. (A) O livro agrega a síntese de descobertas históricas relacionadas com os cientistas explicitados na **Figura 1**, informações sobre as principais síndromes, mapeamento cromossômico destacando os principais genes envolvidos com patologias de interesse e um protocolo sobre como montar e analisar um cariótipo de maneira lúdica, para que o leitor interaja com a proposta. São 52 páginas com mais 18 páginas adicionais representando os anexos (cartelas de cromossomos para destacar). (BC) Dois exemplos de composições cromossômicas (anexos) presentes no livro. A proposta é que o leitor destaque os cromossomos (ver linhas pontilhadas) e que consiga definir a composição cromossômica de cada caso, buscando como referência informações depositadas no próprio livro, a respeito do cariótipo encontrado. A coloração de fundo elimina a hipótese de troca de cromossomos entre os cariótipos, simulando o código usado e descrito em nossas atividades em sala de aula (ver detalhes adiante).

la apareceram listados na busca em pelo menos 86% de todos os grupos formados (22 grupos), justificando assim a escolha feita pelos alunos. Foi sobre estes cinco pesquisadores que as discussões passaram a ser direcionadas.

Por intermédio desta metodologia foram discutidos temas como cromossomos politênicos (**Figura 4F**), achados científicos decorrentes dos trabalhos de Crodowaldo Pavan, que, por associação, direcionou a uma discussão a respeito de Theodosius Dobzhansky, autor de pelo menos sete importantes livros envolvendo evolução e genética, e inúmeros artigos científicos de qualidade. Embora não fosse brasileiro, Dobzhansky também é muitas vezes esquecido em discussões que envolvem a temática, e isso não deveria acontecer, já que suas contribuições para os estudos científicos são inestimáveis (www.amphilsoc.org/library/mole/d/doby.htm).

Os alunos ainda verificaram que alguns livros de importância nacional na área da Genética foram publicados por estes personagens selecionados, como é o caso de Beiguelman, Frota-Pessoa e Francisco Mauro Salzano. Este último, embora não representado na tabela, tam-

bém merece destaque por seus trabalhos e contribuições e, portanto, não pode ser esquecido. Adicionalmente, chegaram à conclusão de que alguns trabalharam com insetos, especialmente mosca (*Drosophila melanogaster*) e abelha (*Apis mellifera*). Com isso, a discussão sobre organismos modelo³ para os estudos genéticos voltou à tona e, nesse momento, com exemplos reais de sua importância para o desenvolvimento científico.

Quando indagados sobre o por quê de terem colocado Crodowaldo Pavan como sendo para eles a principal personalidade, as respostas foram as seguintes:

“Nunca imaginamos que um cientista brasileiro poderia ser tão importante a ponto de cumprimentar os dois últimos papas!”

“Trabalhou em conjunto com o tal Theodosius Dobzhansky!”

“Ele participou das descobertas dos cromossomos politênicos!”

“Ele devia ser um excelente professor, porque chegou a dar aulas nos Estados Unidos!”

³ São seres vivos que por características peculiares se tornaram ferramentas de estudos importantes em vários campos da Ciência. Em Genética, quase sempre um organismo modelo deve apresentar tempo de geração curto, composição cromossômica simples e facilidade de manuseio em técnicas experimentais, a exemplo da *Escherichia coli* (bactéria Gram-negativa), *Saccharomyces cerevisiae* (levedura – fungo unicelular), *Neurospora crassa* (fungo pluricelular filamentosos), *Drosophila melanogaster* (mosca das frutas) e, como não poderia deixar de ser, *Pisum sativum* (planta: ervilha).

Curiosamente, todas as frases explicitadas pelos alunos refletiram um sinal de surpresa e ao mesmo tempo satisfação, dando a perspectiva de que eles passaram a acreditar que o Brasil, em nome destes pesquisadores, contribuiu para o cenário científico internacional, perspectiva outrora desacreditada. Um dado adicional e que deve ser ressaltado: uma vez elaborada esta tabela, especialmente as alunas das salas de aula ficaram decepcio-

nadas com o fato de só existirem homens em destaque, e resolveram discutir pelo menos uma pesquisadora científica de sucesso internacional. O resultado obtido em maior percentual de busca e escolha (dados não levantados) foi o nome da pesquisadora Dr^a. Mayana Zatz que, por razão de sua formação, acabou deslocando a discussão novamente a Frota-Pessoa, seu orientador durante a pós-graduação.

Tabela 1: Descrição sumarizada de alguns dos principais geneticistas que fizeram a História da Genética no Brasil a partir de 1920.

Pesquisador	Principais pesquisas e descobertas	Foto
<p>Crodowaldo Pavan Nascido em 01/12/1919 na cidade de Campinas - SP. Ingressou na ABC em 23/12/1952. Atualmente é professor e pesquisador da USP.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de peixes cegos nas cavernas de Iporanga (SP-Brasil). • Estudo de cromossomos de <i>Drosophila willistoni</i>. • Genética e Citogenética de insetos. • Bases biológicas do controle biológico de pragas. • Estudo de cromossomos politênicos de moscas do gênero <i>Rhynchosciara</i>. 	
<p>Bernardo Beiguelman Nascido em 15/05/1932 na cidade de Santos - SP. Ingressou na ABC em 14/06/2000. Atualmente é professor da USP e membro do conselho de pós-graduação do Hospital Albert Einstein.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência e suscetibilidade hereditária à hanseníase virchowiana (lepra lepromatosa). • Genética antropológica. • Epidemiologia de nascimentos gêmeos. • Epidemiologia Genética. 	
<p>Oswaldo Frota Pessoa Nascido em 30/03/1917 na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Ingressou na ABC em 27/03/1979. Atualmente é professor e pesquisador da USP.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Genética humana, médica e psiquiátrica. • Citogenética e aconselhamento genético. • Taxonomia de drosofilídeos. • Educação, ensino e produção de livros didáticos. • Política e história da ciência. 	
<p>Sérgio Danilo Junho Pena Nascido em 17/10/1947 na cidade de Belo Horizonte - MG. Ingressou na ABC em 05/03/1997. Atualmente é professor da UFMG, em Minas Gerais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidade genômica humana. • Aspectos evolucionários e estrutura Genética da população brasileira. • Genômica estrutural e funcional de <i>Schistosoma mansoni</i>. • Estrutura populacional do <i>Trypanosoma cruzi</i> e patogênese da doença de chagas. 	
<p>Warwick Estevam Kerr Nascido em 09/09/1922 na cidade de Santana do Parnaíba - SP. Ingressou na ABC em 18/12/1962. Atualmente é professor da UFU, em Minas Gerais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Genética e Biologia de abelhas. • Introdução e melhoramento de hortaliças. 	

Durante a elaboração da tabela constatou-se que a maioria das informações obtidas pelos alunos foi retirada do site da própria Academia Brasileira de Ciências (ABC - www.abc.org.br), embora tenham sido pesquisadas em outras fontes. Priorizou-se o uso desta fonte pela concisão e precisão nas informações. A ordem de alocação dos cientistas na tabela seguiu a prioridade dada pelos próprios alunos às pesquisas. Quando indagados a respeito do por quê de terem deixado **Warwick Estevam Kerr**

como último membro, as respostas quase sempre se relacionavam com a dificuldade de interpretação dos seus trabalhos. Ao mesmo tempo, um dos pontos que chamou a atenção dos alunos, corroborando para destacar **Crodowaldo Pavan**, foi o fato de terem encontrado fotos do mesmo junto aos dois últimos Pontífices da Igreja Católica, tornando clara a relação da importância do nome de uma personalidade brasileira ligado a personalidades internacionalmente conhecidas.

2) Construção e análise da composição cromossômica de células

Uma vez estudadas as personalidades que foram destaque no cenário científico internacional, passou-se a discutir a matéria prima básica deste estudo, a célula e sua composição cromossômica. Entretanto, tinha-se em mente que se houvesse um retorno às aulas expositivas poderia se perder a qualidade das discussões obtidas durante as atividades de pesquisa histórica. Deste modo, e a partir desta premissa, resolveu-se desenvolver a atividade descrita a seguir, com o propósito de utilizar a internet como ferramenta de apoio adicional.

Entretanto, dois problemas relacionados ao uso da internet em atividades escolares preocupavam: **1)** como filtrar o conteúdo de informações e discriminar a precisão na descrição das mesmas; e **2)** a maioria das propostas de trabalho acadêmico que se utilizam desta ferramenta é desprezada pelos alunos em detrimento ao acesso a sites de relacionamentos, bate-papos e páginas de interesse não científico, caracterizando-se como um dilema pedagógico.

Portanto, a proposta tinha o desafio de mostrar aos alunos que a internet pode e deve, sobretudo, ser utilizada como ferramenta de busca de conhecimentos técnicos e que, se bem utilizada, pode ser o passaporte para a aquisição de informações muito interessantes e, muitas vezes, inusitadas.

2.1) Material e Métodos

Com o auxílio de desenhos representando cromossomos (idiogramas), disponibilizados na internet, foram preparados conjuntos cromossômicos variando o número e a estrutura dos mesmos, caracterizando, assim, dezesseis possíveis genótipos que definiam nove síndromes conhecidas (entre indivíduos do sexo masculino e feminino), mais dois conjuntos cromossômicos que definiam genótipos de indivíduos normais, de sexos distintos (padrões de comparação), num total de dezoito cariótipos diferentes (**Tabela 2**). Os cromossomos foram impressos em papel A4 branco sem pauta e recortados logo em seguida. Cada conjunto de cromossomos foi colocado numa réplica celular (descrita a seguir), também preparada para esta dinâmica (**Figura 3**). Estes mesmos cariótipos podem ser encontrados nos anexos do livro paradidático referenciado anteriormente (**Figura 2**).

