

Benedito Rodrigues da Silva Neto
(Organizador)



**Conceitos
Básicos da
Genética**

Atena
Editora
Ano 2019

Benedito Rodrigues da Silva Neto

(Organizador)

Conceitos Básicos da Genética

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) |
|---|
| <p>C744 Conceitos básicos da genética [recurso eletrônico] / Organizador Benedito Rodrigues da Silva Neto. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de Acesso: World Wide Web Inclui bibliografia. ISBN 978-85-7247-421-4 DOI 10.22533/at.ed.214192106</p> <p>1. Genética – Estudo e ensino. 2. Genética e melhoramento. I. Silva Neto, Benedito Rodrigues da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 576</p> |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior CRB6/2422 |

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Há exatos dezenove anos, mais precisamente na data de 21 de junho de 2000, um dos anúncios mais esperados nos últimos tempos pela comunidade científica era feito: simultaneamente nos Estados Unidos e em Londres o presidente Bill Clinton e o primeiro ministro Tony Blair divulgaram, o que segundo eles seria uma nova era para a humanidade, o sequenciamento do genoma humano. O “rascunho da vida” como denominaram traria novas expectativas quanto à doenças incuráveis, desafios éticos, novas propostas tecnológicas para a pesquisa, mas principalmente uma acessibilidade muito maior ao conceito de genética para a população.

Desde então uma revolução molecular pôde ser observada, novos conceitos adentraram às salas de aula, novos equipamentos evoluíram os laboratórios de pesquisa, novos e milhares de artigos passaram a publicar quase que “em tempo real” as descobertas no campo ambiental, microbiológico, industrial e da saúde. Podemos dizer também que a genética chegou como nunca às mesas das famílias, deixando de ser um assunto apenas dos cientistas.

Portanto a literatura aqui apresentada e intitulada “Conceitos básicos da genética” torna-se relevante não apenas por abordar assuntos relativos à comunidade acadêmica, mas principalmente por demonstrar a diversidade de áreas que hoje utilizam das ferramentas genéticas e moleculares em seus estudos que estão diretamente relacionados ao dia-a-dia da população.

Cada vez mais, o acelerado mundo das descobertas científicas caminha a passos largos e rápidos no sentido de transformar a pesquisa básica em aplicada, portanto é relevante destacar que investimentos e esforços nessa área contribuem grandemente com o desenvolvimento de uma nação. A genética como sabemos possui um campo vasto de aplicabilidades que podem colaborar e cooperar grandemente com os avanços científicos e tecnológicos.

Esperamos que seja apenas o primeiro de muitos outros livros na área, já que a cada dia novas tecnologias genéticas tornam-se acessíveis e novas descobertas são possíveis. Parabenizamos cada autor pela teoria bem fundamentada aliada à resultados promissores, e principalmente à Atena Editora por permitir que o conhecimento seja difundido e disponibilizado para que as novas gerações se interessem cada vez mais pelo ensino e pesquisa em genética.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| FERRAMENTAS GENÔMICAS E GEOGRÁFICAS PARA AVALIAR A DIVERSIDADE E ESTRUTURA GENÉTICA DE POPULAÇÕES SUÍNAS | |
| <i>Elizabete Cristina da Silva</i> | |
| <i>Samuel Rezende Paiva</i> | |
| <i>Concepta Margaret McManus Pimentel</i> | |
| <i>Victor Huço de Vasconcelos Calado</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.2141921061 | |
| CAPÍTULO 2 | 12 |
| A ABORDAGEM DE GENÉTICA SOB O OLHAR DOS DISCENTES DE ENFERMAGEM DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SEMIPRESENCIAL NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ESTADO DO PARÁ | |
| <i>Letícia Gomes de Oliveira</i> | |
| <i>Maria Josilene Castro de Freitas</i> | |
| <i>Brena Yasmim Barata Nascimento</i> | |
| <i>Shirlene de Nazaré Costa da Silva</i> | |
| <i>Leandro Neves da Silva Costa</i> | |
| <i>Dolanno Ferreira Alves</i> | |
| <i>Adan Rodrigues de Oliveira</i> | |
| <i>Joycianne Rodrigues Parente</i> | |
| <i>Karina Guedes Lima</i> | |
| <i>Abigail das Mercês do Vale Batista</i> | |
| <i>Dayara de Nazaré Rosa de Carvalho</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.2141921062 | |
| CAPÍTULO 3 | 17 |
| A GENÉTICA TOXICOLÓGICA E O BIOENSAIO <i>Allium cepa</i> | |
| <i>Schirley Costalonga</i> | |
| <i>Maria do Carmo Pimentel Batitucci</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.2141921063 | |
| CAPÍTULO 4 | 25 |
| ANÁLISES GENÉTICAS NÃO INVASIVAS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A GENÉTICA DA CONSERVAÇÃO DE FELINOS BRASILEIROS | |
| <i>Andiara Silos Moraes de Castro Souza</i> | |
| <i>Bruno Henrique Saranholi</i> | |
| <i>Pedro Manoel Galetti Jr</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.2141921064 | |
| CAPÍTULO 5 | 40 |
| AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA DE GENÉTICA HUMANA FRENTE ÀS DIRETRIZES CURRICULARES NACIONAIS PARA O CURSO DE GRADUAÇÃO EM MEDICINA | |
| <i>Sulyanne Saraiva de Almeida</i> | |
| <i>Alcivan Batista de Moraes Filho</i> | |
| <i>João Paulo da Silva Liberalino</i> | |
| <i>Sandy Albuquerque Silveira</i> | |
| <i>Bruna Prado de Oliveira</i> | |
| <i>Thales Allyrio Araújo de Medeiros Fernandes</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.2141921065 | |

