

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

ESCOLA DE SAÚDE E BIOCÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOÉTICA

ROBERTO ROHREGGER

**BIOLOGIA SINTÉTICA SOB O OLHAR DA BIOÉTICA:
RISCOS, PROMESSAS E RESPONSABILIDADE**

CURITIBA

2015

ROBERTO ROHREGGER

**BIOLOGIA SINTÉTICA SOB O OLHAR DA BIOÉTICA:
RISCOS, PROMESSAS E RESPONSABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioética. Área de Concentração: Fundamentos da Bioética da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioética.

Orientador: Prof. Dr. Anor Sganzerla

CURITIBA

2015

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central

R713b Rohregger, Roberto
2015 Biologia sintética sob o olhar da bioética: riscos, promessas e
responsabilidade / Roberto Rohregger; orientador, Anor Sganzerla. -- 2015
100 f.: il.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
Curitiba, 2015.
Bibliografia: f. 93-100

1. Bioética. 2. Biologia sintética. 3. Pesquisa – Aspectos morais e éticos. 4.
Responsabilidade. I. Sganzerla, Anor. II. Pontifícia Universidade Católica do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Bioética. III. Título

CDD 20. ed. – 174.9574

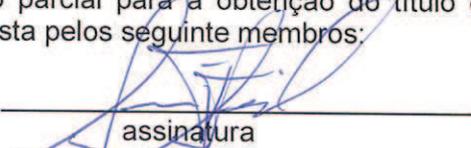
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOÉTICA**

DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 11/2015

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Bioética

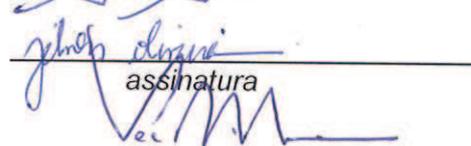
Aos quinze dias do mês de setembro do ano de dois mil e quinze, às catorze horas e trinta minutos, na sala 2 do Mestrado, realizou-se a sessão pública de Defesa da Dissertação: "**A biologia sintética: ameaça, esperança e responsabilidade**", apresentada pelo aluno **Roberto Rohregger**, sob orientação do **Prof. Dr. Anor Sganzerla** como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Bioética**, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguinte membros:

Prof. Dr. Anor Sganzerla
PUCPR (Orientador e presidente)



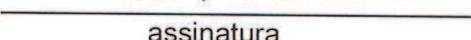
assinatura

Prof. Dr. Jelson Roberto de Oliveira
PUCPR (Examinador interno)



assinatura

Prof. Dr. Leocir Pessini
Centro Universitário São Camilo (Examinador externo)



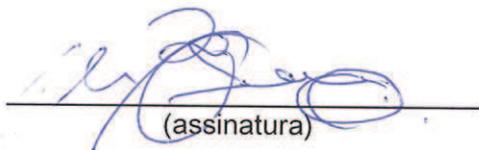
assinatura

Início: 14:30h Término: 16:30h.

Conforme as normas regimentais do PPGB e da PUCPR, o trabalho apresentado foi considerado aprovado (aprovado/reprovado), segundo avaliação da maioria dos membros desta Banca Examinadora.

O aluno está ciente que a homologação deste resultado está condicionada: (I) ao cumprimento integral das solicitações da Banca Examinadora, que determina um prazo de 90 dias para o cumprimento dos requisitos; (II) entrega da dissertação em conformidade com as normas especificadas no Regulamento do PPGB/PUCPR; (III) entrega da documentação necessária para elaboração do Diploma.

Aluno: Roberto Rohregger



(assinatura)



Prof. Dr. Mário Antonio Sanches
Coordenador do PPGB PUCPR

Dedico este trabalho a minha esposa, que enxergou em mim, o que nem eu mesmo pude ver.

Obrigado pela sua alegria que preenche a minha vida de felicidade.

AGRADECIMENTOS.

Agradeço a Deus que pela sua infinita graça possibilitou a realização de um sonho a muito acalentado.

A minha esposa Joelma, que me apoiou e incentivou nestes dois anos possibilitando minha dedicação ao mestrado.

Agradeço ao corpo docente e funcionários do curso de Pós-graduação em Bioética da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela dedicação e generosidade em transmitir seus conhecimentos, bem como pelo acolhimento que possibilitou o sentimento de pertencer a uma comunidade acadêmica atuante, despertando o gosto pela pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Anor Sganzerla pela sua dedicação, incentivo e paciência. Agradeço a Prof^a. Dr^a. Daiane Priscila Simão pelas suas observações, indicação de literatura e disposição em ler e reler meu trabalho.

Agradeço aos meus colegas de curso pelo companheirismo e por tantas discussões em sala de aula que enriqueceram com a diversidade de opiniões contribuindo para um dos aspectos fundamentais da bioética, ouvir e respeitar o outro na pluralidade.