Para a confecção das réplicas celulares que armazenariam os conjuntos cromossômicos produzidos anteriormente foram feitos os seguintes procedimentos:

- folhas de papel A4 branco foram dobradas ao meio, de forma a caracterizar uma estrutura composta por dois retângulos sobrepostos de iguais proporções (**Figura 3A**);
- em uma das faces externas (parte da frente), de cada uma destas réplicas, foi colada a imagem de uma célula real obtida por microscopia e disponibilizada na

internet. Quando necessário, esta figura foi aumentada inúmeras vezes, com o auxílio de programas de edição de imagens (*Microsoft Photo Editor™*, *GIMP™*, *Adobe Photoshop™*, dentre outros), de forma a ficar sobreposta exatamente às dimensões da réplica celular produzida (**Figura 3A**);

- com o intuito de diversificar o conhecimento, diferentes tipos de réplicas celulares foram produzidos, cada uma com seu *formato peculiar*, caracterizando células de diferentes tecidos humanos. Na parte interna destas réplicas foram colados sacos plásticos em formato de U, caracterizando o núcleo celular, onde ficariam dispersos os cromossomos preparados anteriormente (**Figura 3B**);
- tanto no verso das células, quanto no verso dos cromossomos sugere-se adicionar códigos que os identifiquem e, ao mesmo tempo, os classifiquem, referenciando-os a um possível resultado de cariótipo pré-determinados em uma tabela (a qual apenas o tutor da metodologia teria acesso). Por exemplo: código 1A - sendo “1” a referência a um cariótipo de um indivíduo com Síndrome de Down (trissomia do 21) e “A” do sexo masculino. Isto evitará troca de cromossomos entre as células evitando, conseqüentemente, a falha no uso da metodologia.

Para o desenvolvimento desta atividade, cada dupla de alunos deveria abrir a célula, retirar os cromossomos do interior do núcleo, espalhando-os sobre uma superfície plana (**Figura 3C**), de modo a deixá-los todos com os bandamentos visíveis, e, de preferência, num ambiente ausente de vento forte, para se precaver do espalhamento dos cromossomos. Uma vez tomadas as devidas precauções, os alunos passaram a montar os pares cromossômicos considerando dois fatores: o tamanho, uma vez que a disposição deve ser em ordem decrescente de tamanho, e a posição do centrômero (estrangulamento dos braços do cromossomo). É importante que os alunos resolvam os cariótipos um a um, para que não haja trocas cromossômicas, o que pode, conseqüentemente, alterar o resultado e a funcionalidade da metodologia. A fim de facilitar, pode-se colorir o fundo das cartelas de cromossomos (**Figura 2BC**), tal qual foi feito nos anexos do livro paradidático descrito anteriormente.

Durante a atividade, os alunos ficaram incumbidos de anotar todas as peculiaridades observadas em cada um dos cariótipos elaborados, como por exemplo, as trissomias, as deleções, as inserções, para serem mais tarde discutidas e trabalhadas com o apoio de informações técnicas obtidas com a ajuda da internet.

É importante destacar que, para tornar a metodologia mais dinâmica, foram preparados três conjuntos com dezoito células, cada uma contendo uma das composições cromossômicas variadas e citadas anteriormente (**Tabela 2**). A proposta foi produzir um total de células pelo menos duas vezes maior do que o número de alunos

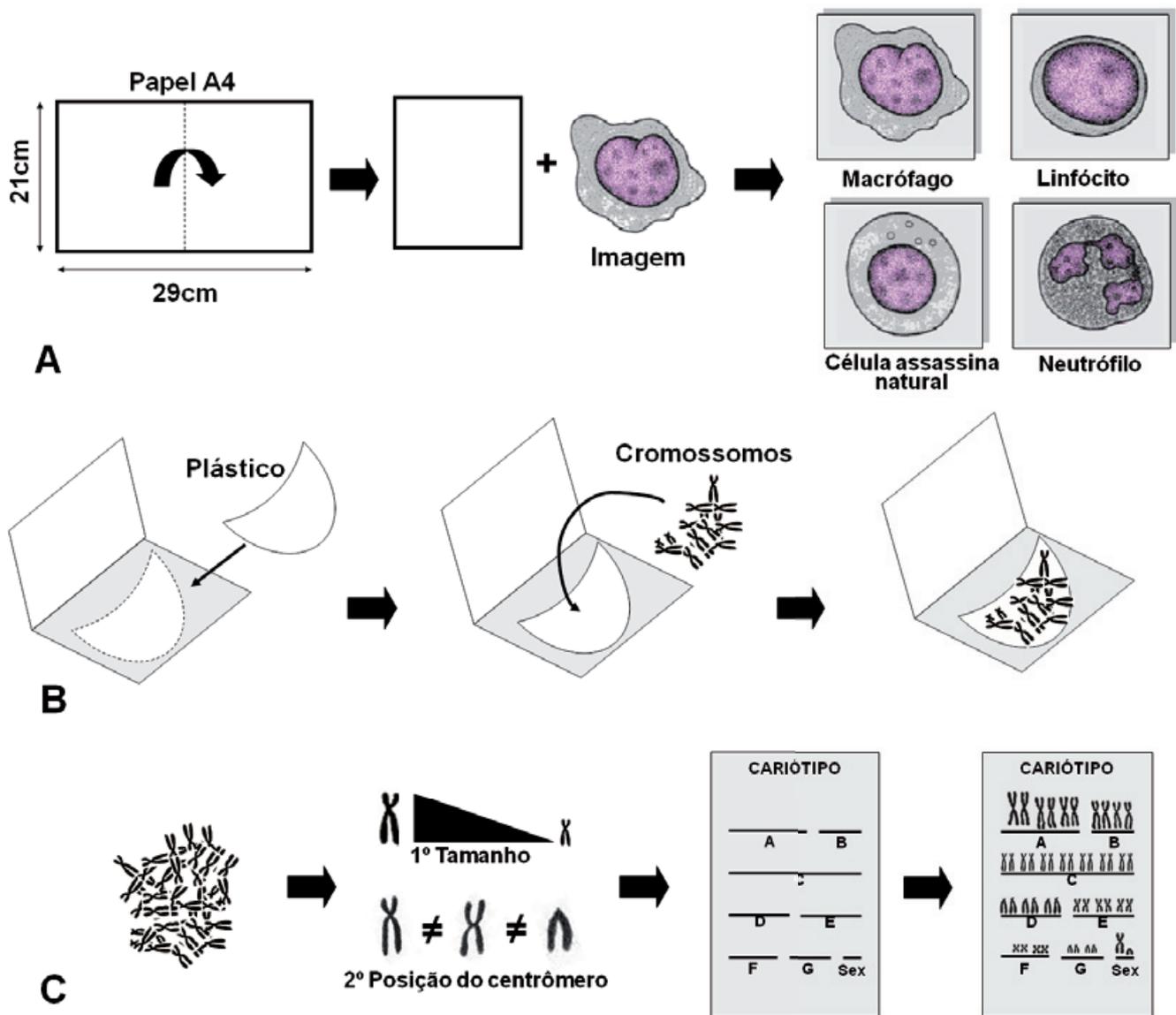


Figura 3: Modelo de geração de réplicas celulares em papel e perfil metodológico da confecção do cariótipo. (A) Confeção da célula de papel. Notar que diferentes modelos celulares podem ser criados com a mesma finalidade, mudando apenas a imagem de rosto (a ser fixada numa das faces do papel dobrado). (B) Modelo de um dos quatro exemplos celulares confeccionados em A, permitindo a visualização do interior da célula. O saco (em forma de U) simboliza o núcleo, transparente para permitir a visualização dos cromossomos. Ao redor do núcleo podem ser desenhadas as demais organelas presentes na célula. (C) Montagem de um cariótipo a partir dos cromossomos dispersos em superfície plana. A montagem deve seguir uma classificação por tamanho, em paralelo a uma classificação por posição do centrômero (ver texto). Uma vez classificados, os cromossomos devem ser colocados numa plataforma padrão de classificação, formando um cariótipo.

presentes à aula para que não houvesse conflitos na escolha da célula a ser trabalhada, já que cada grupo poderia resolver a proposta em tempo variado.

Além da internet servir de aporte para as metodologias descritas anteriormente, após completa resolução de pelo menos três dos dezoito cariótipos diferenciais montados, os alunos, com suas anotações, foram direcionados a um trabalho de garimpagem de dados científicos. A proposta foi a de agregar valor científico e de caráter técnico aos achados de sala de aula, permitindo aos mes-

mos compreender melhor uma síndrome, possibilitando assim o registro das principais características a respeito das aberrações cromossômicas estudadas. De posse dos registros, os alunos passaram a formular perguntas pertinentes a respeito das mesmas, e estas passaram a ser a fonte de discussão das aulas subsequentes, possibilitando troca de informações entre as várias pesquisas feitas pelos alunos (**Tabela 2**).

Em paralelo à formulação das perguntas, foi solicitado aos alunos que buscassem junto à ferramenta Google

Imagens (<http://images.google.com.br/>) figuras que se relacionavam com o assunto. Para facilitar a busca e para que os mesmos não se dispersassem, foram fornecidas a estes alunos algumas palavras-chaves como *cromossomos*, *cariótipo* e *Genética*, ou simplesmente o nome de algumas síndromes conhecidas, como é o caso da *Down*, *Edwards*, *Patau*, *osteogenesis*, dentre outras centenas de síndromes conhecidas⁴ (Figura 4A). Uma vez encontradas as figuras mais interessantes na visão dos alunos, a hiperligação (*links*) de direcionamento das mesmas foi copiada e armazenada em um arquivo de texto, que foi, posteriormente, enviado aos professores. De posse deste arquivo passou-se a selecionar

as principais imagens e os professores montaram uma aula em forma de seminário, quando então foi possível realizar uma exposição técnica de cada uma das figuras selecionadas pelos alunos.