CAPÍTULO 6 54

CITOGENOTOXICIDADE E MUTAGENICIDADE DO SULFATO DE COBRE EM DIFERENTES VARIEDADES DE *allium cepa* LINN

Júlio Brando Messias
Rosanne Lopes de Brito
Gerusa Tomaz de Aquino Beltrão
Inalda Maria de Oliveira Messias
Mônica Simões Florêncio
Betty Rose de Araújo Luz
Sura Wanessa Nogueira Santos Rocha
Mércia Cristina de Magalhães Caraciolo
João Ferreira da Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.2141921066

CAPÍTULO 7 65

COMO SURGEM NOVAS ENZIMAS? EVOLUÇÃO MOLECULAR DE NOVAS CÓPIAS GÊNICAS NA SUPERFAMÍLIA DAS RODANASES EM DIPTERA

Luana Sousa Soares
Iderval da Silva Júnior Sobrinho

DOI 10.22533/at.ed.2141921067

CAPÍTULO 8 83

DIVERSIDADE GENÉTICA EM *Hoplias malabaricus* (BLOCH, 1794) REVELA DIFERENTES LINHAGENS EM BACIAS MARANHENSES

Walna Micaelle de Moraes Pires
Maria Claudene Barros
Elmary da Costa Fraga

DOI 10.22533/at.ed.2141921068

CAPÍTULO 9 98

DNA BARCODING CONFIRMA A OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS NA ICTIOFAUNA DO RIO TURIQUÊ, MARANHÃO/BRASIL

Bruno Rafael da Silva Teixeira
Maria Claudene Barros
Elmary da Costa Fraga

DOI 10.22533/at.ed.2141921069

CAPÍTULO 10 111

EVALUATION OF HETEROLOGOUS PROTEIN EXPRESSION AT DIFFERENT CONCENTRATIONS OF MGSO₄ AND IPTG IN ESCHERICHIA COLI W110

Yago Queiroz dos Santos
Gabriella Silva Campos Carelli
Bruno Oliveira de Veras
Joelton Igor Oliveira da Cruz
Geovanna Maria Medeiros Moura
Antônio Moreira Marques Neto
Anderson Felipe Jácome de França

DOI 10.22533/at.ed.21419210610

CAPÍTULO 11 119

ANÁLISE DA IMPORTANCIA DE ESTUDOS DO GENE MDR1 E SEU PAPEL NO DESENVOLVIMENTO DE MULTIRESTENCIA A FÁRMACOS PARA TRATAMENTO DE CANDIDÍASE

Lucas Lopes Lima
Benedito R. Da Silva Neto

DOI 10.22533/at.ed.21419210611

CAPÍTULO 12 128

EVALUATION OF PLASMA MIRNAS FOR EARLY DIAGNOSIS OF BREAST CANCER

Alexis Germán Murillo Carrasco
Stefano Giannoni Luza
Oscar Acosta Conchucos
José Manuel Cotrina Concha
Alfredo Aguilar Cartagena
Lia Pamela Rebaza Vásquez
Ricardo Miguel Fujita Alarcón
José Luis Buleje Sono