Agradeço a meus familiares que de forma direta ou indireta contribuíram com seu apoio nesta jornada.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
INTRODUÇÃO	11
1 – O DNA RECOMBINANTE E A BIOLOGIA SINTÉTICA	14
1.1- DESCOBERTA DO DNA	14
1.2 - DNA RECOMBINANTE	17
1.3- BIOLOGIA SINTÉTICA	19
1.4 - APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E RISCOS	23
1.4.1 – Aplicações e Benefícios	24
1.4.2 - Riscos	26
2- PAREECES INTERNACIONAIS E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	32
2.1- CONFERÊNCIA DE ASILOMAR	32
2.1.2- Princípios e Recomendações de Asilomar	33
2.1.3- Avaliação da Conferência de Asilomar	36
2.2- PARECER DO COMITÊ DE BIOÉTICA DA CASA BRANCA	43
2.2.1- Beneficência pública	44
2.2.2- Administração responsável	46
2.2.3 - Liberdade intelectual e responsabilidade	49
2.2.4- Deliberação democrática	52
2.2.5- Justiça e equidade	56
2.3- PARECER CONJUNTO DO CONSELHO NACIONAL DE ÉTICA PARA AS CIÊNCIAS DA VIDA DE PORTUGAL E DO COMITÊ DE BIOÉTICA DA ESPANHA	58
2.3.1- A criação de vida sintética ou artificial enquanto tal	58
2.3.2- A responsabilidade do cientista	60
2.3.3- Os princípios da autorização e inspeção	61
2.3.4- Os princípios de “passo a passo” e de “caso a caso”	61
2.3.4 - O princípio da rastreabilidade	62
2.4 - LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	63

3- BIOLOGIA SINTÉTICA E A RESPONSABILIDADE FRENTE A VIDA.	69
3.1- A BIOLOGIA SINTÉTICA E A DINAMICIDADE DA VIDA _____	69
3.2- A BIOLOGIA SINTÉTICA E A ÉTICA DA RESPONSABILIDADE _____	78
3.2.1 – Ameaça e Esperança _____	82
3.2.2 –O risco da Imprevisibilidade e o excesso de poder _____	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	93

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar um olhar da bioética sobre a biologia sintética avaliando os riscos inerentes ao seu desenvolvimento, no qual as promessas de benefícios para humanidade não podem estar desassociadas do conceito de responsabilidade pela vida. Para alcançarmos este fim foi desenvolvido inicialmente uma pesquisa conceitual sobre a Biologia Sintética, que permeia desde seus conceitos técnicos, passando obrigatoriamente por um vislumbre histórico da descoberta do DNA, e do DNA Recombinante condições sine qua non para adentrarmos melhor fundamentados na descrição da técnica da Biologia Sintética, contemplando ainda as principais avaliações que se tem atualmente sobre os benefícios e riscos da mesma. Realizou-se ainda uma avaliação da Conferencia de Asilomar que pretendeu orientar os procedimentos e cuidados com as pesquisas com DNA Recombinante e dos relatórios da Comissão de Bioética da Casa Branca e do Parecer Conjunto da Espanha e Portugal, que serviu para entender quais, preceitos bioéticos e recomendações destas instituições relacionadas a Biologia Sintética e tecnologias emergentes. Ao refletirmos sobre suas principais orientações .procuramos fazer uma avaliação através de alguns pensadores que ajudaram a lançar luz sobre definições de termos e até a levantar questões que parecem não estar de todo fechadas nestes documentos. Esta forma de pesquisa foi para possibilitar uma visão do “estado da arte” até o momento da técnica da Biologia Sintética, suas promessas e riscos e o que os comitês de ética fornecem de material reflexivo e suas orientações. Na parte final aprofundou-se a reflexão a partir do prisma da ética da responsabilidade relacionado aos riscos e dilemas que a Biologia Sintética apresenta, do qual resultou uma sugestão de ampliação e complementação aos princípios constantes nos pareceres estudados e que possa servir de condutor no desenvolvimento das pesquisas em Biologia Sintética e seus produtos resultantes.