Algumas destas figuras foram selecionadas como sendo as mais interessantes, e estudos de aprofundamento sobre as mesmas passaram a dar continuidade às atividades (Figura 4B-F). Portanto, a criação e elaboração das aulas, tanto de discussão quando de apresentação de figuras, foram resultantes do trabalho inicial feito pelos próprios alunos, proporcionando, conseqüentemente, maior interesse pelas mesmas.

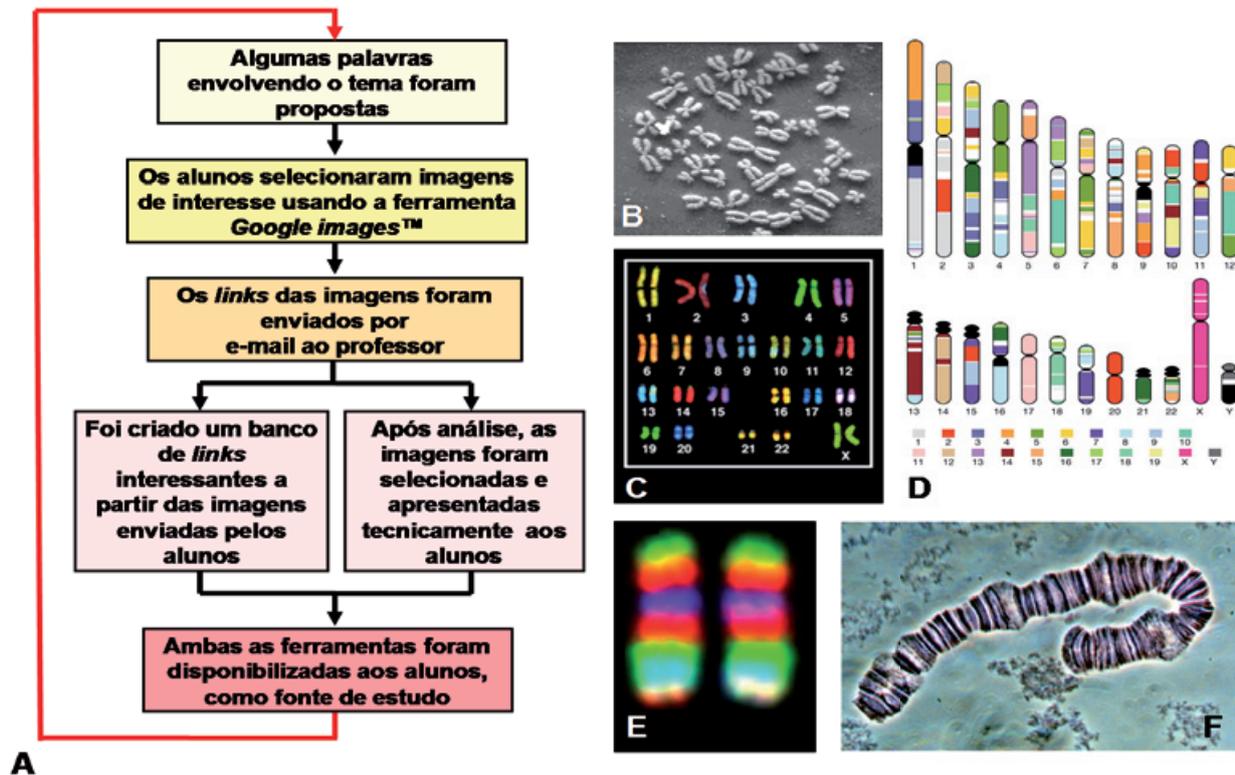


Figura 4: Fluxograma de atividades (A) e imagens selecionadas pelos alunos (B-F) com intuito de promover discussões de aprofundamento no assunto. Cada uma das figuras foi selecionada por apresentar uma peculiaridade de destaque. A única figura que gerou controvérsia foi a "F", uma vez que muitos alunos não a acharam tão interessante assim. Entretanto, a discussão sobre esta figura foi a que exigiu mais tempo, já que se tratava de uma descoberta feita por um pesquisador brasileiro, Crodowaldo Pavan, anteriormente discutido, e que historicamente demorou quase oito anos para ser aceita pela comunidade científica mundial (Tabela 1).

B - <http://www.ciencia-activa.org/Imagens/CariotipoElectronico.gif>

Microscopia eletrônica de varredura de cromossomos humanos em lâmina;

C - <http://it.wikipedia.org/wiki/Cariotipo>

Cariótipo espectral, capaz de classificar os cromossomos mediante cores, por intermédio do uso de sondas fluorescentes específicas para cada par de cromossomos homólogos;

D - http://www.nature.com/nature/journal/v409/n6822/fig_tab/409860a0_F46.html

Análise comparativa entre as regiões homólogas dos cromossomos humanos (cariótipo) e de ratos (cores das legendas), mostrando o grau de identidade em termos de composição gênica nos cromossomos;

E - <http://paginas.terra.com.br/educacao/biolmol/Genetica-Medicina/Mapeamento-genico&HGP.htm>

Cromossomo 5 marcado com diferentes sondas fluorescentes por técnica de FISH;

F - http://www.bio.umass.edu/biology/conn.river/insect_images/chromosome.jpg

Cromossomo politênico de insetos.

⁴ A principal referência que agrega informações sobre todas as síndromes conhecidas é o OMIM (*O*n-line *M*endelian *I*nheritance in *M*an) mantido pela Johns Hopkins University www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?db=omim

2.3) Resultados e Discussões

Dois tipos de resultados foram obtidos a partir das atividades propostas nesta metodologia: os resultados de caráter qualitativo, observado por análise e coleta de dados a partir de discussões informais e os de caráter quantitativo, avaliados mediante processos formais de verificação escrita e oral dos conhecimentos apreciados.

Quanto aos resultados de caráter qualitativo, de imediato se observou uma interação maior entre alunos e dos mesmos para com o professor, permitindo romper barreiras outrora limitadas pela distância física e/ou afetiva. As dúvidas surgiram com maior frequência, provavelmente por estarem descontraídos com as atividades, sem a pressão a que são submetidos todas as vezes que fazem avaliações formais (DEMO, 1991), mas também pelo próprio interesse relativo ao conteúdo.

Uma vez que cada dupla de alunos ficou responsável pela resolução de três situações problema (cariótipos), observou-se um progressivo decréscimo de tempo na realização das atividades, evidenciando ter havido um acúmulo de experiência adquirida a cada resultado gerado. Embora esta observação fosse natural, em alguns casos, o simples fato de acharem de imediato os erros no cariótipo, como, por exemplo, no caso das trissomias, os alunos passaram a gerar com exatidão o resultado final, sem a formal montagem e disposição dos cromossomos aos pares. Isto também demonstrou que tais alunos conseguiram gerar metodologias alternativas para resolução de uma situação problema, o que passa a ser algo natural diante do desafio e da pressão induzida devido à limitação do tempo. Finalmente, os comentários extraídos ao final de cada aula refletiram o sucesso da metodologia.

Outro dado interessante relacionou-se com o entusiasmo dos alunos enquanto executavam a atividade. Durante alguns momentos houve discussões intensas entre membros de um mesmo grupo pela contestação dos resultados expostos por um deles. Se não bastasse, tal discussão chegou a ser observada entre grupos que dividiam a sala de aula, gerando apostas saudáveis pela busca dos resultados concretos, muitas vezes por intermédio de competição por tempo de execução. Em contrapartida, observou-se uma dificuldade notória de resolução da atividade por parte de alguns grupos de alunos, em decorrência da falta de organização, já que os cromossomos devem ser agrupados inicialmente pelo tamanho e, em seguida, pela posição do centrômero. Em alguns casos, notou-se que as dificuldades apresentadas durante as atividades eram as mesmas que tornam o rendimento dos alunos insatisfatórios em avaliações formais, já que apresentavam dificuldades para organizar o material de estudo. Assim, a atividade também foi um bom momento prático para ajudá-los a se organizarem durante os afazeres, dando-lhes a oportunidade de aumentarem o rendimento posterior.

No que diz respeito aos resultados quantitativos, notou-se que o tempo mínimo de resolução dos três cariótipos designados foi de 12 minutos e que o tempo máximo foi de 37 minutos, considerando os alunos que compõem as quatro oitavas séries (total de 132 alunos), demonstrando ser eficaz a utilização da metodologia. Além disto, numa única aula foi possível elaborar um total de 18 cariótipos, o que outrora necessitaria de, pelo menos, duas aulas completas (cerca de 100 minutos), com a possibilidade de se tornar uma aula unidirecional, sem a atividade prática do aluno.

Os resultados das avaliações foram ainda mais surpreendentes (**Tabela 3 – 1a**), já que a pergunta que se referia especificamente à determinação de síndromes a partir de cariótipos montados foi uma das questões mais bem respondida pelos alunos. Houve um pico de acerto de 98% em um dos cariótipos exigidos, com a menor média de acerto sendo de 83%, e um aproveitamento total da questão de 92%, distribuídos em seis itens propostos (cariótipos). Ao procurar entender por que houve uma discrepância tão grande entre as porcentagens de acerto entre os itens, verificou-se que o cariótipo B, que determinava um indivíduo normal do sexo masculino, tinha alguns cromossomos curvados em decorrência de sua disposição física na lâmina, o que levou os alunos a responderem erroneamente, devido a esta alteração morfológica (**ver observações na própria Tabela 3**).