DOI 10.22533/at.ed.21419210612

CAPÍTULO 13 139

POLIMORFISMO DO GENE GOLA-DRB.2 EM REBANHOS CAPRINOS LEITEIROS

Luciana Florêncio Vilaça Lopes
Elizabete Cristina da Silva
Elizabete Rodrigues da Silva
Severino Benone Paes Barbosa
Ângela Maria Vieira Batista
Kleber Régis Santoro

DOI 10.22533/at.ed.21419210613

CAPÍTULO 14 151

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR DE PEIXES DA APA DO INHAMUM, LESTE MARANHENSE, BRASIL

Renato Corrêa Lima;
Marcelo Silva de Almeida;
Maria Claudene Barros;
Elmary da Costa Fraga;

DOI 10.22533/at.ed.21419210614

CAPÍTULO 15 169

MIRNAS: UMA CLASSE DE PEQUENOS RNAs REGULATÓRIOS

Juliana Santana de Curcio
Kleber Santiago Freitas e Silva
Lívia do Carmo Silva
Amanda Alves de Oliveira
Thaynara Gonzaga Santos
Lucas Weba Soares

DOI 10.22533/at.ed.21419210615

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 16 | 179 |
| O CICLO CELULAR E SEUS MECANISMOS DE CONTROLE: UMA REVISÃO | |
| <i>Schirley Costalonga</i> | |
| <i>Maria do Carmo Pimentel Batitucci</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.21419210616 | |
| CAPÍTULO 17 | 191 |
| OSTEOSSARCOMA PEDIÁTRICO | |
| <i>Natália Paiva do Nascimento</i> | |
| <i>Thauanna Alves Meira</i> | |
| <i>Mariana Camargo Maschietto</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.21419210617 | |
| CAPÍTULO 18 | 202 |
| PHYLOGENETIC ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF A CELLULASE PRODUCING BACILLUS SP. STRAIN BY 16S RRNA SEQUENCING | |
| <i>Yago Queiroz dos Santos</i> | |
| <i>Anderson Felipe Jácome de França</i> | |
| <i>Bruno Oliveira de Veras</i> | |
| <i>Gabriella Silva Campos Carelli</i> | |
| <i>Geovanna Maria Medeiros Moura</i> | |
| <i>Joelton Igor Oliveira da Cruz</i> | |
| <i>Fernanda Granja da Silva Oliveira</i> | |
| <i>João Ricardhis Saturnino de Oliveira</i> | |
| <i>Luciclaudio Cassimiro de Amorim</i> | |
| <i>Elizeu Antunes dos Santos</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.21419210618 | |
| CAPÍTULO 19 | 210 |
| POLIMORFISMOS GENÉTICOS E DOENÇAS HUMANAS NA ERA DA BIOINFORMÁTICA | |
| <i>Kleber Santiago Freitas e Silva</i> | |
| <i>Juliana Santana de Curcio</i> | |
| <i>Lucas Weba Soares</i> | |
| <i>Lívia do Carmo Silva</i> | |
| <i>Amanda Alves de Oliveira</i> | |
| <i>Thaynara Gonzaga Santos</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.21419210619 | |
| CAPÍTULO 20 | 226 |
| QUIMIOPROTEÔMICA: DESCOBRINDO MOLÉCULAS BIOATIVAS E SEUS ALVOS | |
| <i>Lívia do Carmo Silva</i> | |
| <i>Kleber Santiago Freitas e Silva</i> | |
| <i>Juliana Santana De Curcio</i> | |
| <i>Lucas Weba Soares</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.21419210620 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 240 |

A GENÉTICA TOXICOLÓGICA E O BIOENSAIO *Allium cepa*

Schirley Costalonga

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos
Hídricos
Cariacica – Espírito Santo

Maria do Carmo Pimentel Batitucci

Universidade Federal do Espírito Santo –
Departamento de Ciências Biológicas
Vitória – Espírito Santo

RESUMO: A genética toxicológica é uma ferramenta indispensável na busca por substâncias potencialmente danosas aos seres vivos e ao meio ambiente como um todo. Atualmente é amplamente empregada em estudos de impacto ambiental e na produção de medicamentos; no entanto, sua utilização na análise dos metabólitos secundários vegetais vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas e um dos testes mais utilizados é o ensaio *in vivo* com raízes de cebola (*Allium cepa* L.). O presente trabalho traz uma revisão sobre as origens da genética toxicológica, bem como seu uso no estudo dos produtos produzidos pelo metabolismo vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Fitoquímicos. Mutagenicidade. Teste do *A. cepa*.

