

BREVES CONSIDERAÇÕES ACERCA DA RESPONSABILIDADE CIVIL PROVENIENTE DO DANO GENÉTICO DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO DO CRISPR-Cas-9

BRIEF CONSIDERATIONS ABOUT CIVIL LIABILITY COMING FROM GENETIC DAMAGE FROM CRISPR-Cas-9

Rita de Cássia Resquetti Tarifa Espolador *
Daniel Marinho Corrêa **
Lucas Mendonça Trevisan ***

RESUMO: As biotecnologias vêm avançando a uma velocidade inversamente proporcional à evolução do Direito. Atrelado ao avanço das tecnologias está o aumento dos casos de doenças de alta complexidade, assim entendidas àquelas que a ciência não apresentou a cura ou seus meios de tratamento. Nessa seara se encontra a utilização da técnica de engenharia genética denominada CRISPR-Cas9. Com esse contexto em mente surge o problema de pesquisa quanto a responsabilização civil decorrente do dano genético advindo dos ensaios envolvendo a biotecnologia, posto a inexistência de normativa específica. A par disto, através do método dedutivo de pesquisa, far-se-á uma análise doutrinária com vistas a fundamentar a aplicação da responsabilidade civil objetiva na hipótese de danos genéticos.

Palavras-chave: Responsabilidade civil. Danos genéticos. CRISPR-Cas9. Biodireito. Biotecnologia.

ABSTRACT: Biotechnology has been advancing at a speed inversely proportional to the evolution of the law. Linked to technological advances is the increase in cases of highly complex diseases, understood as those for which science hasn't presented a cure or means of treatment. In this field is the use of the genetic engineering technique called CRISPR-Cas-9. With this context in mind, the research problem arises regarding civil liability resulting from genetic damage resulting from tests involving biotechnology, given the lack of specific regulations. Besides this, through the deductive research method, a doctrinal analysis will be carried out with a view to substantiating the application of objective civil liability in the event of genetic damage.

Keywords: Civil liability. Genetic damage. CRISPR-Cas-9. Biolaw. Biotechnology.

* Doutora em Direito pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Direito Negocial pela Universidade Estadual de Londrina. Docente do Programa de Mestrado e Doutorado em Direito Negocial da UEL e da Graduação da UEL. E-mail: rita.tarifa@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4177-9001>

** Professor universitário, servidor do Tribunal de Justiça do Estado do Paraná, mediador judicial. Doutorando e Mestre em Direito Negocial pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Associado Titular do Instituto Brasileiro de Estudos de Responsabilidade Civil (IBERC). Extensão em "Justice", curso de estudo oferecido pela HarvardX, iniciativa on-line da Harvard University. Bacharel em Direito pela UEL, pós-graduado em Direito Aplicado pela Escola da Magistratura do Paraná e especialista em Direito Civil e Empresarial pela Faculdade Damásio. Autor de obras jurídicas e colaborador em projetos de pesquisa da UEL. E-mail: danielmarinhocorrea@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0654-4255>

*** Mestrando em Direito Negocial pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Pós graduado em Direito e Processo do Trabalho pela Faculdade IBMEC São Paulo e Instituto Damásio de Direito (2022). Pós graduado em Direito Tributário pela Faculdade IBMEC São Paulo e Instituto Damásio de Direito (2021). Pós graduado em Direito Público pela Faculdade IBMEC São Paulo e Instituto Damásio de Direito (2019). Possui graduação em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2017). Atualmente é sócio-proprietário do escritório de advocacia Franco Trevisan Advogados e Associados. Tem experiência na área de Direito, com ênfase no Direito do Estado e no Direito Contratual, atuando principalmente nos seguintes temas: servidores públicos, princípios administrativos, ações constitucionais, processo administrativo, contencioso administrativo, direito e processo do trabalho, direito negocial e direito dos contratos. Presidente da Comissão de Bioética e Biodireito da Ordem dos Advogados do Brasil, seccional do Paraná, subseção de Londrina. Editor de seção da Revista de Direito Público (RDP) da Universidade Estadual de Londrina (UEL). E-mail: lucas.trevisan@uel.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0298-9492>

SUMÁRIO: 1. Introdução. 2. Retrospecto da responsabilidade civil. 3. Surgimento das terapias gênicas. 4. A revolução decorrente do CRISPR-Cas-9. 5. A responsabilidade civil decorrente do dano genético. 6. Conclusão. Referências.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços na biotecnologia têm desempenhado um papel crucial na trajetória da humanidade, especialmente a partir da segunda metade do século XX. A descoberta da estrutura do DNA em 1953 por James Watson e Francis Crick, seguida pelo mapeamento do genoma humano, marcou um ponto de inflexão significativo. O sequenciamento do genoma humano, conduzido por cientistas das mais variadas nacionalidades no âmbito do Projeto Genoma Humano, entre o final do século XX e o início do século XXI, expandiu as possibilidades explicativas das biociências e da biotecnologia. Com a compreensão da estrutura de dupla hélice do DNA e o mapeamento completo do genoma humano, surgiu o desafio de desenvolver tecnologias capazes de manipular o código genético humano, o que representaria um avanço notável para a engenharia genética.

A busca por tecnologias para manipular o genoma humano se intensificou nas últimas décadas, e em 2012, a ciência alcançou um marco decisivo com a descoberta da ferramenta CRISPR-Cas9, que tornou a manipulação do genoma mais acessível e eficiente. CRISPR, sigla para *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (em português, “repetições palindrômicas curtas agrupadas e regularmente espaçadas”), funciona em conjunto com a enzima Cas9, formando um sistema de defesa adaptativo usado por bactérias contra vírus e plasmídeos. Jennifer Doudna e Emmanuelle Charpentier identificaram o potencial do CRISPR-Cas9 como uma ferramenta para edição gênica, inaugurando uma nova era na engenharia genética e trazendo tanto esperanças quanto preocupações éticas sobre seu uso.

A chegada do CRISPR-Cas9 representa um marco na engenharia genética, gerando grande interesse de estudiosos e profissionais em aprofundar e aprimorar essa técnica. No entanto, a aplicação da técnica CRISPR-Cas9 em humanos ainda carece de regulamentação específica e apresenta riscos inerentes à sua natureza, incluindo a possibilidade de danos genéticos. Diante desse cenário, surge o seguinte problema de pesquisa: como deve ser estruturada a responsabilidade civil em situações de danos genéticos decorrentes do uso da técnica CRISPR-Cas9, considerando a ausência de regulamentação específica e a necessidade de proteger a saúde humana?

Para responder a essa questão, este estudo fundamenta-se em uma pesquisa doutrinária abrangente, que abarca obras de autores nacionais e internacionais. A edição genética, especialmente em células germinativas, pode gerar impactos irreversíveis nas gerações futuras, reforçando a necessidade de uma regulação clara e da aplicação da responsabilidade civil objetiva. Utilizando uma abordagem exploratória e explicativa, com o método dedutivo, a pesquisa

examina a responsabilidade civil em casos de danos genéticos decorrentes da técnica CRISPR-Cas9, com ênfase na teoria do risco.

2. RETROSPECTO DA RESPONSABILIDADE CIVIL

Dentre os mais variados institutos do direito civil, a responsabilidade civil sempre figurou em grande destaque, apresentando-se como um dos principais ramos do direito privado, sendo necessária sua escorreita compreensão histórica para que se possa assimilar sua estrutura dentro do ordenamento jurídico pátrio moderno.

Suas raízes são calcadas no direito romano, que trazia inicialmente a concepção da vingança privada em caso de danos causados a outrem, momento em que não se falava em culpa, mas tão somente que o dano autorizava a reação imediata do ofendido, sem quaisquer regras específicas ou limitações.

Neste aspecto Alvino Lima¹ esclarece que

a responsabilidade civil no direito romano tem seu ponto de partida na vingança privada, forma primitiva, selvagem talvez, mas humana, da reação espontânea e natural contra o mal sofrido; solução comum a todos os povos nas suas origens, para a reparação do mal pelo mal.

A responsabilidade para a civilizações antigas se confundia com a autotutela, inquestionavelmente trazendo enorme insegurança para a sociedade, na medida em que inexistia qualquer intervenção estatal para fins de regulação e, até mesmo, a imposição de balizas à brutalidade da reprimenda, prevalecia a força não havia qualquer proporcionalidade no ato.

A vingança privada não apresentava qualquer indicativo de reparação do dano sofrido, ao seu revés, trata-se tão somente de um ato, como o próprio nome diz, de vingança que se baseia na satisfação de transformar o agressor em vítima, fazendo com que sofra da maneira similar ao ofendido.