Devido os alunos terem trabalhado com figuras geradas por computador, em nenhum momento houve esta preocupação, o que denota uma falha na escolha do cariótipo a ser lançado em avaliação, ou uma falha na ausência do uso de cariótipos reais durante a exploração da dinâmica. Os resultados mais uma vez detalham as dificuldades tão discutidas em pedagogia a respeito do processo de avaliação (DEPRESBITERIS, 1989). Assim, sugere-se que cada docente, após utilizar-se dos recursos dos cromossomos que compõem um idiograma para exemplificar a aula, possa fazer uso de cariótipos obtidos por imagens reais (fotos), minimizando ou anulando este tipo de falha.

Tanto a metodologia de busca por informações técnicas, quanto por imagens a respeito das síndromes, caracterizaram-se como uma forma interativa de ensino. Além disto, o expressivo empenho dos alunos, bem como o volume de informação checado demonstrou que os alunos levaram a sério a busca pelas informações, fato que surpreendeu os tutores, pois foi além do esperado. No que diz respeito aos questionamentos elaborados, devido à qualidade dos mesmos, houve uma obrigação maior por parte dos docentes com relação ao seu próprio preparo para as aulas, promovendo uma automática requalificação profissional, já que houve a necessidade de estudar temáticas variadas de caráter técnico, a fim de poder transmiti-las de maneira mais simples e compreensível (**Tabela 2**). O mesmo aconteceu com a seleção de

imagens (**Figura 3B-F**). Para cada uma delas, e de tantas outras imagens selecionadas pelos alunos (num total de 234), houve necessidade de se verificar o sítio na internet para compreender o propósito de cada uma delas, o que também contribuiu para o acúmulo de conhecimento, tanto do aluno quanto do docente.

Desta maneira, notoriamente, o ponto mais relevante referente ao uso desta metodologia foi a melhor qualidade das aulas, não só pela necessidade que os docentes tiveram de buscar conhecimentos novos, mas, também, pelo fato dos alunos terem tido participação direta no planejamento e na confecção das mesmas.

De forma concomitante, esta metodologia demonstrou, em paralelo aos conhecimentos técnicos abordados nas áreas biológicas, que a internet tornou-se essencial e que pode mediar uma aquisição de conhecimento de qualidade quando bem utilizada. Relatos informais feitos pelos alunos demonstraram que poucas vezes os mesmos se prenderam a um tema pedagógico por tanto tempo em uma atividade deste porte, já que outras informações e afazeres no computador sempre foram mais tentadores,

a exemplo de jogos e páginas de relacionamento. Alguns alunos, inclusive, não tinham noção da quantidade de informações de interesse particular (científico) depositada na internet, a ponto de chegarem a se assustar com o número de sítios específicos de informação científica obtidos por uma simples busca.

Um dos maiores problemas identificados durante a aplicação desta metodologia foi o difícil controle da qualidade da informação técnica buscada por estes alunos. Uma alternativa simplificada e implementada no decorrer do processo foi o uso da ferramenta Google Acadêmico™ (<http://scholar.google.com.br>). No entanto, isto acabou direcionando os resultados para artigos científicos, que na sua maioria estão disponibilizados em formato binário (.doc ou .pdf) e, embora mais preciso, este formato de arquivo parece interferir no rendimento dos alunos. Por outro lado, artigos em formato texto, principalmente os HTML (.html ou .htm), parecem ser mais aceitos, especialmente quando as explicações estão ilustradas por imagens. Mesmo assim, as informações devem ser cuidadosamente analisadas.

Tabela 2: Síndromes e cariótipos analisados em sala de aula.

	Alterações Cromossômicas (SÍNDROMES)	Questionamentos mais comuns feitos pelos alunos	Tópicos discutidos em equivalência técnica
Autossômicas numéricas	Down 47,XX + 21 47,XY + 21 47,XX + 21 t(21:4) 47,XY + 21 t(21:14)	1) Por que todos têm o rostinho parecido? ★ 2) Por que há apenas uma linha na palma da mão destas pessoas? ★★★ 3) Existem indivíduos Down negros? ★ 4) Como eles podem ter diferentes níveis de retardo mental se as modificações genotípicas são as mesmas? ★★★★★	Problemas cardíacos, esterilidade, linha simiesca, palato ogival e língua larga, variação do nível de retardo mental com comprometimento neuropsicomotor, relação incidência <i>versus</i> etnia e incidência <i>versus</i> idade materna.
	Patau 47,XX + 13 47,XY + 13	1) Qualquer pessoa que nasce sem o céu-da-boca apresenta Patau? ★★ 2) O que representa esta estrutura entre os olhos de alguns indivíduos com esta síndrome (proboscis)? ★★ 3) Quanto tempo sobrevive uma criança com tantas malformações como nestes casos? ★★	Má formação de olhos e nariz, com possível formação de proboscis, fissura lábio-palatal, má formação cardíaca, polidactilia, anomalias neurológicas e comprometimento severo sistêmico e intelectual.
	Edwards 47,XX + 18 47,XY + 18	1) Por que os dedos das mãos são sobrepostos? ★★ 2) Por que estas crianças parecem não conseguir esticar braços e pernas? ★★ 3) Que alterações levam à morte estas crianças? ★★	Comprometimentos cardiovasculares e respiratórios, punhos cerrados, esterno curto, retrognatia, pé em forma de mata-borrão, baixa implantação de orelha e sobreposição dos dedos das mãos.
Sexuais numéricas	Klinefelter 47,XXY	1) Estes indivíduos são considerados homens, por possuírem um cromossomo Y, ou mulheres por possuírem dois cromossomos X? ★★★ 2) Eles podem ter filhos? ★★	Ginecomastia com obesidade centrípeta, comprometimento intelectual com distúrbios comportamentais, hipogonadismo e hipogonadismo com azoospermia.
	Turner 45,X_ ou 45, X0	1) Estes indivíduos são considerados mulheres por não possuírem um cromossomo Y? ★★★ 2) Eles podem ter filhos? ★★	Indivíduo do sexo feminino com baixa estatura, infantilismo puberal acompanhado de amenorréia e rim em formato de ferradura.
	Superfêmea 47, XXX	1) Ela consegue se reproduzir mais facilmente que as mulheres normais pela presença de um cromossomo X adicional? ★★★ 2) Como podem ser estéreis tendo cromossomos sexuais a mais? ★★★★★	Clinodactilia, amenorréia, comprometimento intelectual com distúrbios comportamentais e clinodactilia.
	Supermacho 47, XYY	1) Estes supermachos apresentam características masculinas ainda mais evidenciadas pela presença de um cromossomo Y adicional? ★★	Elevada estatura, comprometimento intelectual com distúrbios comportamentais e hipogonadismo.
Estruturais	X frágil 46,XX - Xq27.3 46,XY - Xq27.3	1) Mas o cromossomo X não está relacionado apenas com determinação sexual? ★★★★★ 2) Todo autismo é produto desta síndrome? ★★★★★	Retardo mental que compromete mais frequentemente homens (por terem apenas um cromossomo), problemas de linguagem, agressividade e autismo.
	Cri-Du-Chat 46,XX - 5p 46,XY - 5p	1) Por que eles são chamados de crianças que têm a síndrome do miado do gato? ★★ 2) Como pode uma perda tão pequenina de parte de um cromossomo gerar tantos distúrbios? ★★★★★	Alteração na formação das cordas vocais com choro monotonal, microcefalia com retardo mental e déficit no desenvolvimento neuropsicomotor.

★ - O número de estrelas denota o grau do questionamento feito pelos alunos.

3) Principais técnicas de Biologia Molecular utilizadas em Genética para a detecção de síndromes e mutações

Mesmo obtendo bons resultados com o uso das metodologias descritas anteriormente, alguns questionamentos feitos pelos alunos, relacionados às técnicas de detecção de síndromes e mutações, demandavam explicações mais minuciosas. Entretanto, dependendo da forma e do grau de abordagem destas minúcias, a transmissão delas aos alunos, ao invés de esclarecer as dúvidas, poderia incorporar ainda mais dificuldades de aprendizagem para estes alunos. Logo, diante deste desafio foi elaborada a metodologia descrita a seguir, com o intuito de facilitar a introdução e de explicar a importância das técnicas de PCR (*Polymerase Chain Reaction*), eletroforese e FISH (*Fluorescent In-situ Hybridization*), tão amplamente usadas no estudo de Genética e Citogenética atualmente.

3.1) Material e Métodos

Para a introdução deste conhecimento, nenhum recurso adicional ou tecnológico de grande investimento financeiro foi utilizado, além do material disponível numa sala de aula comum, tornando a metodologia viável para ser usada em escolas de qualquer nível sócio-econômico. De início, uma analogia simples e essencial foi feita para que a compreensão a respeito destas técnicas se tornasse mais plausível. A sala de aula foi comparada a uma célula, de tal maneira que fileiras de carteiras seriam correspondentes aos cromossomos, variando no tamanho e na composição (**Figura 5A**). Esta composição seria representada pelos alunos, de tal forma que cada aluno passou a representar um gene específico e diferenciado dos outros (**Figura 5A**). Assim, a ausência de um aluno na fileira passaria a caracterizar uma deleção gênica, e a adição de um aluno passaria a representar uma inserção gênica. Em última instância, a troca de lugares entre alunos de uma mesma fileira caracterizaria uma inversão gênica.

Para justificar a funcionalidade e importância da PCR, a única informação técnica repassada aos alunos foi que a mesma seria capaz de produzir inúmeras cópias de uma mesma sequência de DNA, desde que fossem colocados na reação os reagentes necessários para isto. Dentre os reagentes obrigatórios para a execução da técnica está a criação (síntese) de um par de oligonucleotídeos iniciais (*primers*), feitos em cartolina no formato de setas, com dimensões de 0,40 m x 0,10 m, contendo as letras F (*forward* - direto) e R (*reverse* - reverso) de identificação (**Figura 5B**). Estes *primers* são capazes de se ligar em regiões específicas, caracterizando o chamado pareamento (anelamento). Ou seja, as setas de papel devem ser ancoradas na molécula de DNA, que na prática foi feita pelo simples fato de alunos específicos segurarem tais setas em sentidos opostos, um em relação ao outro, nas regiões pré-determinadas para análise (**Figura 5B**).