ABSTRACT: Toxicological genetics is an indispensable tool in the search for potentially damaging substances to living beings and the

environment as a whole. Currently it is widely employed in environmental impact studies and in the production of medicines; however, its use to analyze secondary metabolites plants is increasing considerably in recent decades and one of the most widely used tests is the *in vivo* with roots of onion (*Allium cepa* L.). The present work brings a review on toxicological genetics origins, as well as your use to study the products produced by plant.

KEYWORDS: Phytochemicals. Mutagenicity. *A. cepa* System.

1 | INTRODUÇÃO

Desde tempos imemoriais as espécies que habitam o planeta são irremediavelmente expostas às substâncias que podem causar danos e afetar sua sobrevivência e desde as mais antigas civilizações há relatos de estudos sobre seus efeitos na saúde humana e animal.

Com o passar das eras e o desenvolvimento da humanidade, novas substâncias foram desenvolvidas, contaminando o ambiente e colocando em risco a existência dos seres vivos, principalmente do homem.

Neste contexto a genética vegetal surge como ferramenta na investigação dos potenciais tóxicos desses compostos, sejam de

que origem forem, bem como no entendimento dos seus mecanismos de ação sobre o material genético.

Assim, o presente trabalho objetivou fazer uma revisão acerca das origens deste ramo da genética e sua aplicação no estudo dos aleloquímicos produzidos pelas plantas, especialmente aquelas utilizadas pelos seres humanos como fonte de alimento e remédio.

2 | O HISTÓRICO DA GENÉTICA TOXICOLÓGICA

A exposição a agentes potencialmente danosos ao organismo é uma condição inerente aos seres vivos desde o advento da vida no planeta Terra; contudo, o desenvolvimento tecnológico, especialmente a partir da Revolução Industrial, contribuiu exacerbadamente para elevar tanto a quantidade dessas substâncias quanto a possibilidade de exposição (SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013). Segundo Bagatini, Silva e Tedesco, (2007), tais agentes, cuja origem pode ser química, física ou biológica, induzem modificações tanto ao nível celular quanto molecular, afetando processos vitais como a duplicação e transcrição gênica, bem como causando alterações cromossômicas; essas alterações podem aumentar e/ou acelerar o aparecimento de mutações, além de levar à morte celular (CARVALHO, 2004; ALMEIDA NETO et al., 2005; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; SILVA et al., 2014).

Desde o antigo Egito já havia registros sobre substâncias que poderiam causar malefícios à saúde humana; na Grécia, Hipócrates, considerado por muitos como o criador da medicina moderna, descreveu instruções detalhadas sobre a ação de vários compostos tóxicos aos seres humanos (SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013).

A detecção e compreensão dos mecanismos de ação de tais substâncias potencialmente citotóxicas e genotóxicas, bem como a investigação de seus efeitos sobre os organismos, é campo de atuação da Genética Toxicológica (FONSECA; PEREIRA, 2004), cujos primórdios remontam à Europa do início de 1900. Conforme Wasson e outros (2010), a redescoberta do trabalho de Mendel levou ao rápido desenvolvimento da Genética e com ela o interesse pela forma como fatores externos são capazes de afetar os processos gênicos, selecionados evolutivamente para serem precisos e corrigir suas próprias falhas. Todavia, são os trabalhos de Herman Joseph Muller (1927) e de Auerbach et al. (1947) que são considerados o marco oficial do início da Genética Toxicológica, uma vez que ambos – ao trabalharem com a indução de mutações em células de *Drosophila* sp. - “[...] destacaram o conceito de mutação e empreenderam esforços na análise de como e por que agentes (físicos, químicos ou biológicos) induzem mudanças genéticas [...]” (WASSON et al, 2010, tradução nossa).

Ainda no início do século XX, o botânico De Vries, em sua obra “*A teoria da mutação*”, já advertia para a possibilidade de que, ao se aclarar os princípios que levavam à falha nos mecanismos de reparo, poder-se-ia “planejar” mutações a fim de obter características desejáveis. Para ele,

[...] novas espécies ou variedades poderiam se formar em um único passo (com saltos) a partir da espécie parental que continuaria existindo sem modificar-se durante o processo. A essas novas espécies ou variedades ele chamou de “mutantes” (MARTINS; BRITO, 2006).