Por certo que nem sempre se fazia possível a imediata reação, momento em que surgia a vindita imediata, que posteriormente fora regulada e conhecida como lei de talião, cuja maior expressão é o “olho por olho, vente por dente”. O Talião tem seus traços na Lei das XII Tábuas que remontam ao ano de 450 antes de Cristo e são a primeira normativa escrita romana, e implementa a ideia de proporcionalidade, até então inexistente, na medida que o ofensor responderá na justa medida pelo que tenha feito.

Maria Helena Diniz² esclarece que neste momento histórico “para coibir abusos, o poder público intervinha apenas para declarar quando e como a vítima poderia ter o direito de retaliação, produzindo na pessoa do lesante dano idêntico ao que experimentou”. Ou seja, a responsabilização do agente causador do dano independia de qualquer aferição de culpa, se caracterizando tão somente pela reação do ofendido à ação do ofensor.

¹ LIMA, Alvino. *Culpa e risco*. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1999, pág. 19.

² DINIZ, Maria H. *Curso de Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.7 - 38ª Edição 2024*. 38. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. p.11. ISBN 9788553621392. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553621392/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

Avançando-se na digressão histórica do instituto surge o período da composição, mais conhecido como período da composição tarifada, momento em que o ofendido tem a possibilidade de receber vantagens e compensações de cunho patrimonial. Percebe-se que neste momento o Estado não apenas passa a intervir na situação, como também passa a ocupar a posição da vítima, retirando-lhe a possibilidade de vingar-se do ofensor, de forma que substitui a vingança privada por uma composição obrigatória, vez que estabelecia valores variáveis na medida do dano causado.

Surge pois a *Lex Aquilia* que, nas palavras de José de Aguiar Dias³ se figurou como um princípio geral regulador da reparação do dano. Sua importância foi tão significativa que até os dias atuais utiliza-se de seu nome para fins de tratar da responsabilidade civil extracontratual ou responsabilidade civil aquiliana.

Acerca da *Lex Aquilia* primordial citar as palavras de Maria Helena Diniz⁴

A Lex Aquilia de damno veio a cristalizar a ideia de reparação pecuniária do dano, impondo que o patrimônio do lesante suportasse os ônus da reparação, em razão do valor da res, esboçando-se a noção de culpa como fundamento da responsabilidade, de tal sorte que o agente se isentaria de qualquer responsabilidade se tivesse procedido sem culpa. Passou-se a atribuir o dano à conduta culposa do agente. A *Lex Aquilia de damno* estabeleceu as bases da responsabilidade extracontratual, criando uma forma pecuniária de indenização do prejuízo, com base no estabelecimento de seu valor. Esta lei introduziu o *damnum iniuria datum*, ou melhor, prejuízo causado a bem alheio, empobrecendo o lesado, sem enriquecer o lesante.

Verifica-se, portanto, que o Estado ao intervir nas relações privadas, renunciou à vingança, instituindo o fato culpa, até então inexistente, compelindo que a vítima aceitasse uma reparação proporcional ao dano causado. Essa evolução da compensação tarifada permaneceu no direito romano diferenciando a responsabilidade civil da penal.

Prosseguindo na evolução do instituto, primordial adentrar à regulação francesa da responsabilidade, posto que de fundamental importância à normativa brasileira, notadamente insculpida no Código Civil brasileiro de 1916.

O Código Napoleônico de 1804 realizando verdadeira interpretação extensiva da *Lex Aquilia* adotou a responsabilidade civil baseada na culpa, conhecida como responsabilidade civil subjetiva. Sobre a normativa francesa e sua inquestionável importância ao direito privado brasileiro, essencial citar os ensinamentos de Carlos Roberto Gonçalves⁵ para quem

o direito francês, aperfeiçoando pouco a pouco as ideias românicas, estabeleceu nitidamente um princípio geral da responsabilidade civil, abandonando o critério de enumerar os casos de composição obrigatória. Aos poucos, foram sendo estabelecidos certos princípios, que exerceram sensível influência nos outros povos: direito à reparação sempre que houvesse culpa, ainda que leve, separando-se a responsabilidade civil (perante a vítima) da responsabilidade

³ DIAS, José de Aguiar. *Da responsabilidade civil*. 11. ed., rev. Rio de Janeiro: Renovar, 2006.

⁴ *Op. Cit.*

⁵ GONÇALVES, Carlos R. *Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.4 - 19ª Edição 2024*. 19. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. p.7. ISBN 9788553622283. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553622283/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

penal (perante o Estado); a existência de uma culpa contratual (a das pessoas que descumprem as obrigações) e que não se liga nem a crime nem a delito, mas se origina da negligência ou da imprudência.

Era a generalização do princípio aquiliano: in lege *Aquila et levissima culpa venit*, ou seja, o de que a culpa, ainda que levíssima, obriga a indenizar.

O direito francês não adotou tão somente a responsabilidade aquiliana, também fora o precursor em admitir a possibilidade de responsabilização sem a presença de culpa, calcada na teoria do risco, não se confundindo esta com a vingança privada. Ambas as responsabilidades coexistiam em perfeita sintonia.

Por fim, adentrando-se ao direito brasileiro, o instituto da responsabilidade civil tem suas origens no Código Criminal de 1830, que acabou por se bifurcar em uma codificação civil e criminal que tinha por base os princípios da justiça e da equidade. A normativa em testilha trazia a obrigação do ofensor em satisfazer a vítima pelo dano proveniente da conduta praticada.

Somente em 1916, com o código de Beviláqua, cujas raízes estavam intimamente relacionadas ao direito francês, é que ficou consagrada no direito brasileiro uma normativa relativa à responsabilidade civil, adotando-se, em virtude das influências francesas, a teoria da culpa como regra, momento em que abrangia tanto o dolo quanto a culpa. Logo, para a normativa até então vigente, o dano decorrente de uma conduta culposa gerava o dever de indenizar.

Por sua vez, o Código Civil de 2002 manteve a ideia de responsabilidade subjetiva, inovando ao adequar-se à Constituição de 1988 e passar a prever no ordenamento jurídico brasileiro a responsabilidade pelo dano moral e ampliando a ideia de ato ilícito com a previsão de punição do excesso, onde o exercício de qualquer direito passou a ser limitado à abusividade.

A teoria do risco originalmente insculpida no direito francês, permaneceu na atual codificação, que além da responsabilidade subjetiva, adota a responsabilidade objetiva, independente de culpa, em situações que a atividade desenvolvida oferecer riscos aos direitos dos demais, como, por exemplo, a utilização do CRISPR-Cas9, o que se demonstrará na sequência.

Portanto, embora a responsabilidade civil tenha evoluído ao longo dos séculos, desde a vingança privada no direito romano até a consolidação da teoria do risco no direito moderno, no contexto das novas tecnologias, como a edição genética, a responsabilidade civil objetiva tende a ganhar ainda mais relevo, pois a atividade em si já implica um risco intrínseco. Como destaca Graziella Trindade Clemente⁶, a teoria do risco é fundamental para entender a responsabilidade civil no contexto da biotecnologia, uma vez que a manipulação genética envolve riscos que podem afetar não apenas o indivíduo, mas também suas futuras gerações.

3. SURGIMENTO DAS TERAPIAS GÊNICAS

Desde que foi estabelecida pelo monge Johann (Gregor) Mendel no século XIX, a genética passou por um notável desenvolvimento, tornando-se uma das áreas de maior relevância

⁶ CLEMENTE, Graziella Trindade. Responsabilidade Civil, Edição Gênica e o CRISPR. In: Rosenvald, N.; Dresch, R. F. V.; Wesendonck, T. (Org.). Responsabilidade Civil - Novos Riscos. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2019. p. 301-317.

nas ciências. Há uma década, a conclusão do sequenciamento do genoma humano⁷ configurou-se como um marco histórico, com o potencial de impulsionar significativamente os avanços na biologia e na medicina ao longo do século XXI.

A medicina moderna avança continuamente, com descobertas significativas sendo feitas diariamente em pesquisas voltadas à criação de novos paradigmas de tratamento para doenças ainda sem cura. A possibilidade de tratar doenças genéticas está ligada à identificação dos genes que causam sua patogênese e aos progressos nas tecnologias de DNA recombinante, ou "engenharia genética", que permitem uma manipulação do genoma cada vez mais precisa e segura⁸.

Paralelamente, a identificação dos fatores genéticos que tornam algumas pessoas mais suscetíveis a determinadas doenças, bem como os aspectos relacionados ao seu desenvolvimento e manifestações clínicas, somada ao avanço significativo no entendimento da biologia celular e molecular de processos patológicos fundamentais, como inflamação, proliferação descontrolada e morte celular programada⁹, ampliam as expectativas de que a manipulação do genoma seja aplicável a diversas doenças.