A idéia geral, para se entender o procedimento da técnica de PCR, foi elaborada considerando o cromossomo descrito anteriormente, da seguinte maneira:

- considerou-se a fileira, representando um cromossomo, composta por oito carteiras, representando os genes, cada uma com um aluno (o gene específico), e que se desejaria, por exemplo, para saber se este cromossomo (fileira de carteiras) continha os genes 4, 5 e 6;
- considerou-se, ainda, que os genes estão em ordem crescente, 1, 2, 3, ..., 8. (Logo, para identificar a presença ou não destes três genes - 4, 5 e 6 -, deve-se sintetizar um *primer* direto que pareie ao gene 3, e um *primer* reverso que pareie ao 7);
- após a reação de polimerização, verificou-se o tamanho do produto de DNA formado - DNA composto de 3 até 7 - (se um dos três genes estiver ausente, o tamanho do fragmento gerado será menor do que o esperado quando comparado a uma condição onde os três estariam presentes). Em contraposição, se o tamanho do fragmento for maior do que o esperado, conclui-se que há algo mais além destes três genes, modificando a composição desta sequência (**Figura 5C**).

Entretanto, como permitir a visualização destas variações em tamanho, sendo a molécula de DNA tão pequena? A partir deste momento é que se introduziu informações sobre a técnica de eletroforese: o conceito básico e a importância da mesma.

Uma tela de metal foi usada como plataforma de migração dos produtos de DNA a serem separados por tamanho (princípio básico de separação da eletroforese), sendo utilizado como material a sofrer migração bolinhas de plástico de diferentes dimensões (**Figura 5E**). Os alunos verificaram, na prática, que proporcionar a passagem de bolas maiores pela tela requer uma força maior do que as bolas menores (**Figura 5E**). Esta força na eletroforese corresponde a um campo elétrico gerado por uma fonte de energia, cujos pólos positivo (+) e negativo (-) se conectam em lados opostos ao gel. Como o potencial de energia é o mesmo em todo o gel, amostras menores acabam migrando mais rápido porque sofrem menor resistência do meio (agarose), ao passo que as amostras maiores demoram mais para percorrerem o mesmo caminho (**Figura 5C**). Lembrando sempre que a migração deve ocorrer em direção ao pólo positivo, já que o DNA apresenta carga negativa (decorrente da presença de grupos fosfatos PO_4^{3-} em sua composição).

Na tentativa de facilitar ainda mais a compreensão a respeito da técnica de eletroforese, um recurso pedagógico adicional foi introduzido. Quatro alunos foram separados do grupo, de tal forma que três deles formaram um grupo isolado, ligados entre si pelas mãos, caracterizando uma molécula de DNA de dimensões 3 vezes maiores em relação ao aluno que ficou sozinho. O res-

tante dos alunos que compunha a sala foi distribuído de maneira equidistante, sendo a distância padrão o espaço de um braço esticado em todos os sentidos, formando uma espécie de malha homogênea, similar à disposição das moléculas de agarose após polimerização e formação do gel. Tanto o aluno sozinho quanto o trio foram dispostos em uma das extremidades da malha e, após um sinal sonoro, emitido pelos professores, ambos migraram em

direção ao sentido oposto, passando entre os alunos fixos em sua distribuição, simulando exatamente o comportamento das moléculas de DNA ao migrarem em direção ao pólo positivo de uma corrente elétrica no gel. Nessa simulação ficou evidente para os alunos que o grupo maior teve maior dificuldade para atravessar a malha, retardando a migração em relação ao fragmento menor.

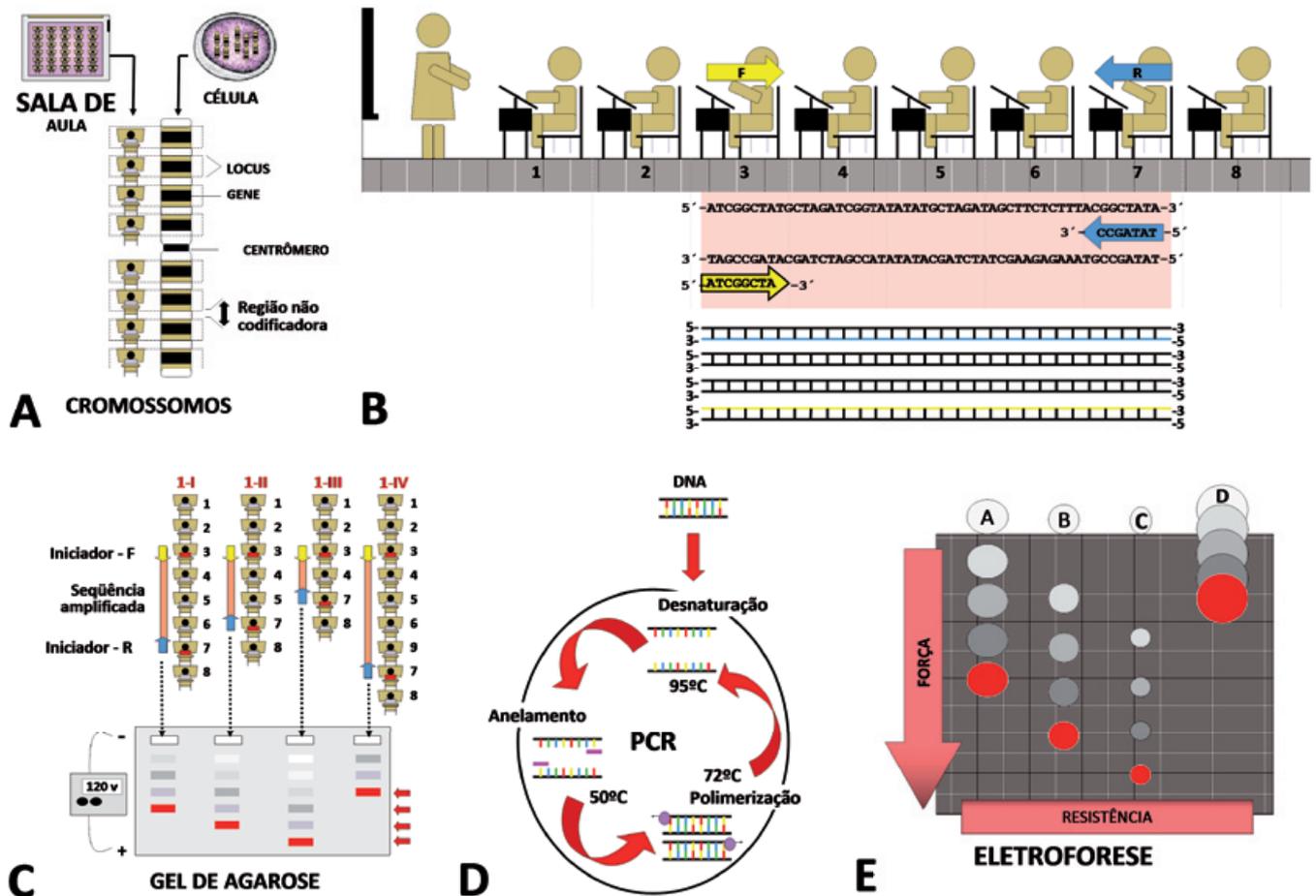


Figura 5: Criação e aplicação dos modelos lúdicos que demonstram e simulam as técnicas de PCR e eletroforese. (A) Analogia entre a composição cromossômica de uma célula e a disposição das carteiras formando fileiras numa sala de aula. Notar que cada fileira representa um cromossomo e cada cromossomo contém genes específicos (alunos) dispostos em loci individuais (carteiras). O espaçamento entre o bloco de carteiras anterior e posterior simula a posição do centrômero e, possíveis espaçamentos entre as carteiras, as constrições secundárias (não discutidas); (B) Perfil de elaboração do conceito de anelamento de primers específicos durante a reação de PCR (D), utilizando para isto setas feitas em cartolina colorida (F = Forward; R = Reverse). Notar que cada primer se anela especificamente numa região do DNA, mais precisamente nas regiões que codificam para os genes (alunos) 3 e 7, respectivamente; (C) Exemplo da utilização dos primers específicos para determinar a presença de um conjunto de genes no cromossomo, fazendo uso da técnica de PCR. Tome-se como exemplo um cromossomo qualquer (aqui nomeado como 1, em quatro possíveis condições I-IV). Notar que haverá diferença no tamanho do produto gerado por PCR. Para verificação desta diferença faz-se uso da técnica de eletroforese (para maiores detalhes vide texto); (E) Como o gel representa uma malha, na prática isto foi representado por uma tela por onde se tentou passar bolas de plástico de diferentes tamanhos. Como resultado esperado, a malha promoveu maior resistência em fragmentos maiores, permitindo, concomitantemente, a passagem de fragmentos menores.