No decorrer dos trinta primeiros anos do século XX, diversas descobertas na área da Genética e o trabalho de Muller comprovando os efeitos da radiação na mutagênese levantaram questões acerca da indução artificial de mutações, bem como sobre a possibilidade de químicos como álcool, morfina, amônia e diversos metais alterarem o material genético; para Auerbach e colaboradores (apud WASSON et al., 2010)

Se, como desconfiamos, a mutação é um processo químico, então o conhecimento dos reagentes capazes de iniciar esses processos poderá trazer luz a não somente a reação em si, mas também sobre a natureza do gene, outro parceiro na reação (tradução nossa).

Na década de 1950, Barthelme publicou um artigo sobre as substâncias químicas utilizadas na medicina com efeitos comprovadamente citogenéticos; diversas pesquisas foram ao encontro desse artigo durante os anos 1960 e começou-se a prática de realizar ensaios mutagênicos antes da liberação para venda de qualquer droga.

Muller [foi um dos que] expressou preocupação de que humanos estivessem sendo expostos a um grande número de substâncias (como aditivos alimentares, drogas, narcóticos, antibióticos, pesticidas, cosméticos, contraceptivos, poluentes do ar e da água) não encontradas nas gerações anteriores e para as quais os indivíduos expostos não tinham sido especificamente adaptados pela seleção natural (WASSON et al., 2010, tradução nossa).

A obra de Rachel Carlson intitulada Primavera Silenciosa, em 1962, a qual documentava o efeito de agrotóxicos sobre aves deu força ao estudo da Toxicologia Ambiental (SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013) e com o lançamento do periódico Mutation Research, em 1964, a Mutagênese Ambiental alcançou, de fato, relevância na comunidade acadêmica, resultando na criação das Sociedades Americana e Europeia de Mutagênese em 1969 e 1970, respectivamente (RIBEIRO et al., 2003).

Em 1970, as pesquisas de Ames e McCann apontaram para fortes semelhanças entre o processo de mutagenicidade em *Salmonella* sp. com a carcinogênese em humanos (MACGREGOR; CASCIANO; MULLER, 2000); segundo Wasson e outros (2010), o teste com *Salmonella* gerou, à época, imenso entusiasmo pela possibilidade de utilizar testes de baixo custo na identificação e controle de exposição de químicos carcinogênicos e até hoje é um dos testes mais empregados na área da Mutagênese Ambiental.

Em 1980, diversos países incluíram a mutagenicidade entre a bateria de testes

a serem realizados antes da liberação de novas substâncias no mercado (RIBEIRO et al., 2003). Os avanços ocorridos no final daquele século, como o sequenciamento genômico de seres vivos e novas tecnologias empregadas na ciência, ampliou as possibilidades de pesquisa no campo da mutagênese, tornando-a uma das áreas mais promissoras da genética na atualidade.

3.1 A APLICAÇÃO DA GENÉTICA TOXICOLÓGICA NO ESTUDO DOS METABÓLITOS SECUNDÁRIOS VEGETAIS

Embora a maior aplicação da genética toxicológica seja na área ambiental e nos estudos de impactos ecológicos de substâncias tóxicas, é cada vez mais crescente sua utilização como ferramenta para a investigação de fitoquímicos, especialmente aqueles produzidos por plantas com uso consagrado na medicina popular.

Para a liberação de novos fármacos no mercado, diversos países, incluindo o Brasil, exigem que sejam efetuados testes de toxicidade; embora esta regra não inclua obrigatoriamente os fitofármacos, cada vez mais pesquisadores estão investigando os possíveis efeitos adversos desses aleloquímicos sobre organismos-teste.

É fundamental saber se estas substâncias originárias das plantas irão causar algum efeito direto ou indireto no material genético, levando à mutações, pois, caso estas sejam transmitidas aos descendentes, poderão afetar as gerações seguintes (FONSECA; PEREIRA, 2004).

Os testes mais empregados para o estudo da mutagenicidade são aqueles feitos com microorganismos (Teste de Ames), utilizando células de medula óssea de mamíferos *in vitro* ou *in vivo* e organismos-teste vegetais (SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013). Destes, o bioensaio realizado com raízes de *Allium cepa* L. é o mais utilizado.

3.1 O Bioensaio *Allium cepa* como Ferramenta para Avaliação Mutagênica

Para a real efetividade dos biotestes, é fundamental que o organismo escolhido como bioindicador seja fenotipicamente mais sensível a lesões no material genético, expressando em um curto espaço de tempo, portanto, respostas a qualquer alteração externa a que são submetidos (VIEIRA; DANTAS, 2015); além disso, deve ser capaz de detectar os agentes tóxicos em mais de um ambiente, bem como permitir a verificação de diversas classes de danos em suas células. Desta forma, os bioindicadores são ferramentas importantes nos estudos ambientais uma vez que, segundo Arraes e Longhin (2012), fornecem respostas mais precisas e rápidas sobre o cenário ao qual se encontra o ecossistema estudado.