Desde a década de 1940, a genética avançou significativamente, com descobertas sobre a composição e propriedades do material genético, além das primeiras manipulações do DNA em bactérias, criando perspectivas promissoras para novos tratamentos. Na década de 1960, começaram as discussões sobre o uso de vírus como vetores para transferir genes humanos e tratar doenças genéticas¹⁰. Considerava-se tanto o potencial terapêutico de genes virais quanto a possibilidade de inserir genes humanos saudáveis em vírus para tratar pacientes. Contudo, foi apenas nos anos 1970 que Paul Berg desenvolveu a tecnologia do DNA recombinante, manipulando, pela primeira vez, uma molécula de DNA¹¹ de forma eficiente.

Em 1989, uma menina de quatro anos, que sofria de imunodeficiência causada pela ausência da enzima adenosina desaminase (ADA), foi tratada com terapia gênica. A deficiência de ADA, causada por mutações no gene responsável por sua produção, leva à degradação das células T do sistema imunológico¹², resultando em um quadro grave conhecido como imunodeficiência combinada severa (SCID - *severe combined immunodeficiency*).

Crianças com SCID têm pouca resistência a infecções e, sem tratamento, raramente sobrevivem além dos seis meses. O tratamento comum envolve reposição enzimática por injeções

⁷ LANDER, Eric Steven. et al. Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, v.409, n.6822, p.860-921, 2001 Disponível em <https://www.nature.com/articles/35057062#citeas>. Acesso em 19 dez. 2024.

⁸ WATSON, James Dewey. et al. *Recombinant DNA: genes and genomics: a short course*. [s. l.]: Freeman, 2006.

⁹ COLEMAN, William B.; TSONGALIS, Gregory J. (Ed.). *Molecular pathology: the molecular basis of human disease*. [s. l.]: Academic Press, 2009.

¹⁰ FRIEDMANN, Theodore. The road toward human gene therapy-a 25-year perspective. *Annals of medicine*, v. 29, n. 6, p. 575-577, 1997.

¹¹ JACKSON, David A.; SYMONS, Robert H.; BERG, Paul. Biochemical method for inserting new genetic information into DNA of Simian Virus 40: circular SV40 DNA molecules containing lambda phage genes and the galactose operon of Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 69, n. 10, p. 2904-2909, 1972.

¹² BUCKLEY, Rebecca H. Molecular defects in human severe combined immunodeficiency and approaches to immune reconstitution. *Annual review of immunology*, v. 22, p. 625-655, 2004.

semanais. No caso dessa paciente, a terapia de reposição começou a falhar devido ao desenvolvimento de alergia ao medicamento, levando o médico William French Anderson, da Universidade do Sul da Califórnia, a propor um teste experimental de terapia gênica¹³.

Nesse tratamento, células T do sangue da paciente foram coletadas, modificadas para incluir o gene ADA, e reinseridas no organismo da menina após indução da proliferação em laboratório¹⁴. Após sete sessões, as infusões foram interrompidas por seis meses e retomadas até o final de dois anos. Apesar disso, a paciente continuou recebendo injeções da enzima como medida de segurança.

Em 1990, uma equipe médica dos Estados Unidos conseguiu inserir um gene saudável no organismo de uma menina com uma rara doença genética, o que resultou em sua melhora após o tratamento. Aqui houve um marco divisório que representou o surgimento de uma nova era conhecida como a era terapia gênica. Esse método consiste em introduzir genes saudáveis, chamados de "genes terapêuticos", em um organismo por meio de técnicas de DNA recombinante, com o objetivo de substituir, corrigir ou complementar genes defeituosos, ausentes ou disfuncionais¹⁵.

A inspiração para usar o DNA recombinante no tratamento de doenças veio inicialmente de distúrbios monogênicos, causados por mutações em um único gene. Nesses casos, o objetivo é restaurar a função do gene por meio da introdução de uma ou mais cópias do gene saudável¹⁶. Contudo, a terapia gênica também tem potencial para tratar doenças complexas, cujas causas ainda não são completamente entendidas e para as quais os tratamentos disponíveis são majoritariamente paliativos. Para essas condições, a terapia gênica pode ser empregada para interferir no curso da doença¹⁷, com estratégias que incluem o fortalecimento da resistência celular, a estimulação de reparos ou regenerações, e a restauração de funções perdidas, sem necessariamente abordar diretamente a causa genética da doença¹⁸. No caso de tumores, o principal objetivo é promover a morte seletiva de células proliferativas¹⁹.

Outra abordagem da terapia gênica é o desenvolvimento de vacinas de DNA. Nesse caso, em vez de introduzir uma proteína ou vírus inativado como nas vacinas tradicionais, o paciente recebe o gene que codifica a proteína de um patógeno. Isso estimula o organismo a produzir a proteína, ativando o sistema imunológico. Essas vacinas podem ter finalidades

¹³ ANDERSON, William French. Human gene therapy: the initial concepts. In: *Gene therapy for diseases of the lung*. CRC Press, 2020. p. 3-16.

¹⁴ CULVER, K. W. et al. Correction of ADA deficiency in human T lymphocytes using retroviral-mediated gene transfer. In: *Transplantation proceedings*. 1991. p. 170-171.

¹⁵ LINDEN, Rafael. *Genes contra doenças. terapia gênica: uma nova era na genética*. Rio de Janeiro: Vieira e Lent, 2008.

¹⁶ PORTEUS, Matthew H.; CONNELLY, Jon P.; PRUETT, Shondra M. A look to future directions in gene therapy research for monogenic diseases. *PLoS genetics*, v. 2, n. 9, p. e133, 2006.

¹⁷ CARDONE, Monica. Prospects for gene therapy in inherited neurodegenerative diseases. *Current opinion in neurology*, v. 20, n. 2, p. 151-158, 2007.

¹⁸ LUNDBERG, Cecilia et al. Applications of lentiviral vectors for biology and gene therapy of neurological disorders. *Current gene therapy*, v. 8, n. 6, p. 461-473, 2008.

¹⁹ BAUZON, Maxine; HERMISTON, Terry W. Exploiting diversity: genetic approaches to creating highly potent and efficacious oncolytic viruses. *Current opinion in molecular therapeutics*, v. 10, n. 4, p. 350-355, 2008.

preventivas ou terapêuticas²⁰, mas seu caráter inovador está no uso da tecnologia de DNA recombinante e sua introdução no gene.

A base da terapia gênica está na introdução de genes em células vivas, mas como o DNA puro raramente atravessa a membrana celular, é necessário o uso de vetores para facilitar sua entrada. Os principais tipos de vetores atualmente em desenvolvimento incluem plasmídeos, vetores virais e sistemas nanoestruturados, possuindo esses vetores um papel crucial no sucesso da terapia gênica.

Rafael Linden²¹ se destaca ao elucidar e apresentar a conceituação de cada classe de vetor. Para o autor os plasmídeos

são sequências de DNA relativamente simples, porém eficazes para expressão de genes, nas quais é possível inserir um gene terapêutico por técnicas de DNA recombinante. Mas, para vencer a resistência das células à introdução de plasmídeos, é preciso fragilizar a membrana celular, o que pode ser obtido por diversos métodos, como o emprego de choques elétricos ou substâncias que fragilizam quimicamente a membrana celular outra alternativa consiste em aplicar uma grande quantidade de plasmídeos nas vizinhanças das células, de modo que, mesmo com eficiência muito baixa, uma pequena fração que seja capaz de cruzar a membrana já produza efeitos, ou ainda injetar rapidamente um grande volume de solução contendo plasmídeos.

Por seu turno, no que se refere aos vetores virais, aponta o autor²² que

em contraposição à resistência da membrana celular à entrada espontânea de DNA em uma célula, os vírus são micro-organismos especializados exatamente em invadir células e nelas introduzir material genético. Contêm ácido nucleico (DNA ou RNA) cercado por uma capa de proteína e, em alguns casos, de um envelope adicional de proteína e lipídeos e seu ciclo de vida implica liberação do ácido nucleico viral na célula hospedeira. essa propriedade é explorada para introduzir genes terapêuticos nas células, por meio de tecnologias de DNA recombinante.

(...)

O princípio da produção de vetores de origem viral para terapia gênica consiste em remover os genes envolvidos nos mecanismos patogênicos e de proliferação viral, mantendo apenas o necessário para invasão das células sem multiplicação, seguida da inserção de um gene terapêutico no que resta do DNA viral.

Por fim, Linden²³ classifica os vetores nanoestruturados como

outra forma de introduzir DNA em células está sendo desenvolvida a partir de preparados obtidos por técnicas avançadas de nanotecnologia. Ai se incluem polímeros que formam verdadeiras redes que prendem um gene e soltam sua carga quando penetram nas células, bem como vesículas de lipídeos contendo o DNA, capazes de fundir com a membrana das células, liberando seu conteúdo no interior destas últimas.