Finalmente, para introduzir o conhecimento a respeito da técnica de FISH, a idéia do *primer* foi substituída por sondas, que também são seqüências de DNA e que também se ligam (pareiam) em regiões específicas do DNA no cromossomo. As sondas são marcadas com moléculas fluorescentes, isto é, eles são capazes de emitir fluorescência, gerando um sinal colorido. Com base nisso, duas formas de se utilizar a técnica de FISH foram elaboradas e trabalhadas:

a) Uso das sondas para identificação de cromossomos (cromossomo específico - Figura 6A). Foi solicitado aos alunos que se dividissem em duplas, tendo apenas um trio e um único aluno sem parceria. Em paralelo, foi trazido para a sala de aula retalhos de papéis e sacos plásticos em diferentes cores. Cada aluno da dupla, trio, ou mesmo o aluno sozinho foram obrigados a escolher um destes retalhos, de forma a não existir repetição de escolha dentro da sala (entre os grupos), exceto a repetição obrigatória de escolha entre membros de um mesmo grupo. Considerando que cada retalho fosse equivalente a uma sonda fluorescente específica, cada aluno passou a representar um cromossomo também específico. Portanto, cromossomos homólogos (do mesmo grupo) acabaram ligando sondas específicas de mesma cor. Ficou nítido durante a visualização das cores que, no caso da trissomia, foram observadas três sondas ligadas (uma em cada cromossomo), representando, respectivamente, três

cromossomos homólogos, e no caso das monossomias, apenas um sinal (cor) foi observado (um cromossomo).

b) Uso das sondas para identificar diferentes regiões de um cromossomo (locus específico - Figura 6B). Para esta abordagem, cada aluno fez sua própria sonda com o uso de papéis coloridos. Em seguida, estas sondas foram recolhidas e, posteriormente, foram reapresentadas a cada um dos alunos que as criou, mas agora com a adição de outras sondas feitas pelos professores. Ao achar a respectiva sonda, após reapresentação, cada aluno teve de levá-la, segurando-a sobre a cabeça, demonstrando que estava presente e que, portanto, houve ligação sonda-cromossomo. No caso de uma fileira com todos os genes (alunos), devem ser observadas todas as sondas aderidas, com uma seqüência padronizada de cores, representando, desta forma, um cromossomo completo em termos de presença gênica (*locus gênico*). Numa segunda condição, um aluno foi retirado da fileira. Logo, houve a sobra da sonda e o cromossomo apresentou, portanto, uma cor a menos, caracterizando uma deleção. Se acaso houvesse inversão dos alunos, haveria conseqüentemente uma inversão na seqüência das cores do cromossomo. Finalmente, se outro aluno adentrasse na fileira, por não possuir sonda específica ou por possuir sonda de outra cor, apareceria entre as seqüências de cores um vazio ou outra cor não presente no cromossomo tido como padrão, representando um fragmento ou seqüência gênica exógena.

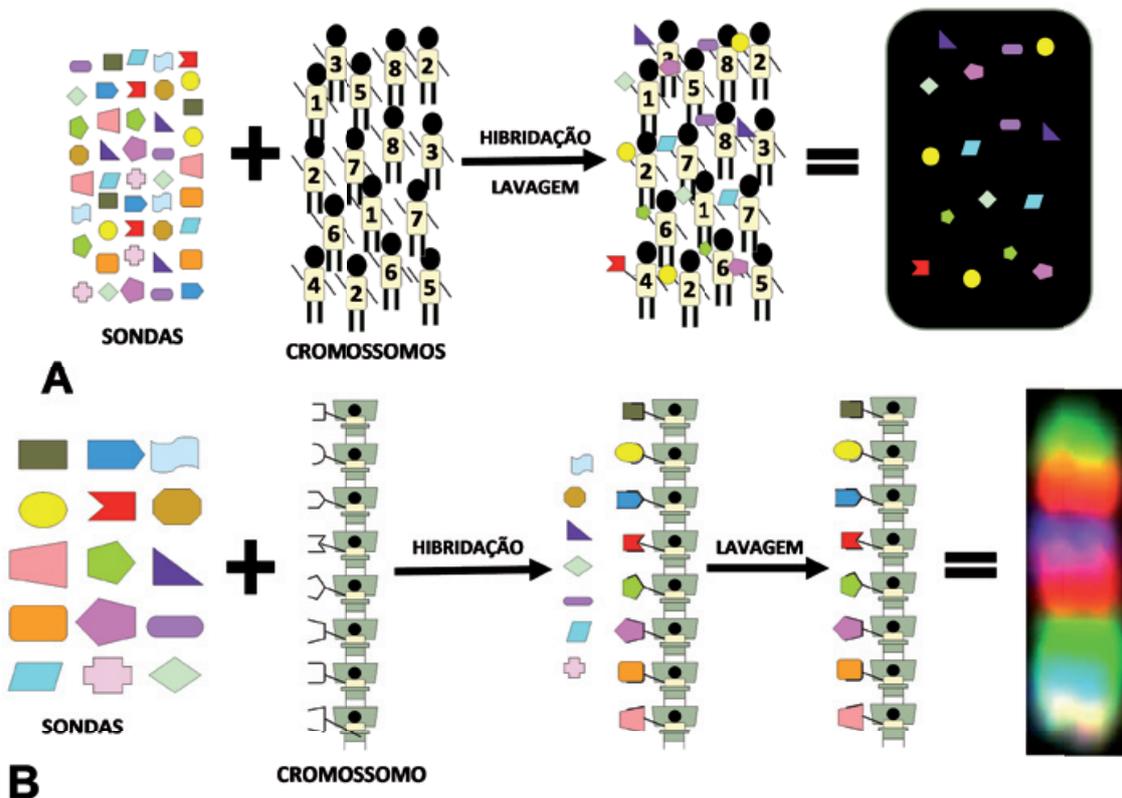


Figura 6: Criação e aplicação do modelo lúdico que demonstra e simula a técnica de FISH em duas condições. (A) FISH cromossomo específico e (B) FISH locus específico. Para maiores informações e detalhes do procedimento, vide texto.

3.2) Resultados e Discussões

Da mesma forma que na elaboração dos cariótipos, aqui também foi promovida uma avaliação qualitativa e outra quantitativa. Sob o aspecto qualitativo, as metodologias foram bem aceitas e as perguntas que surgiram refletiram compreensão do processo por parte dos alunos. A interação entre os alunos durante a realização das técnicas foi outro fator preponderante, afinal, embora estivessem descontraídos durante as atividades, realizaram os procedimentos metodológicos como esperado, mais uma vez saindo da rotina de aula expositiva e fazendo com que estes alunos participassem diretamente dos objetivos propostos.

Sob o aspecto quantitativo, observado via avaliação formal, pôde-se verificar um resultado também satisfatório. As questões 3 a 5 da avaliação (ver a seguir) trataram do assunto, e os resultados específicos de cada uma delas se apresentam descritos na íntegra na **Tabela 3**.

4) Avaliação dos conhecimentos apreciados

Embora houvesse um prévio convencimento de que o uso destas metodologias referenciadas auxiliasse no processo de ensino-aprendizagem, devido ao retorno qualitativo dado pelos alunos em conversas informais, ou mesmo mediante elogios recebidos pela diversificação da metodologia didática, existiu a curiosidade de se fazer uma verificação quantitativa formal, mediante avaliação por escrito de conceitos e processos apreciados. De fato não existe um padrão de controle, ou seja, uma sala onde as técnicas não foram aplicadas para com-

par os rendimentos avaliativos, mas sabe-se que devido à exigência da avaliação montada, somente um aprendizado consistente poderia refletir um bom desempenho dos alunos.

4.1) Material e Métodos

A avaliação formal constou de questões dissertativas, algumas com subitens de questionamento, a serem respondidas num período de uma aula (50 minutos corridos) envolvendo os temas abordados. Cada um dos objetivos propostos, por questão, bem como resultados e discussões, estão presentes, na íntegra, na **Tabela 3**.

4.2) Resultados e Discussões

De maneira geral, podemos dizer que a avaliação foi um sucesso. Apenas 7% (11 alunos do total), obtiveram notas inferiores a 6,0 (limite de satisfação exigida pelo colégio), ao passo que 16 % (22 alunos do total) alcançaram excelência (notas superiores a 9,0). Embora não haja parâmetros concretos para comparar diferentes turmas e anos letivos, a relação de rendimento desta avaliação com outras feitas em anos anteriores destacou que os resultados são plenamente satisfatórios, confirmando a importância das metodologias lúdicas para a melhora no rendimento dos alunos (**Figura 7**).

Um dado interessante e que deve aqui ser enfatizado é que, pela primeira vez, os alunos reclamaram do tempo estipulado para a realização da prova, achando-o insuficiente. Esta crítica dos alunos pode ser em decorrência do acúmulo de conhecimento e, assim, necessitarem de maior tempo para elaborarem as respostas.