Além das características supracitadas, para um organismo ser um indicador biológico ideal, ele precisa

[...] ser taxonomicamente bem definido e facilmente reconhecível pela sociedade

comum; possuir distribuição geográfica ampla; ser abundante ou de fácil coleta; ter baixa variabilidade genética e ecológica; [...]; ter curto ciclo de vida; dispor de características ecológicas bem conhecidas e poder ser usado em estudos laboratoriais (JOHSON et al. apud ARRAES; LONGHIN, 2012).

Para Leme e Marin-Morales (2009), de acordo com o sistema empregado e a característica genética observada, podem-se dividir os sistemas-teste em dois grupos: bioensaios com procariotos, no qual se identificam injúrias primárias ao DNA, e bioensaios com eucariotos, que permitem a análise de grandes danos, que variam de mutações gênicas a lesões cromossômicas e aneuploidias.

Dentre os sistemas que utilizam organismos eucariotos, os vegetais superiores constituem um importante modelo para identificação de substâncias tóxicas, uma vez que os resultados obtidos são suficientes para alertar quanto aos riscos a outros sistemas biológicos, haja vista a universalidade do código genético, alvo dessas substâncias (CARITÁ; MARIN-MORALES, 2008; LEME; MARIN-MORALES, 2009; FIRBAS; AMON, 2013). De fato, a correlação de biotestes vegetais com outros sistemas, incluindo mamíferos, é superior a 80% (BAGATINI; SILVA; TEDESCO, 2007; ARRAES; LONGHIN, 2012; TEDESCO et al., 2015), fazendo com que seu uso se fortaleça em meio à comunidade científica como forma eficaz de avaliação da genotoxicidade e - especialmente - das aberrações mitóticas em eucariontes (POHREN; COSTA; VARGAS, 2013).

Para Leme e Marin-Morales (2009), Mohammed (2010) e Felicidade e colaboradores (2014), as plantas se destacam não somente quanto à sensibilidade a substâncias genotóxicas, mas também ao potencial para manifestar mutações pontuais, aberrações cromossômicas e formação de micronúcleos em células de diferentes tecidos. Ademais,

As razões para usar sistemas vegetais são muitas: Plantas são fáceis de armazenar, geralmente os cromossomos estão em boas condições, baixo custo e, o mais importante, possuem uma boa correlação para outros sistemas-teste (FISKESJÖ, 1985, tradução nossa).

Conforme Fiskesjo (apud TEDESCO et al., 2015), apesar dos organismos de plantas e animais apresentarem particularidades, os princípios metabólicos são similares, justificando a extrapolação dos resultados para animais e humanos. Além disso, a presença de enzimas oxidase no metabolismo vegetal permite que eles ativem os pró-mutágenos em mutágenos sem necessitar da adição dessas enzimas ao meio, como ocorre nos testes com bactérias (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

Dentre os vegetais superiores, o bioteste *Allium cepa* (cebola), introduzido em 1949 por Levan, é um dos testes *in vivo* mais empregados na avaliação do potencial citotóxico e genotóxico/mutagênico de metabólitos secundários vegetais em suas diversas concentrações e em diferentes tempos de exposição (BAGATINI; SILVA; TEDESCO, 2007; TEDESCO; LAUGHINGHOUSE, 2012); devido ao baixo número cromossômico

($2n = 16$), rápido ciclo celular, fácil manipulação, alta sensibilidade à grande variedade de substâncias e excelente correlação com outros bioensaios, este sistema-teste permite a detecção de danos tanto em parâmetros macroscópicos, por alterações na cor, tamanho e morfologia das raízes, quanto microscópicos, por meio de alterações durante o processo mitótico (LEME; MARIN-MORALES, 2009; MOHAMMED, 2010; ARRAES; LONGHIN, 2012). Além disso, anomalias cromossômicas espontâneas são extremamente raras nesta espécie, tornando-o confiável para associar os danos ocorridos ao efeito da substância testada (FIRBAS; AMON, 2013).