Esses vetores podem ser enriquecidos com moléculas que ajudem a especificar em que tipos de células o conteúdo poderá penetrar, ou ainda permitam guiar ou

²⁰ ATKINS, Gregory J.; FLEETON, Marina N.; SHEAHAN, Brian J. Therapeutic and prophylactic applications of alphavirus vectors. *Expert reviews in molecular medicine*, v. 10, p. e33, 2008.

²¹ LINDEN, Rafael. Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será. *Estudos avançados*, v. 24, [p. 31-69], 2010, p. 35.

²² Ibidem, p. 36-37.

²³ Ibidem, p. 38.

transferir seletivamente os vetores de um compartimento para outro.

A terapia gênica, como discutido, é uma técnica relativamente recente que ainda se encontra em estágio experimental. Por isso, são essenciais estudos clínicos e laboratoriais para confirmar sua eficácia e identificar possíveis riscos aos seres humanos. Esses estudos também permitem ajustes nos vetores utilizados, visando aumentar sua segurança e minimizar efeitos adversos.

A pesquisa nessa área é intensa e continua a crescer em escala global, sendo a segurança o maior desafio para a aplicação da terapia gênica na prática médica. Antes do desenvolvimento da técnica CRISPR-Cas9, o principal obstáculo residia no fato de que os vetores não virais, embora mais seguros, apresentavam baixa eficiência ou tinham uso bastante restrito.

4. A REVOLUÇÃO DECORRENTE DO CRISPR-Cas-9

A técnica de edição gênica conhecida como CRISPR (sigla para *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) foi identificada em 1987 por cientistas japoneses enquanto estudavam o genoma da bactéria *Escherichia coli*²⁴.

Nos últimos anos, especialmente a partir de 2012, o CRISPR transformou profundamente não apenas a biologia molecular, mas também a medicina e a biotecnologia. Desde que foi aplicada com sucesso em mamíferos pela primeira vez, pesquisadores das mais variadas nacionalidades têm contribuído para o aprimoramento dessa ferramenta em diversas áreas de estudo²⁵.

Em 2012, foi desenvolvido um novo sistema de edição genética chamado de "tesoura gênica", que utiliza uma pequena sequência de RNA para guiar a enzima Cas9 até um ponto específico do DNA que será cortado. Esse sistema, conhecido como CRISPR-Cas9²⁶, requer a presença de um RNA guia (gRNA) para ativar a Cas9 e direcioná-la a uma sequência complementar de DNA, o que confere alta precisão à técnica.

Essa precisão permitiu que o CRISPR-Cas9 fosse amplamente utilizado como uma ferramenta de edição genômica altamente específica, capaz de realizar cortes no DNA em praticamente qualquer região do genoma. Entre as diferentes nucleases do tipo Cas, a Cas9 se destacou como a mais estudada e utilizada²⁷.

A adaptação da proteína Cas9 e sua utilização na técnica do CRISPR para edição genômica foi liderada por Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna²⁸, em 2012. Elas

²⁴ DOUDNA, Jennifer A.; CHARPENTIER, Emmanuelle. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, v. 346, n. 6213, p. 1258096, 2014.

²⁵ LIU, Huayi; WANG, Lian; LUO, Yunzi. Blossom of CRISPR technologies and applications in disease treatment. *Synthetic and Systems Biotechnology*, v. 3, n. 4, p. 217-228, 2018.

²⁶ VASCONCELOS, Maria José Vilaça de; FIGUEIREDO, José Edson Fontes. Tecnologia CRISPR-Cas para edição genômica. Sete Lagoas: *Embrapa Milho e Sorgo*, 2015, 37 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1039785>. Acesso em 19 dez. 2024.

²⁷ CONG, Le et al. Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, v. 339, n. 6121, p. 819-823, 2013.

²⁸ *Op. Cit.*

modificaram o sistema CRISPR-Cas9 tipo II, derivado do mecanismo imunológico da bactéria *Streptococcus pyogenes*, para funcionar como uma ferramenta de edição genética. Nesse processo, o crRNA (RNA do CRISPR) foi combinado com o tracrRNA para formar o chamado RNA guia único (*single guide* RNA ou sgRNA), que guia a proteína Cas9 até locais específicos do genoma por meio do pareamento de bases.

Diferentemente de outras técnicas de edição genética, a precisão do CRISPR-Cas9 é alcançada pelo uso de RNA como guia, em vez de proteínas projetadas para cada alvo específico. Isso torna a técnica menos complexa, mais acessível e mais vantajosa para o progresso das pesquisas²⁹.

Baseando-se nesse mecanismo natural, o sistema CRISPR foi aprimorado para permitir a edição de sequências específicas de DNA no genoma de qualquer organismo. O processo utiliza apenas três componentes principais: a enzima Cas9, que faz a clivagem no DNA; o RNA guia, que direciona o complexo ao ponto alvo; e o DNA alvo a ser modificado. Graças à sua simplicidade e precisão em comparação com outras técnicas, o CRISPR-Cas9 se consolidou como uma ferramenta versátil para edição gênica.

A técnica possibilita operações como o nocaute de genes (gene *knockout* - KO), a inserção de sequências exógenas (*knock-in*) e a substituição alélica. Durante o processo, o RNA guia se liga ao DNA alvo, permitindo que a Cas9 identifique o complexo e realize o corte na dupla hélice do DNA. Em seguida, a reparação é feita na presença de um DNA doador, o que pode resultar na integração de uma sequência exógena ou na substituição de uma sequência específica no genoma.

Assim, o sistema CRISPR-Cas9 baseia-se na interação de três componentes fundamentais: a nuclease (geralmente Cas9), o RNA guia (*single guide* RNA) e o DNA alvo, que será editado conforme a necessidade. Com o advento do CRISPR-Cas9, a edição genética representa um avanço significativo no tratamento de doenças hereditárias. No entanto, como destaca Graziella Trindade Clemente³⁰, a técnica envolve riscos consideráveis, como mutações *off-target* e mosaicismos³¹, que podem causar alterações irreversíveis no genoma humano. A autora ressalta que, apesar do enorme potencial terapêutico, a aplicação em células germinativas exige extrema cautela, pois as modificações podem ser transmitidas às futuras gerações.

²⁹ POLSTEIN, Lauren R; GERSBACH, Charles A. A light-inducible CRISPR-Cas9 system for control of endogenous gene activation. *Nature Chemical Biology*, [s.l.], v. 11, n. 3, p.198-200, 2015.

³⁰ CLEMENTE, Graziella Trindade. Responsabilidade Civil, Edição Gênica e o CRISPR. In: Rosendal, N.; Dresch, R. F. V.; Wesendonck, T. (Org.). Responsabilidade Civil - Novos Riscos. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2019. p. 301-317.

³¹ "O mosaicismos é a presença em um indivíduo ou em um tecido de ao menos duas linhagens celulares geneticamente diferentes, porém derivadas de um único zigoto. As mutações que acontecem em uma única célula após a concepção, como na vida pós-natal, podem originar clones celulares geneticamente diferentes do zigoto original porque, devido à natureza da replicação do DNA, a mutação irá permanecer em todos os descendentes clonais dessa célula." NUSSBAUM, Robert L. et al. Genética Médica - Padrões de herança monogênica. Trad. Thompson & Thompson. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016, p.107-132.

5. A RESPONSABILIDADE CIVIL DECORRENTE DO DANO GENÉTICO

Muito embora o instituto da responsabilidade civil tenha evoluído com o avanço social e do direito, seus pilares clássicos ainda permanecem incólumes, sendo seus pressupostos a ocorrência de um dano, o agir culposo do agente e, por fim, um nexo de causalidade entre a ação e o resultado danoso. Há, todavia, ao lado da responsabilidade civil clássica, pautada na culpa do agente, também a responsabilidade civil objetiva, ou seja, aquela que o elemento culpa passa a ser prescindível, tendo-se em vista que para sua configuração basta a presença do dano e o nexo de causalidade.

Essa adoção de ambas as responsabilidades pelo Direito Brasileiro se dá em decorrência do surgimento de novos danos, assim entendidos aqueles que não se amoldavam na acepção clássica do instituto, situações em que a atividade desenvolvida, por si só, importava em um agravamento do risco de dano ou, ainda, quando a prova da culpa se mostrava altamente improvável e, com isso, a responsabilização restaria frustrada.

Sergio Cavalieri Filho³² apresenta a conceituação da responsabilidade civil pautada na ideia de dever jurídico, ou seja, decorrente da violação de uma obrigação que gere um prejuízo, sendo imperiosa a reparação:

Em seu sentido etimológico, responsabilidade exprime a ideia de obrigação, encargo, contraprestação. Em seu sentido jurídico, o vocábulo não foge dessa ideia. Designa o dever que alguém tem de reparar o prejuízo decorrente da violação de um outro dever jurídico. Em apertada síntese, a responsabilidade civil é um dever jurídico sucessivo que surge para recompor o dano decorrente da violação de um dever jurídico originário.