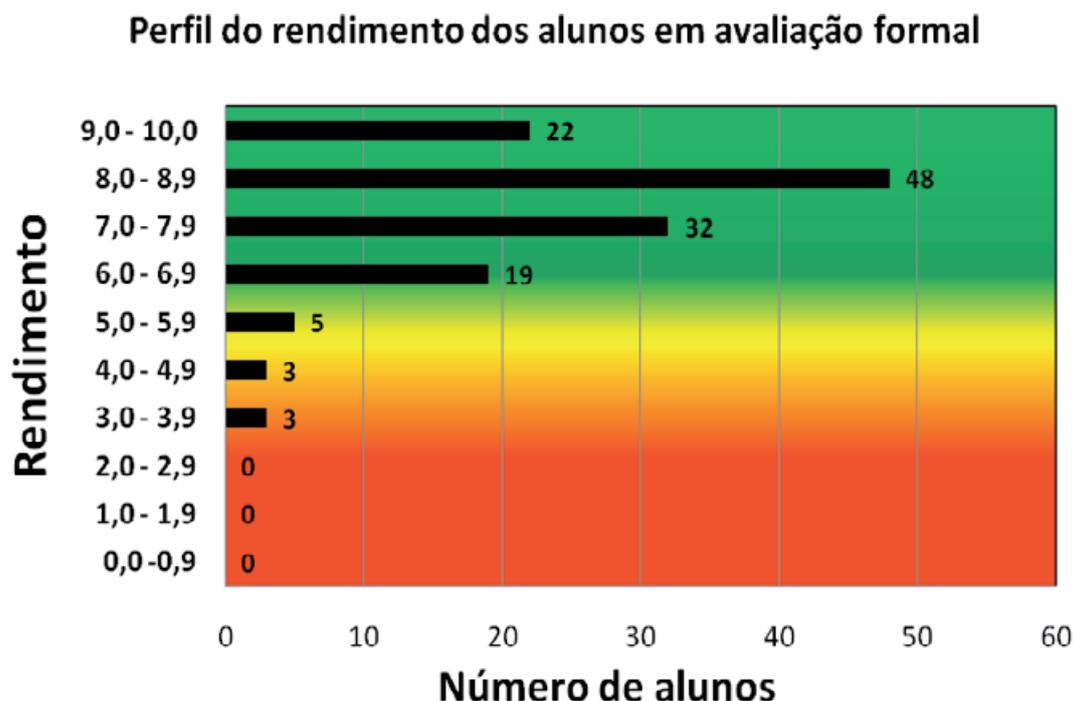
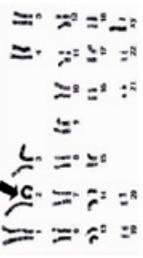
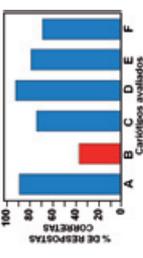
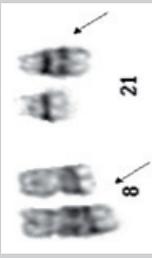
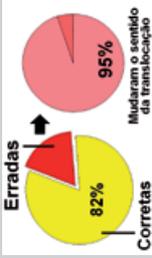
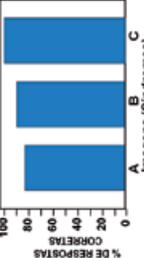
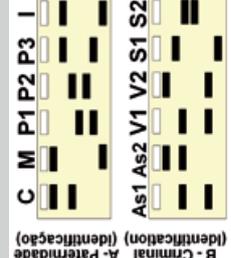
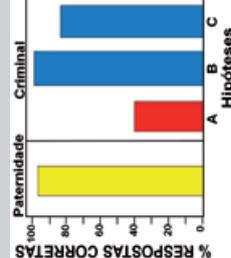
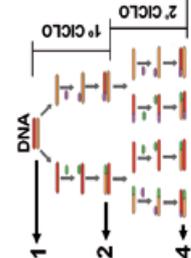
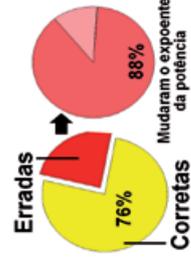
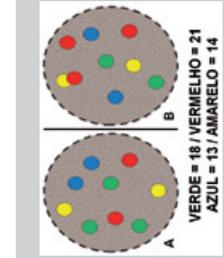
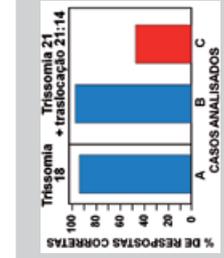
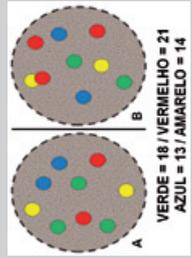
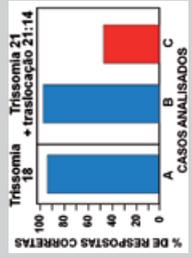


Figura 7: Perfil geral do rendimento dos alunos submetidos à avaliação formal. A zona em amarelo determina um rendimento mediano, assim como o verde denota rendimento satisfatório e, vermelho, insatisfatório. Observe que a maioria dos alunos encontra-se inserida no bloco verde (121 dos 132 que foram avaliados).

Tabela 3: Perfil dos resultados da avaliação dos assuntos abordados em aula por intermédio das metodologias aplicadas.

Nº	Modelo ou imagem utilizado	Temática ou proposta avaliada	Estadística de acertos	Observações e comentários (com base nos resultados obtidos)
1 a		Determinação de síndromes a partir de cariótipos montados		O cariótipo com o maior número de dúvidas geradas foi o selecionado no item B da questão (barra vermelha), que determinava o perfil cromossômico de um homem normal (ver imagem). Após averiguação do ocorrido, pôde-se notar que a estrutura em semicírculo dos cromossomos nos pares 2 e 3 (ver seta preta) induziu dúvidas de interpretação e, conseqüentemente, erro na resposta. CARIÓTIPOS COBRADOS NA AVALIAÇÃO: A: ♀ normal, B: ♂ normal, C: ♀ Edwards, D: ♂ Patau, E: Klinefelter, F: Turner. http://www.porquebiotecnologia.com.br/educacao/cuaderno/img_c20/adh.gif
1 b		Análise e determinação de translocação por uso de bandamento cromossômico		Embora 82% dos alunos tenham acertado a resposta da questão, pôde-se notar que um total de 95% dos alunos que erraram a mesma questão foi porque trocaram as posições de translocação, imaginando ter havido uma translocação do cromossomo 21 para o cromossomo 8, e não o inverso, como seria o correto. Muito provavelmente este erro foi decorrente da não comparação entre o tamanho dos cromossomos, acarretando esta resposta falso-positiva. http://www.fleury.com.br/Medicos/SaudeEmDia/ManualHematologia/PublicingImages/figura2_capitulo3.jpg
2		Determinação de síndromes por análise de imagens.		Foi, sem dúvida, a questão com o maior número de acertos. Isto nos leva à conclusão de que o uso de imagens é uma excelente alternativa de apoio pedagógico e, para tanto, deve ser comumente utilizada em aulas com esta temática. (IMAGENS – A: Osteogenesis imperfecta, B: Síndrome da progeria e C: Síndrome de Down). A: http://www.wisc.edu/wispp/wisppers/w13f6.gif , B: http://paginas.terra.com.br/educacao/biolmol/Genetica-Medicina/progeria-paciente.jpg , C: http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/images/1030_down/1104346_down5.jpg .
3 a		Uso da eletroforese para determinação de um caso de paternidade.		O uso da técnica de eletroforese mediante desenhos foi um sucesso para justificar casos de paternidade. A ideia de que um filho biológico deve sempre receber parte do material genético da mãe e parte do pai propiciou acerto quase que absoluto (96%). Entretanto, o mesmo não pôde ser observado no caso que envolvia a criminalística. Apenas 40% dos alunos chegaram à conclusão de que o provável autor do crime teria sido um dos filhos (amostra não presente no gel) do casal assassinado (V1 e V2) – item A do gráfico (vermelho); 98% dos alunos chegaram ao veredito de que os suspeitos capturados (S1 e S2) não estão envolvidos no caso. Pelo menos suas amostras de sangue não coincidiram com amostras de sangue encontradas no local do crime (As1 e As2) – item B do gráfico; 85% dos alunos chegaram à conclusão de que a amostra de sangue da vítima 1 (pai) coincide com uma das amostras de sangue coletada no local (As1) – item C do gráfico.
4 a		Uso e função da técnica de PCR (Conceito).		O conceito de uso e função da PCR foi amplamente compreendido, já que o número de respostas erradas foi praticamente desprezível (1,6%), o que denota a importância de exemplos simples para demonstrar técnicas complexas. Com relação à determinação do número de cópias, após 30 ciclos sugeridos, 76% dos alunos acertaram a resposta. Os alunos que erraram o valor do cálculo acabaram trocando o valor a ser colocado como expoente de potência. Onde deveria ser 2 ³⁰ , sendo 30 o número de ciclos e 2 o número de cópias geradas a cada ciclo, acabaram registrando como 30 ² : 88% dos alunos que erraram, cometeram esta falha. Imagem adaptada de: http://members.aol.com/BearFlag45/Biology1A/LectureNotes/LNpics/Recomb/pcr.gif .
4 b		Determinação do número de moléculas de DNA após alguns ciclos de PCR		Em dois exercícios aplicados em prova, os resultados foram excelentes. Como a prova é feita sem cores, a proposta alternativa foi a de adicionar nome das cores aos pontos observados no microscópio (círculo em linhas pontilhadas), levando em conta que cada ponto fosse representado por um cromossomo com sua respectiva sonda fluorescente aderida (cores referenciadas). No primeiro modelo foi criado um caso de trissomia do 18 (Edwards) e no segundo caso uma trissomia do 21 (Down), com translocação de um dos cromossomos 21 ao cromossomo 14 (como estudado na prática – Tabela 2). No primeiro caso, o percentual de acerto chegou a 96% (item A do gráfico) e, no segundo, 98% (item B do gráfico). No entanto, apenas 43% dos alunos descreveram a translocação proposta (item C do gráfico).
5		Determinação de síndromes por técnica de FISH		

Considerações finais

Com o uso de metodologias novas e de simples confecção foi possível gerar resultados de aprendizagem superiores às clássicas aulas expositivas, demonstrando serem vantajosas as práticas lúdico-pedagógicas mesmo no 9º ano do EF, dando subsídios para serem testadas em níveis superiores de ensino. Ficou comprovado que o interesse do aluno é diretamente proporcional à sua interação com o tema proposto, o que corrobora para uma prática docente mais dinâmica, muitas vezes fugindo do prévio planejamento. Sobre as propostas metodológicas descritas neste trabalho, pode-se destacar que:

- Resgatar a história da Genética foi uma ótima opção de introdução ao conhecimento básico, bem como do posicionamento do aluno às objetividades de estudo lançadas pelas propostas de ensino.
- Em pouco mais de dez anos de docência, esta foi a primeira vez que conseguimos discutir no EF (com alunos em torno de 14 a 15 anos) os trabalhos realizados por pesquisadores brasileiros no campo da Genética (**Tabela 1**). Além de uma realização pessoal, a proposta é uma excelente alternativa de resgate da história científica nacional, esquecida de ser incorporada como recurso essencial no currículo de ensino de Ciências.
- Embora não tenha sido discutido neste trabalho, houve a oportunidade de dar ênfase a assuntos de extrema importância na área de Genética, como o caso do uso das células-tronco em aplicações terapêuticas, bem como do uso da clonagem e transgênicos na melhoria da qualidade de produtos de origem animal e vegetal. É evidente que todos estes tópicos levaram a uma discussão sobre os aspectos políticos e éticos, mas tais assuntos foram abordados em outras aulas.
- Da mesma forma, as metodologias abriram espaço para discussões políticas e econômicas a respeito do desenvolvimento da ciência. Sugere-se aqui que uma abordagem voltada para discussão a respeito de patentes possa gerar resultados bem interessantes.
- Preparar uma aula usando informações e imagens disponibilizadas na internet tornou-se algo corriqueiro na vida de docentes em todos os níveis de ensino, mas deve-se cuidar bem da seleção das fontes de informações. Entretanto, estimular os alunos a participarem desta criação de aula é uma tarefa difícil, tendo em vista a falta de interação entre professores e alunos, o que dificulta o processo. Nestas metodologias, ficou evidenciado que, quando os alunos participam diretamente da preparação das aulas, a atenção destinada é mais evidente, pois os mesmos acabam assimilando melhor os objetivos propostos e o conteúdo programado.
- Dentre todos os resultados obtidos, a forma como as técnicas de PCR, eletroforese e FISH foram introduzidas e discutidas em sala de aula foi o que mais chamou a atenção neste trabalho. Embora sejam técnicas que precisam de muitos equipamentos e reagentes de elevado custo, tornando inviável a sua abordagem prática neste nível de ensino, o uso de atividades lúdicas permitiu a apreciação do conhecimento de uma maneira simples e com custo reduzido. Um exemplo prático disto pode ser tomado com base na comparação observada na **Figura 8**.
- No que diz respeito à avaliação, foi possível observar alunos mais bem preparados e menos preocupados com o próprio rendimento, já que a confiança sobrepôs-se à típica apreensão das famosas *provas*. Entretanto, mais uma vez ficou comprovado que a avaliação formal é um dos temas mais complexos do processo ensino-aprendizagem, já que algumas possíveis falhas do docente só serão observadas após completa efetivação e análise do processo, a exemplo do exercício 1, discutido nos resultados da **Tabela 3**. Em muitos casos, esta determinação de falhas, por ocorrer *a posteriori*, pode ficar a desejar, pois descaracteriza uma avaliação continuada que poderia favorecer a retomada de informações em curto espaço de tempo.
- Como fechamento do projeto pedagógico, os alunos ainda finalizaram a produção de um livro paradidático contendo, além do histórico da Genética, aqui relatado, informações sobre a composição gênica dos 23 cromossomos humanos, bem como um destaque científico sobre as síndromes por eles estudadas (**Tabela 2**). Para tornar o material mais apreciado e interativo, ainda foram incorporadas tabelas anexas com cromossomos a serem destacados, permitindo ao leitor interagir com a atividade, montando, desta forma, seus próprios cariótipos e consultando o resultado encontrado no próprio livro (**Figura 2**).

Agradecimentos

Agradecemos aos mantenedores do colégio Petrópolis, Edna Maria Fiorelli Vasques Gaspar e Ricardo Gaspar, pela confiança no trabalho e no investimento em educação de qualidade. A toda a equipe pedagógica que direta ou indiretamente contribuiu para a discussão dos resultados, em especial às diretoras pedagógicas Jozimeire Angélica Vieira da Silva e Silvana Russo Baptista pelo incansável incentivo. Agradecemos também à professora Vânia Peres Coianiz e o amigo Robson Ikeda pela importante ajuda na finalização deste trabalho.

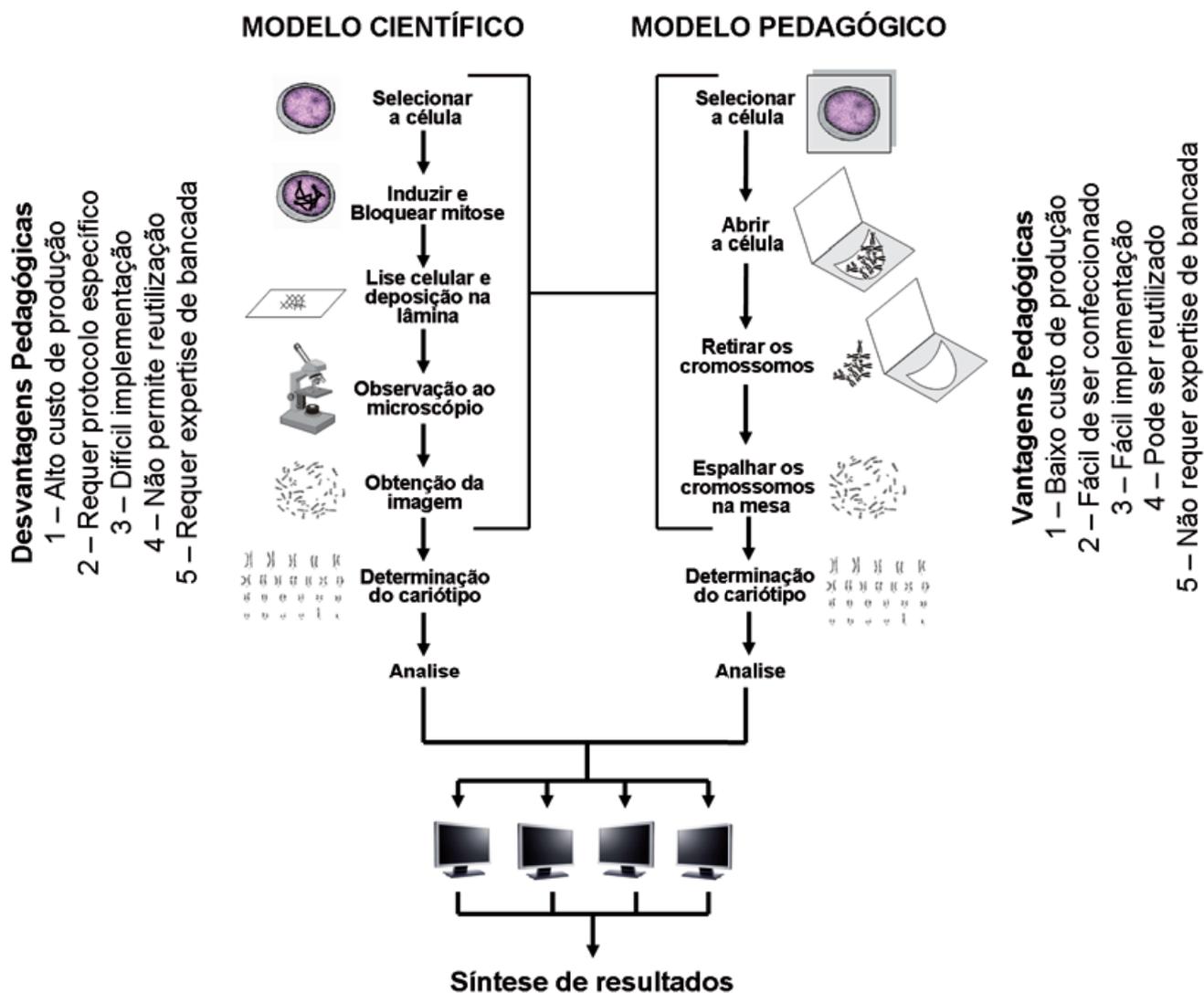


Figura 8: Fluxograma comparativo das atividades propostas para o modelo pedagógico de construção de um cariótipo humano, em comparação ao modelo científico. Notar que as etapas de preparação do modelo pedagógico são muito parecidas com as do modelo científico, e que o resultado final é o mesmo sob o ponto de vista de aprendizado e discussões. Entretanto, são notificadas cinco grandes vantagens do modelo pedagógico em relação ao científico. O uso dos computadores em rede facilita a busca pela informação técnica, corroborando para a busca de um conhecimento mais amplo.

Referências Bibliográficas

- BANET, E. e E. AYUSO. Teaching genetics at secondary school: a strategy for teaching about localization of inheritance information. *Science Education*, v.84, p.313-351. 2000.
- BARTSOCAS, C. S. Genetics in Greek antiquity. *J Genet Hum*, v.36, n.4, Aug, p.279-93. 1988.
- CAMARGO, S. e M. INFANTE-MALACHIAS. A genética humana no Ensino Médio: alguma propostas. *Genética na Escola*, v.2, p.14-16. 2007.
- CARNEIRO, M. H. S. e M. L. GASTAL. História e Filosofia das Ciências no Ensino de Biologia. *Ciência & Educação*, v.11, n.1, p.33-39. 2005.
- DEMO, P. *Avaliação Qualitativa*. São Paulo: CORTEZ. 1991
- DEPRESBITERIS, L. *O desafio da avaliação da aprendizagem: dos fundamentos a uma proposta inovadora*. São Paulo: EPU. 1989
- LINDEMANS, M. F. Encyclopedia Mythica™: MCMXCV - MMVII Encyclopedia Mythica. 2008 1995-2005.
- MITTWOCH, U. Three thousand years of questioning sex determination. *Cytogenet Cell Genet*, v.91, n.1-4, p.186-91. 2000.
- _____. Sex determination in mythology and history. *Arq Bras Endocrinol Metabol*, v.49, n.1, Feb, p.7-13. 2005.
- MOREIRA, L. M. O uso do corpo como ferramenta pedagógica: um modelo alternativo que desconsidera a ausência de recursos específicos para o ensino de bioquímica e biologia molecular no Ensino Fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, n.artigo 4. 2007.
- STURTEVANT, A. H. *A history of genetics*. New York: CSHL Press. 2001