Também conhecido como teste de avaliação de alterações cromossômicas, o bioensaio *Allium cepa* é mundialmente reconhecido pela comunidade científica como eficaz para análise de genotoxicidade, tendo seu emprego validado pelo Programa Internacional de Segurança Química da Organização Mundial da Saúde (IPCS) e o Programa Ambiental das Nações Unidas - UNEP (BAGATINI; SILVA; TEDESCO, 2007; FIRBAS; AMON, 2013; TEDESCO et al., 2015). Constitui, segundo Charoenying, Teerarak e Laosinwattana (2010), um dos melhores modelos biológicos para avaliação de danos em cromossomos e distúrbios ocorridos no ciclo celular por químicos que penetraram na célula durante o processo, além de permitir a determinação do mecanismo pelo qual essa interferência ocorre.

Em comparação a outros vegetais superiores, a espécie *Allium cepa* tem demonstrado maior sensibilidade a substâncias tóxicas (ARRAES; LONGHIN, 2012) e, diferentemente de outros testes, seu emprego permite a avaliação simultânea e comparada de diversos parâmetros, como germinação, tamanho e morfologia radicular, células mortas e aberrantes e índice mitótico (PATNAIK; ACHARY; PANDA, 2013; AHMED, 2014).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o crescente número de substâncias a qual estamos expostos, sejam de origem orgânica ou sintética, é primordial que hajam estudos concernentes aos seus riscos à espécie humana e ao ambiente. Somos diretamente dependentes das plantas para nossa sobrevivência, seja como fonte alimentar ou medicamentosa, reforçando a necessidade de pesquisas com foco nos efeitos benéficos e maléficos dos fitoquímicos; neste sentido, o bioteste do *A. cepa* é uma ferramenta importantíssima em um país com poucos recursos financeiros dedicados às pesquisas científicas, pois, além de ser barato e de fácil execução, produz resultados confiáveis.

REFERÊNCIAS

AHMED, F.A.W. Cytotoxic and genotoxic potency screening of WIDE-SPEC pesticide on *Allium cepa* L. root meristem cells. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 4, n. 24, 2014.

- ALMEIDA NETO, J. X. de et al. Avaliação do efeito mutagênico da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) através do teste de micronúcleos em medula óssea de ratos (*Rattus norvegicus* linhagem Wistar) in vivo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v.5, n.2, 2005.
- ARRAES, A.I.O.M; LONGHIN, S.R. Otimização de ensaio de toxicidade utilizando o bioindicador *Allium cepa* como organismo teste. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 1958-1972, 2012.
- BAGATINI, M.D; SILVA, A.C.F; TEDESCO, S.B. Uso do sistema teste de *Allium cepa* como bioindicador de genotoxicidade de infusões de plantas medicinais. **Rev. bras. farmacogn.**, v. 17, n. 3, p. 444-447, 2007.
- CARITÁ, R; MARIN-MORALES, M.A. Induction of chromosome aberrations in the *Allium cepa* test system caused by the exposure of seeds to industrial effluents contaminated with azo dyes. **Chemosphere**, v. 72, p. 722–725, 2008.
- CARVALHO, J. E. de. **Toxicidade pré-clínica: fitoterápicos e alimentos com propriedades funcionais ou de saúde**. 2004. Disponível em: <www.abma.com.br/2004/notes/205.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.
- CHAROENYING, P; TEERARAK, M; LAOSINWATTANA, C. An allelopathic substance isolated from *Zanthoxylum limonella* Alston fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 125, p. 411-416, 2010. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/scihorti>. Acesso em: 02 mar. 2016.
- FELICIDADE, I. et al. Mutagenic and antimutagenic effects of aqueous extract of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) on meristematic cells of *Allium cepa*. **Genet. Mol. Res.**, v. 13, n. 4, p. 9986-9996, 2014.
- FIRBAS, P; AMON, T. *Allium* chromosome aberration test for evaluation effect of cleaning municipal water with constructed wetland (CW) in Sveti Tomaž, Slovenia. **J Bioremed Biodeg**, v. 4, n. 4, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4172/2155-6199.1000189>>. Acesso em: 08 mai. 2016.
- FISKEJO, G. The *Allium cepa* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas (Lund)**, v.102, p. 99-112, 1985.
- FONSECA, C.A; PEREIRA, D.G. Aplicação da genética toxicológica em planta com atividade medicinal. **Infarma**, v.16, nº 7-8, p. 51-54, 2004.
- LEME, D.M; MARIN-MORALES, M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutat. Res.**, v. 682, p. 71–81, 2009.
- MACGREGOR, J.T; CASCIANO, D; MULLER, L. Strategies and testing methods for identifying mutagenic risks. **Mutat. Res.**, v. 455, p. 3-20, 2000.
- MARTINS, L.A.P.; BRITO, A.P.O.P.M. A história da ciência e o ensino da genética e evolução no nível médio: um estudo de caso. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física , 2006.
- MOHAMMED, A.A.S. Cytotoxicity and genotoxicity potential of Thiocyclam in root-tip cells of *Allium cepa*. **International Journal of Biotechnology and Biochemistry**, v. 6, n. 4, p. 601-608, 2010.
- PATNAIK, A.R; ACHARY, V.M.M; PANDA, B.B. Chromium (VI)-induced hormesis and genotoxicity are mediated through oxidative stress in root cells of *Allium cepa* L. **Plant Growth Regul**, v. 71, p. 157-170, 2013.
- POHREN, R.S; COSTA, T.C; VARGAS, V.M.F. Investigation of sensitivity of the *Allium cepa* test as an alert system to evaluate the genotoxic potential of soil contaminated by heavy metals. **Water Air Soil Pollut**, v. 224, 2013.