Por sua vez, Maria Helena Diniz³³ apresenta uma conceituação atual sistemática do instituto em estudo, diferenciando a responsabilidade aquiliana da objetiva, para quem

poder-se-á definir a responsabilidade civil como a aplicação de medidas que obriguem alguém a reparar dano moral ou patrimonial causado a terceiros em razão de ato do próprio imputado, de pessoa por quem ele responde, ou de fato de coisa ou animal sob sua guarda ou, ainda, de simples imposição legal. Definição esta que guarda, em sua estrutura, a ideia da culpa quando se cogita da existência de ilícito (responsabilidade subjetiva), e a do risco, ou seja, da responsabilidade sem culpa (responsabilidade objetiva).

Como visto, o avanço das tecnologias trouxe consigo um risco intrínseco decorrente da própria atividade, sendo a responsabilidade civil clássica insuficiente para salvaguardar os direitos dos envolvidos, razão pela qual a culpa passou a ser relativizada, firmando-se a teoria do risco, como seu principal expoente.

Conforme a teoria do risco, quando uma atividade apresentar potencial para causar

³² CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2010, pág. 02.

³³ DINIZ, Maria H. *Curso de Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.7 - 38ª Edição 2024*. 38. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. p.34. ISBN 9788553621392. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553621392/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

danos a terceiros, o responsável por sua execução será obrigado a indenizar em caso de prejuízo, mesmo que não haja comprovação de culpa. Ou seja, para que se haja o dever de indenizar se faz necessário tão somente comprovar a ocorrência do dano e, por óbvio, demonstrar a existência do nexo causal entre a conduta e seu resultado danoso.

Carlos Roberto Gonçalves³⁴ sintetiza essa evolução da teoria da responsabilidade civil elucidando em que consiste a teoria da risco:

Nos últimos tempos ganhou terreno a chamada teoria do risco, que, sem substituir a teoria da culpa, cobre muitas hipóteses em que o apelo às concepções tradicionais se revela insuficiente para a proteção da vítima. A responsabilidade é encarada sob o aspecto objetivo.

Na teoria do risco se subsume a ideia do exercício de atividade perigosa como fundamento da responsabilidade civil. O exercício de atividade que possa oferecer algum perigo representa um risco, que o agente assume, de ser obrigado a ressarcir os danos que venham resultar a terceiros dessa atividade.

Avançando a ideia da teoria aludido civilista³⁵ arremata

Uma das teorias que procuram justificar a responsabilidade objetiva é a teoria do risco. Para esta teoria, toda pessoa que exerce alguma atividade cria um risco de dano para terceiros. E deve ser obrigada a repará-lo, ainda que sua conduta seja isenta de culpa. A responsabilidade civil desloca-se da noção de culpa para a ideia de risco, ora encarada como "risco-proveito", que se funda no princípio segundo o qual é reparável o dano causado a outrem em consequência de uma atividade realizada em benefício do responsável (*ubi emolumentum, ibi onus*); ora mais genericamente como "risco criado", a que se subordina todo aquele que, sem indagação de culpa, expuser alguém a suportá-lo.

Ao contrário do Código Civil de 1916, que abordava exclusivamente a responsabilidade subjetiva, a responsabilidade pelo risco da atividade e a responsabilidade objetiva foram incorporadas ao Código Civil de 2002. No caput do artigo 927 veio prevista esta vez que "aquele que, por ato ilícito, causar dano a outrem, fica obrigado a repará-lo". Por sua vez, o parágrafo único do mesmo dispositivo legal prevê aquela ao estabelecer que "haverá obrigação de reparar o dano, independente de culpa, nos casos especificados em lei, ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem".

Gustavo Tepedino³⁶, ao analisar a objetificação da responsabilidade civil decorrente dos denominados novos danos, assim expõe

superou-se gradualmente a noção subjetiva de culpa, associada à intenção do agente, consolidando-se, cada vez mais, o fenômeno conhecido como objetivação da responsabilidade civil. Tal alteração conceitual abrangeu não apenas a identificação de novas hipóteses de responsabilidade objetiva,

³⁴ GONÇALVES, Carlos R. *Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.4 - 19ª Edição 2024*. 19. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. p.9. ISBN 9788553622283. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553622283/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

³⁵ *Ibidem* p. 29.

³⁶ TEPEDINO, Gustavo; TERRA, Aline de Miranda V.; GUEDES, Gisela Sampaio da C. *Fundamentos do Direito Civil - Vol. 4 - Responsabilidade Civil - 5ª Edição 2024*. 5. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2024. E-book. p.57. ISBN 9786559649563. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559649563/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

alvitradas pelo legislador especial e pelo Código Civil de 2002, mas igualmente a construção – doutrinária e jurisprudencial – que procura definir a noção de culpa a partir de critérios objetivos relacionados ao padrão de comportamento exigível em determinadas circunstâncias histórica e geograficamente determinadas.

(...)

O novo panorama legislativo, em cotejo com o progresso científico – catalizador da expansão de riscos e de danos na vida social –, polarizou o discurso jurídico entre aqueles que identificam na ampliação do dever de reparar uma vitória em si mesma, atribuindo ao Estado e aos empresários praticamente todos os ônus decorrentes da atividade produtiva.

A responsabilidade civil decorrente do dano genético ganha especial relevância diante da ausência de um regramento específico, reflexo da dificuldade do direito em acompanhar as revoluções tecnológicas. A técnica de engenharia genética CRISPR-Cas9, anteriormente analisada, permite a edição do DNA humano ao selecionar e remover segmentos específicos, substituindo-os por sequências distintas conforme determinado objetivo.

Como se sabe, a busca pelo poder econômico e territorial resultou em duas grandes guerras, ao mesmo tempo em que impulsionou o avanço tecnológico que impactou todas as nações. Com isso, as fronteiras geográficas e culturais foram diluídas, e o fenômeno da globalização superou as distâncias que antes separavam o ocidente do oriente, o norte do sul, o leste do oeste, e o sudeste do noroeste. As tecnologias foram progressivamente aprimoradas para atender às novas demandas de um mundo caracterizado por ambivalências, valores contrastantes, desconfiança nos mitos e imersão no ceticismo.

Esse conjunto de transformações resultou no surgimento de uma sociedade pós-moderna, cujas fundações se baseiam em conceitos como desconfiança, imprecisão, insegurança, ambiguidade, obscuridade, vulnerabilidade e instabilidade em todos os campos do conhecimento. A partir dessa realidade, Ulrich Beck (1986) introduziu o conceito de "sociedade de risco"³⁷ para alertar sobre os perigos gerados pela ultrapassagem dos limites naturais e evidenciar os impactos negativos, como o desastre nuclear de Chernobyl (Ucrânia). No mesmo sentido, Patrick Lagadec (1981) usou a expressão "civilização de risco", enquanto Patrick Peretti-Watel (2000) deu ênfase à "sociologia do risco", e Robert Castel (2003) abordou o tema da "insegurança social"³⁸.

Embora os avanços científicos e tecnológicos tenham superado expectativas, tornando a vida cotidiana mais rápida e conveniente, também causaram danos irreparáveis à família, ao meio ambiente, aos direitos individuais e coletivos, à paz mundial, aos valores religiosos, à memória cultural e à privacidade. Estes são apenas alguns dos legados da sociedade pós-

³⁷ O conceito de "sociedade de risco" foi introduzido pelo sociólogo alemão Ulrich Beck em sua obra *Risikogesellschaft* (1986), publicada no Brasil com o título *Sociedade de Risco – Rumo a uma Outra Modernidade* (Editora 34, São Paulo, 2010). Beck argumenta que, enquanto na sociedade industrial a produção de riqueza prevalecia sobre a geração de riscos, na sociedade de risco essa lógica se inverte. O avanço tecnológico e econômico, antes símbolo de progresso, torna-se cada vez mais associado à criação de novos perigos. Com a ampliação desses riscos e sua crescente exposição ao escrutínio público, eles deixam de ser latentes e assumem um papel central no debate social e político. Além disso, diferentemente das ameaças tradicionais, que podiam ser contidas em territórios ou grupos específicos, os riscos contemporâneos possuem um caráter globalizante, transcendendo fronteiras nacionais e criando desafios supranacionais que afetam todas as classes sociais.

³⁸ MOREIRA NETO, Diogo de Figueiredo. *Quatro paradigmas do direito administrativo pós-moderno: legitimidade; finalidade; eficiência; resultado*. Belo Horizonte: Fórum, 2008.

industrial, cujos efeitos se estenderão por gerações enquanto a busca humana pela perfeição continua a desafiar os limites da sustentabilidade³⁹.

Nesse contexto, a intervenção genética, impulsionada por tecnologias como o CRISPR-Cas9, torna-se um campo de atenção crítica. Se, por um lado, a edição gênica oferece a promessa de revolucionar o tratamento de doenças hereditárias e o desenvolvimento de terapias inovadoras, por outro, levanta preocupações sobre riscos de mutações não intencionais, efeitos a longo prazo desconhecidos e a definição dos limites éticos da manipulação do genoma humano.

Diante da ambivalência da técnica CRISPR-Cas9, que, ao mesmo tempo em que oferece avanços promissores, também levanta preocupações sobre danos e riscos irreversíveis ao meio ambiente e às gerações futuras, surgem importantes dilemas éticos. Entre as principais inquietações estão a possibilidade de criação de super-humanos, o desenvolvimento de novas doenças, a reintrodução de práticas eugênicas e modificações genéticas que podem comprometer a própria existência humana.

Razão pela qual é necessário dedicar-se a análise da responsabilidade civil na sociedade do risco e no contexto da intervenção genética, buscando construir referenciais teóricos e práticos capazes de enfrentar os desafios emergentes dessa nova era tecnológica.

O artigo 8º da Declaração Universal sobre o Genoma Humano e os Direitos Humanos destaca a importância de reparar os danos causados ao genoma, segundo o qual “cada indivíduo terá direito, conforme a legislação nacional ou internacional, à justa indenização por qualquer dano sofrido resultante, direta ou indiretamente, de intervenção sobre o genoma”. Assim, percebe-se que, no contexto internacional, existe o reconhecimento da importância de reparações em casos de danos genéticos. Esse entendimento é baseado na ideia de que os genes fazem parte da integridade genética de cada indivíduo, sendo invioláveis tanto em sua dimensão física quanto em seu caráter mais íntimo.

O dano genético é muito bem conceituado por Erick Valdés e Laura Victoria Puentes⁴⁰

Definimos daño genético como todo daño, alteración, y modificación, sin fines terapéuticos, a la composición genética del ser humano, capaz de afectar la biología, autonomía, dignidade e integridad del individuo, en virtud de fracturar substancialmente su constitución genética original com fines de predeterminar o determinar artificialmente su existencia.⁴¹

O conceito de dano genético, como visto, é muito amplo e, embora esteja intrinsecamente relacionados às alterações no genoma decorrentes da engenharia genética, não se reduz tão somente a esta conduta, podendo englobar igualmente modificações genéticas resultantes de

³⁹ BECK, Ulrich. *Sociedade de Risco: rumo a uma outra modernidade*. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: Editora 34, 2010.

⁴⁰ VALDÉS, Erick; PUENTES, Laura Victoria. Daño genético. Definición y doctrina a la luz del bioderecho. *Revista de Derecho Público*, n. 32. Junho de 2014, p. 18. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4759749>>. Acesso em: 27 dez. 2024.

⁴¹ Tradução livre: Definimos dano genético como qualquer dano, alteração e modificação, sem fins terapêuticos, na composição genética do ser humano, capaz de afetar a biologia, a autonomia, a dignidade e a integridade do indivíduo, em virtude de fraturar substancialmente sua constituição genética original com o propósito de predeterminar ou determinar artificialmente sua existência.

ações que não envolvem o uso direto dessa tecnologia.

Diferentemente do dano moral, o dano genético atinge outra característica fundamental da dignidade da pessoa humana, qual seja, a integridade genética. Por essa razão, é classificado como uma nova vertente do dano extrapatrimonial, passível, portanto, de reparação. Isso porque para que um dano seja ressarcível vários elementos devem estar presentes, tais como a vinculação clara entre o ato humano e o dano, que tenha efetivamente ocorrido, que seja passível de responsabilidade, bem como seja indispensável sua caracterização como injusto, caso contrário não seria passível de ressarcimento⁴².

Acerca da temática, no que diz respeito à responsabilidade civil decorrente do dano genético proveniente da utilização do CRISPR-Cas9, a Lei nº 11.105/05 estabeleceu normas de segurança e fiscalização, sendo o artigo 20 da referida legislação conclusivo para a possibilidade de aplicação da responsabilização objetiva, posto ter disposto que “sem prejuízo da aplicação das penas previstas nesta Lei, os responsáveis pelos danos ao meio ambiente e a terceiros responderão, solidariamente, por sua indenização ou reparação integral, independentemente da existência de culpa”.

Embora a principal preocupação com tecnologias inovadoras seja o risco de danos, é crucial também considerar os efeitos negativos da sua não aplicação, especialmente no caso da edição gênica. Se essa técnica se tornar uma opção terapêutica viável, seria necessário questionar os danos causados pela sua não utilização, principalmente em doenças genéticas incuráveis que comprometem a autonomia e dignidade do indivíduo. Nesse contexto, surge a possibilidade de um dano intergeracional⁴³, pois a omissão do uso da edição gênica afetaria não apenas o indivíduo, mas também suas gerações futuras, criando uma ponte entre elas.

Nesse sentido, observa Graziella Trindade Clemente⁴⁴ que no campo da biotecnologia, debates sobre os riscos potenciais — inclusive aqueles incertos — são frequentes, especialmente diante de inovações tecnológicas como a edição gênica por CRISPR/Cas9. Nessas circunstâncias, torna-se fundamental aprofundar a análise sobre a previsibilidade e a causalidade dos riscos, pois, ainda que inicialmente imperceptíveis, podem constituir ameaças latentes, configurando riscos desconhecidos ou de “causa ignota”. No caso de riscos desconhecidos, há consenso de que a responsabilidade subjetiva não se aplica, uma vez que a previsibilidade do dano é um requisito para a culpa e não há informações disponíveis sobre a probabilidade de sua ocorrência. Assim, a

⁴² CORRÊA, Daniel Marinho. Danos extrapatrimoniais: Interfaces entre prevenção, punição e quantificação. Londrina, Thoth: 2021.

⁴³ A solidariedade intergeracional é um princípio que surge no Direito Internacional Ambiental e adentra a Constituição Federal no Art. 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, com vocação expansiva, conforme já reconheceu o STF: “O adimplemento desse encargo, que é irrenunciável, representa a garantia de que não se instaurarão, no seio da coletividade, os graves conflitos intergeracionais marcados pelo desrespeito ao dever de solidariedade, que a todos se impõe, na proteção desse bem essencial de uso comum das pessoas em geral”. (ADI 3.540- MC/DF, Rel.Min. Celso de Mello, Pleno citada em AC 1.255 MC/RR. Rel. Min. Celso de Mello. 22.6.2006)

⁴⁴ Clemente, Graziella Trindade; Rosenvald, Nelson. Dano ao projeto de vida no contexto da edição gênica: uma possibilidade. In: Menezes, J.B; Dadalto, L.; Rosenvald, N. (Org.). Responsabilidade Civil e Medicina. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2020. p. 227-45.

responsabilização com base na culpa somente seria admissível se houvesse desrespeito ao princípio da precaução, especialmente em situações de descumprimento dos deveres de cuidado, proteção e informação, conforme os avanços científicos e tecnológicos vigentes.

A autora ainda destaca que, sob a ótica da teoria objetiva, a responsabilização por danos decorrentes de riscos desconhecidos pode ocorrer quando há incerteza quanto à causalidade, o que impacta diretamente na distribuição do ônus da prova. Do ponto de vista pragmático, em que todo risco de dano gerado se torna um fator de imputação objetiva, torna-se fundamental compreender o potencial de risco inerente à atividade. Esse, sem dúvida, representa o maior desafio⁴⁵.

Nelson Rosenthal⁴⁶ também destaca que este é um tema desafiador, principalmente devido à ausência de informações sobre os riscos envolvidos. A análise econômica do direito enfatiza os incentivos que a responsabilidade civil pode gerar, encorajando os agentes a adotarem melhores práticas e a tomarem decisões mais adequadas quanto ao nível de cuidado e à própria atividade, visando uma distribuição de riscos socialmente eficiente. Nesse dilema entre o estímulo ao avanço tecnológico e a proteção da integridade psicofísica, surge a questão de saber se, em vez da responsabilização civil, uma regulação pública não seria uma solução mais eficaz para mitigar as externalidades negativas — como já ocorre com a exigência de seguros obrigatórios para acidentes de trabalho e doenças ocupacionais.

Logo, ao analisar a responsabilidade civil no contexto da edição gênica, onde o principal desafio é a possibilidade de riscos desconhecidos, torna-se essencial equilibrar as diretrizes estabelecidas pelo legislador com a evolução normativa fundamentada na doutrina e na jurisprudência.