RIBEIRO, L.R., et al. **Mutagênese Ambiental**. Canoas: ULBRA, 2003.

SILVA, C.A. et al. Genotoxicity and cytotoxicity evaluation of oenothain B and its protective effect against mitomycin C-induced mutagenic action. **Mutat. Res.**, v. 767, p. 8–12, 2014.

SISINNO, C.L.S; OLIVEIRA-FILHO, E.C. **Princípios de toxicologia ambiental: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

TEDESCO, S.B. et al. Chromatographic analysis, antiproliferative effect and genotoxicity of aqueous extracts of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck on the *Allium cepa* L. test system. **Biosci. J.**, v. 31, n. 4, p. 1213-1221, 2015.

TEDESCO, S.B; LAUGHINGHOUSE, H.D. Bioindicator of Genotoxicity: The *Allium cepa* Test. In: SRIVASTAVA, J. (Ed.). **Environmental Contamination**. InTech, 2012. p. 137-156. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/environmental-contamination/bioindicator-of-genotoxicitythe-allium-cepa-test>>. Acesso em. 19 set: 2015.

VIEIRA, F.S; DANTAS, M.A.T. O protista foraminífero, bioindicador ambiental: uma abordagem para o ensino de ciências e biologia. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 8, n. 2, p. 267-282, 2015.

WASSOM, J.S. et al. Reflections on the origins and evolution of genetic toxicology and the environmental Mutagen Society. **Environ. Mol. Mutagen.**, v. 51, p. 746-760, 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR

Benedito Rodrigues da Silva Neto - Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado de Mato Grosso (2005), com especialização na modalidade médica em Análises Clínicas e Microbiologia. Em 2006 se especializou em Educação no Instituto Araguaia de Pós graduação Pesquisa e Extensão. Obteve seu Mestrado em Biologia Celular e Molecular pelo Instituto de Ciências Biológicas (2009) e o Doutorado em Medicina Tropical e Saúde Pública pelo Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública (2013) da Universidade Federal de Goiás. Pós-Doutorado em Genética Molecular com concentração em Proteômica e Bioinformática. Também possui seu segundo Pós doutoramento pelo Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde da Universidade Estadual de Goiás (2015), trabalhando com Análise Global da Genômica Funcional e aperfeiçoamento no Institute of Transfusion Medicine at the Hospital Universitätsklinikum Essen, Germany. Palestrante internacional nas áreas de inovações em saúde com experiência nas áreas de Microbiologia, Micologia Médica, Biotecnologia aplicada a Genômica, Engenharia Genética e Proteômica, Bioinformática Funcional, Biologia Molecular, Genética de microrganismos. É Sócio fundador da “Sociedade Brasileira de Ciências aplicadas à Saúde” (SBCSaúde) onde exerce o cargo de Diretor Executivo, e idealizador do projeto “Congresso Nacional Multidisciplinar da Saúde” (CoNMSaúde) realizado anualmente no centro-oeste do país. Atua como Pesquisador consultor da Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG. Coordenador do curso de Especialização em Medicina Genômica e do curso de Biotecnologia e Inovações em Saúde no Instituto Nacional de Cursos. Como pesquisador, ligado ao Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública da Universidade Federal de Goiás (IPTSP-UFG), o autor tem se dedicado à medicina tropical desenvolvendo estudos na área da micologia médica com publicações relevantes em periódicos nacionais e internacionais. arroz, milho, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-421-4