Nessa perspectiva, ressaltou-se a relevância da teoria da imputação objetiva, o debate sobre as teorias do risco, as particularidades na análise da causalidade, além da controvérsia em torno da aceitação do risco desconhecido como excludente de responsabilidade, tanto no Brasil quanto conforme previsto na Diretiva Europeia 85/374, que, nas palavras de Nelson Rosenthal⁴⁷ resume o risco do desenvolvimento nas seguintes questões:

(a) funda-se na responsabilidade civil objetiva; (b) consagra o risco do desenvolvimento como causa excludente da responsabilidade civil; (c) para ser admitida essa excludente, o produtor tem o ônus de provar que, no momento da colocação do produto no mercado, não era possível detectar a existência do defeito; (d) a legislação interna de cada Estado-membro pode ou não incorporar a excludente do risco do desenvolvimento (Development Risks Defence – DRD). A excludente é adotada por países como França, Itália e Espanha; (e) o critério temporal para aferição do estado da ciência e da técnica ou estado da arte é o da colocação do produto no mercado e não o da verificação do dano.

⁴⁵ Clemente, Graziella Trindade; Rosenthal, Nelson. Edição Gênica e os limites da Responsabilidade civil. In: Martins, G.M.; Rosenthal, N. (Org.). Responsabilidade Civil e Novas Tecnologias. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2020. p. 235-61.

⁴⁶ ROSENTHAL, Nelson. O Direito Civil em movimento – 3ª ed., Salvador: Juspodivm, 2019.

⁴⁷ *Op. Cit.*

Ainda assim, mesmo que a Lei de Biossegurança tenha apresentado arcabouço para a responsabilização civil decorrente de danos genéticos, o próprio tema dano genético é pouco desenvolvido pela doutrina nacional, que volta sua atenção ao dano biológico que, nas palavras de Pamplona Filho⁴⁸ seria todo o dano que afete a saúde do sujeito, ainda que sem transparecer externamente à vítima. Assim seu entendimento:

Os tribunais ainda reconhecem o chamado dano biológico, decorrente da ofensa à saúde do sujeito.

(...)

Assim, qualquer ofensa à saúde, e não necessariamente à composição morfológica do sujeito, gera o chamado dano biológico. Desta forma, não é essencial para sua caracterização que transpareça no aspecto externo da vítima.

Com base em tudo que até aqui fora esposado, verifica-se que o dano genético pode ser classificado como uma nova modalidade de dano extrapatrimonial, tratando-se de uma subdivisão do dano biológico. Sua caracterização ocorre quando há violação da integridade genética do indivíduo, sendo sua aplicação ampliada pelas inovações tecnológicas, no caso em tela, especialmente decorrente da utilização da técnica do CRISPR-Cas9. Nesse contexto, a responsabilidade civil busca resguardar a integridade do indivíduo e do meio ambiente, ultrapassando as barreiras físicas do sujeito, sendo aplicada de maneira objetiva aos causadores de quaisquer danos.

No contexto do CRISPR-Cas9, a responsabilidade civil deve ser analisada sob a ótica da teoria do risco, uma vez que a manipulação genética é uma atividade que, por sua natureza, envolve riscos significativos. Como destaca Graziella Trindade Clemente⁴⁹, a responsabilidade civil objetiva é a mais adequada para casos de danos genéticos decorrentes do uso dessa técnica, uma vez que os riscos associados à técnica são intrínsecos à atividade.

6. CONCLUSÃO

A presente análise percorreu um caminho complexo, desde as raízes históricas da responsabilidade civil, enraizadas na vingança privada do Direito Romano, até a avançada questão da edição gênica por meio da tecnologia CRISPR-Cas9. Esse percurso foi essencial para compreender os desafios contemporâneos, especialmente no que se refere à proteção da integridade genética e aos limites da responsabilidade civil na era biotecnológica.

Inicialmente, exploramos a evolução da responsabilidade civil, desde a autotutela romana até a Lex Aquilia, um marco crucial na transição para a reparação pecuniária do dano. A análise subsequente da influência do Código Napoleônico, da teoria da culpa e da teoria do risco, destacou a progressiva objetivação da responsabilidade civil, impulsionada pela necessidade de lidar com os novos riscos gerados pela sociedade industrial e tecnológica.

⁴⁸ PAMPLONA FILHO, Rodolfo; VILAS BOAS ANDRADE JÚNIOR, Luiz Carlos. A Torre de Babel das Novas Adjetivações do Dano. *Direito UNIFACS–Debate Virtual*, n. 176, 2015, p. 19-20 Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/redu/article/view/3477/2491>>. Acesso em: 27 dez. 2024.

⁴⁹ *Op. Cit.*

Avançando, examinamos o desenvolvimento das terapias gênicas, com ênfase no marco histórico da primeira inserção bem-sucedida de um gene saudável em um organismo humano. A trajetória das terapias gênicas, desde os primeiros experimentos até o uso de vetores virais e nanoestruturados, demonstrou o potencial dessa tecnologia no tratamento de doenças genéticas, ressaltando, ao mesmo tempo, a importância de uma pesquisa contínua para assegurar a segurança e eficácia dos procedimentos.

A atenção se voltou, então, para a revolução trazida pela tecnologia CRISPR-Cas9, que permite a edição precisa e eficiente do genoma. Essa técnica, ao possibilitar "cortar e colar" sequências de DNA com alta precisão, gerou tanto entusiasmo quanto preocupações, devido às suas implicações éticas e aos riscos de mutações não intencionais e mosaicismos.

A problemática da responsabilidade civil decorrente de danos genéticos emergiu como um ponto crucial desta análise. A complexidade do tema reside na dificuldade de conciliar o avanço tecnológico com a proteção da integridade genética dos indivíduos, respeitando os limites éticos da manipulação do genoma humano.

A teoria do risco, inicialmente aplicada para fundamentar a responsabilidade em atividades perigosas, surge como conceito central na análise da responsabilidade decorrente do uso do CRISPR-Cas9. A manipulação genética, por sua própria natureza, envolve riscos além da previsibilidade da culpa, exigindo uma abordagem objetiva da responsabilidade, conforme os dispositivos do artigo 927 do Código Civil de 2002 e da Lei nº 11.105/05, que regula as atividades com organismos geneticamente modificados.

Juntamente com a teoria do risco, também investigamos os riscos desconhecidos e as dificuldades de estabelecer o nexo causal nos danos genéticos. A questão da previsibilidade e causalidade, conforme salientado por Graziella Trindade Clemente, assume grande relevância na definição da responsabilidade, especialmente quando a origem do dano é incerta.

Além disso, a discussão sobre a aceitação do risco desconhecido como excludente de responsabilidade, conforme abordado por Nelson Rosendal, e a necessidade de uma regulação pública eficaz para mitigar as externalidades negativas da tecnologia, destacam a complexidade do tema. Embora a Lei de Biossegurança ofereça uma base para a responsabilização civil por danos genéticos, a necessidade de um aprofundamento da doutrina nacional, conforme apontado por Pamplona Filho, reforça a importância de um debate mais aprofundado.

Em conclusão, a responsabilidade civil no contexto da edição gênica com CRISPR-Cas9 demanda uma análise multidisciplinar, que considere os avanços da biotecnologia, a ética, o direito e a filosofia. O grande desafio está em equilibrar o incentivo à inovação tecnológica com a proteção da dignidade humana, da integridade genética e do meio ambiente. Esta análise contribui para aprofundar o debate sobre o tema, oferecendo elementos para a construção de um sistema de responsabilidade civil que aborde de forma adequada os riscos e danos derivados da manipulação do genoma humano, somente podendo falar na viabilidade da utilização do CRISPR-Cas9 em humanos quando respeitada integralmente a dignidade da pessoa humana e o cumprimento integral aos requisitos e imposições da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa

(CONEP) e da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

REFERÊNCIAS

ANDERSON, William French. Human gene therapy: the initial concepts. In: *Gene therapy for diseases of the lung*. CRC Press, 2020. p. 3-16.

ATKINS, Gregory J.; FLEETON, Marina N.; SHEAHAN, Brian J. Therapeutic and prophylactic applications of alphavirus vectors. *Expert reviews in molecular medicine*, v. 10, p. e33, 2008.

BARBOZA, Caroline Mota Souza et al. A técnica de CRISPR-Cas9 na terapia gênica: uma revisão da literatura. *Revista Transformar*, v. 14, n. 1, p. 562-698, 2020.

BAUZON, Maxine; HERMISTON, Terry W. Exploiting diversity: genetic approaches to creating highly potent and efficacious oncolytic viruses. *Current opinion in molecular therapeutics*, v. 10, n. 4, p. 350-355, 2008.

BECK, Ulrich. *Sociedade de Risco: rumo a uma outra modernidade*. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: Editora 34, 2010.

BOTAS, Bruna Patrícia Marques. *Edição Genética em Embriões Humanos-A Responsabilidade Civil Médica No Contexto da Terapia Gênica Germinal*. Universidade de Coimbra. 2021. Dissertação de Mestrado.

BRASIL. *Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002*. Institui o Código Civil. Brasília: Congresso Nacional. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 27 dez. de 2024.

BRASIL. *Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005*. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança – PNB, revoga a Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e a Medida Provisória nº 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e os arts. 5º, 6º, 7º, 8º, 9º, 10 e 16 da Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003, e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm. Acesso em: 27 dez. de 2024.

BUCKLEY, Rebecca H. Molecular defects in human severe combined immunodeficiency and approaches to immune reconstitution. *Annual review of immunology*, v. 22, p. 625-655, 2004.

CARDONE, Monica. Prospects for gene therapy in inherited neurodegenerative diseases. *Current opinion in neurology*, v. 20, n. 2, p. 151-158, 2007.

CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CLEMENTE, Graziella Trindade. *Responsabilidade Civil, Edição Gênica e o CRISPR*. In: Rosenvald, N.; Dresch, R. F. V.; Wesendonck, T. (Org.). *Responsabilidade Civil - Novos Riscos*. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2019. p. 301-317.

CLEMENTE, Graziella Trindade; ROSENVALD, Nelson. *Dano ao projeto de vida no contexto da edição gênica: uma possibilidade*. In: Menezes, J.B; Dadalto, L.; Rosenvald, N. (Org.). *Responsabilidade Civil e Medicina*. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2020. p. 227-45.

CLEMENTE, Graziella Trindade; ROSENVALD, Nelson. *Edição Gênica e os limites da Responsabilidade civil*. In: Martins, G.M.; Rosenvald, N. (Org.). *Responsabilidade Civil e Novas Tecnologias*. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2020. p. 235-61.

COLEMAN, William B.; TSONGALIS, Gregory J. (Ed.). *Molecular pathology: the molecular basis of human disease*. [s. l.]: Academic Press, 2009.

CONG, Le et al. Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, v. 339, n. 6121, p. 819-823, 2013.

CORRÊA, Daniel Marinho. *Danos extrapatrimoniais: Interfaces entre prevenção, punição e quantificação*. Londrina, Thoth: 2021.

CULVER, K. W. et al. Correction of ADA deficiency in human T lymphocytes using retroviral-mediated gene transfer. In: *Transplantation proceedings*. 1991. p. 170-171.

DIAS, José de Aguiar. *Da responsabilidade civil*. 11. ed., rev. Rio de Janeiro: Renovar, 2006.

DINIZ, Maria H. *Curso de Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.7 - 38ª Edição 2024*. 38. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. ISBN 9788553621392. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553621392/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

DOUDNA, Jennifer A.; CHARPENTIER, Emmanuelle. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, v. 346, n. 6213, p. 1258096, 2014.

FRIEDMANN, Theodore. The road toward human gene therapy-a 25-year perspective. *Annals of medicine*, v. 29, n. 6, p. 575-577, 1997.

GOMES, Magno Federici; CRUZ, Clarisse Aparecida da Cunha Viana. Manipulação genética por meio da técnica do Crispr-cas9, o estado da ciência e o princípio da precaução. *Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFAFIBE)*, v. 9, n. 3, p. 75-103, 2021.

GONÇALVES, Carlos R. *Direito Civil Brasileiro - Responsabilidade Civil Vol.4 - 19ª Edição 2024*. 19. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Jur, 2024. E-book. ISBN 9788553622283. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553622283/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

GONÇALVES, Giulliana Augusta Rangel; PAIVA, Raquel de Melo Alves. Terapia gênica: avanços, desafios e perspectivas. *Einstein (São Paulo)*, v. 15, p. 369-375, 2017.

JACKSON, David A.; SYMONS, Robert H.; BERG, Paul. Biochemical method for inserting new genetic information into DNA of Simian Virus 40: circular SV40 DNA molecules containing lambda phage genes and the galactose operon of Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 69, n. 10, p. 2904-2909, 1972.

LANDER, Eric Steven. et al. Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, v.409, n.6822, p.860-921, 2001 Disponível em <https://www.nature.com/articles/35057062#citeas>. Acesso em 19 dez. 2024.

LIMA, Alvino. *Culpa e risco*. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1999, pág. 19.

LINDEN, Rafael. *Genes contra doenças. Terapia gênica: uma nova era na genética*. Rio de Janeiro: Vieira e Lent, 2008.

LINDEN, Rafael. Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será. *Estudos avançados*, v. 24, p. 31-69, 2010.

LIU, Huayi; WANG, Lian; LUO, Yunzi. Blossom of CRISPR technologies and applications in disease treatment. *Synthetic and Systems Biotechnology*, v. 3, n. 4, p. 217-228, 2018.

LUNDBERG, Cecilia et al. Applications of lentiviral vectors for biology and gene therapy of neurological disorders. *Current gene therapy*, v. 8, n. 6, p. 461-473, 2008.

- MOREIRA NETO, Diogo de Figueiredo. *Quatro paradigmas do direito administrativo pós-moderno: legitimidade; finalidade; eficiência; resultado*. Belo Horizonte: Fórum, 2008.
- NUSSBAUM, Robert L. et al. *Genética Médica - Padrões de herança monogênica*. Trad. Thompson & Thompson. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016, p.107-132.
- PAMPLONA FILHO, Rodolfo; VILAS BOAS ANDRADE JÚNIOR, Luiz Carlos. A Torre de Babel das Novas Adjetivações do Dano. *Direito UNIFACS–Debate Virtual*, n. 176, 2015. Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/redu/article/view/3477/2491>>. Acesso em: 27 dez. 2024.
- PAVÃO, Juliana Carvalho; ESPOLADO, Rita de Cássia Resquetti Tarifa. Novos panoramas da responsabilidade civil e as tecnologias. *Revista Em Tempo*, v. 18, n. 01, p. 96-115, 2019.
- PAVÃO, Juliana Carvalho; ESPOLADOR, Rita de Cássia Resquetti Tarifa. Responsabilidade civil e a reprodução humana assistida: análise sob os prismas da responsabilidade médica e da clínica de reprodução assistida. *Revista IBERC*, v. 7, n. 2, p. 62-78, 2024.
- POLSTEIN, Lauren R; GERSBACH, Charles A. A light-inducible CRISPR-Cas9 system for control of endogenous gene activation. *Nature Chemical Biology*, [s.l.], v. 11, n. 3, p.198-200, 2015.
- PORTEUS, Matthew H.; CONNELLY, Jon P.; PRUETT, Shondra M. A look to future directions in gene therapy research for monogenic diseases. *PLoS genetics*, v. 2, n. 9, p. e133, 2006.
- ROSENVALD, Nelson. *O Direito Civil em movimento*. 3. ed. Salvador: Juspodivm, 2019.
- RUFFOLO, Jeffrey A. et al. Design of highly functional genome editors by modeling the universe of CRISPR-Cas sequences. *bioRxiv*, p. 2024.04. 22.590591, 2024.
- TEPEDINO, Gustavo; TERRA, Aline de Miranda V.; GUEDES, Gisela Sampaio da C. *Fundamentos do Direito Civil - Vol. 4 - Responsabilidade Civil - 5ª Edição 2024*. 5. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2024. E-book. ISBN 9786559649563. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559649563/>. Acesso em: 27 dez. 2024.
- VALDÉS, Erick; PUENTES, Laura Victoria. Daño genético: Definición y doctrina a la luz del bioderecho. *Derecho Público*, n. 32, p. 2-25, 2014. Disponível em:< <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4759749> >. Acesso em: 27 dez. 2024.
- VASCONCELOS, Maria José Vilaça de; FIGUEIREDO, José Edson Fontes. Tecnologia CRISPR-Cas para edição genômica. Sete Lagoas: *Embrapa Milho e Sorgo*, 2015, 37 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1039785>. Acesso em 19 dez. 2024.
- VIEIRA, Gabriel Viliod; CECÍLIO, Nerry Tatiana et al. Visão geral do mecanismo básico de ação, p. 39-50, 2016 in PEREIRA, Tiago Campos (Org.) *Introdução à técnica de CRISPR*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2016, apud GONÇALVES, Giulliana Augusta Rangel; PAIVA, Raquel de Melo Alves. *Terapia gênica: avanços, desafios e perspectivas. Einstein (São Paulo)*, v. 15, [p. 369-375], 2017.
- WATSON, James Dewey. et al. *Recombinant DNA: genes and genomics: a short course*. [s. l.]: Freeman, 2006.
- WINTER, Bárbara Carollo de Almeida. *CRISPR-Cas9 e a edição genética em embriões humanos: uma análise normativa de seus riscos e benefícios*. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2023. Tese de Doutorado.

Recebido: 27/01/2025.

Aprovado: 10/03/2025.

Como citar: ESPOLADOR, Rita de Cássia Resquetti Tarifa; CORRÊA, Daniel Marinho; TREVISAN, Lucas Mendonça. Breves considerações acerca da responsabilidade civil proveniente do dano genético decorrente da utilização do CRISPR-Cas9. **Revista IBERC**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 114-135, jan./abr. 2025.