Palavras-chaves: Biologia Sintética – Bioética – Responsabilidade

ABSTRACT

The objective of this paper is to present a look of bioethics on synthetic biology by assessing the risks inherent to its development, in which the promises of benefits for humanity can not be disassociated from the concept of responsibility for life. To achieve this purpose was initially developed a conceptual research on Synthetic Biology that permeates from its technical concepts passing obligatorily by a history the discovery of DNA glimpse, and Recombinant DNA preconditions for we enter better grounded in the technical description of Synthetic Biology also contemplating the main assessments that currently has on the benefits and risks of it. It was held also an assessment of the Asilomar Conference that he intended to guide the procedures and care of research on recombinant DNA and the Commission reports on Bioethics of the White House and the Joint Opinion of Spain and Portugal, which served to understand what, bioethical principles and recommendations of these institutions related to Synthetic Biology and emerging technologies. As we reflect on its main guidelines seek to make an assessment by some thinkers who helped shed light on definitions of terms and to raise questions that do not seem to shut all these documents. This form of research was to allow a view of the "state of art" until the time of the Synthetic Biology technique, their promises and risks and what the ethics committees provide reflective material and its guidelines. In the final part deepened reflection from ethical prism of the related liability risks and dilemmas that Synthetic Biology presents, which resulted in a suggestion to expand and complement the principles contained in the studied opinions and that can serve as a driver in the development of research in Synthetic Biology and their resulting products.

Keywords: Synthetic Biology - Bioethics - Responsibility

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

OGM - Organismos Geneticamente Modificados

PCR - Reação em cadeia da polimerase

RNA - Ácido Ribonucleico

INTRODUÇÃO

Os avanços na biotecnologia vem trazendo novos e constantes desafios, tanto para a compreensão de suas descobertas e aplicações quanto ao entendimento de novos paradigmas éticos que se desvelam quando da sua aplicabilidade. A bioética tem interesse em acompanhar e refletir os novos campos da ciência e de suas pesquisas, seja nas áreas em que essas pesquisas afetam o homem diretamente, ou em seu relacionamento com a natureza, de modo a avaliar os riscos e impactos das novas descobertas. Refletir a partir de princípios éticos de modo dialético, no qual se possa ponderar sobre os benefícios e os riscos que os desenvolvimentos de novas técnicas podem incorrer, é fundamental para a construção de uma sociedade que tenha autonomia para escolher os caminhos que pretenda trilhar, e construir um futuro responsável. O desenvolvimento tecnológico acompanhou o ser humano na sua história, e é inevitável sua presença na atualidade, assim como no futuro. No entanto, deve-se entender que a tecnologia não é autônoma, pois deve estar a serviço do homem, o que faz com que ela não seja um fim em si mesmo.

Cabe à sociedade munida do senso da ética da responsabilidade decidir se deseja o desenvolvimento e a aplicação de determinadas novidades tecnológicas. A ciência e a tecnologia não podem se tornar “intocáveis”, e desse modo, colocadas em um panteão inacessível à opção de escolha humana. Ao mesmo tempo cabe a esta mesma sociedade garantir que o desenvolvimento tecnológico e a ciência avancem, possibilitando a solução para problemas atuais ou que possam ser previstos para o futuro, de modo a proporcionar um maior desenvolvimento humano, através da distribuição de seus frutos, garantindo o direito a uma vida autêntica das futuras gerações. Vivemos na atualidade um momento crucial na história, na qual a humanidade tem condições e o dever de tomar decisões sábias e justas, de modo a não se guiar pelo imperativo de que tudo o que possa ser pensado deva ser realizado.

Assim sendo, cabe à bioética lançar um olhar questionador sobre um ramo da biologia, mais especificamente da biotecnologia, que vem se desenvolvendo e ampliando sua ação diretamente na natureza e na manipulação da própria vida.

Trata-se da Biologia Sintética, que traz em seu bojo a perspectiva de modificação e até da possibilidade de criação de novos organismos.

Prometendo aplicações fantásticas, desde a criação de novos tecidos biológicos e medicamentos inovadores, até organismos criados com finalidades específicos desenvolvidos para atender as necessidades do homem, como bactérias antipoluentes, incluindo nesta gama de possibilidades desenvolver organismos que não existem na natureza. Assim a Biologia Sintética se apresenta como alternativa para solucionar grandes problemas da humanidade, gerando um novo, inusitado e altamente lucrativo, tipo de indústria. Porém, ao lado destas promessas que podem beneficiar a humanidade pairam profundos questionamentos, tais como: de que forma se manipula estes experimentos com segurança e como se dará o controle destes organismos na natureza? Qual a possibilidade destes novos organismos apresentarem uma evolução indesejada com graves riscos ao meio ambiente e em consequência ao ser humano? Qual a responsabilidade do pesquisador e da sociedade como um todo ao desenvolver esta nova tecnologia?

Estas questões apontam para a necessidade de uma reflexão de ordem ética, que implica entender a responsabilidade na manipulação e na criação destes organismos, uma vez que podem sofrer influência do meio externo, pois a dinâmica da vida é surpreendente, espontânea e imprevisível, o que coloca a dúvida se a vida é definida pelo organismo ou o inverso, isto é, o organismo que é definido pela vida (JONAS, 2004, p.85). Nesse sentido, pode-se dizer que assim como os ganhos, os riscos da Biologia Sintética também representam uma grande incógnita aos humanos e à vida em geral. Além de sua contribuição para uma visão radical de mecanização dos processos da geração de vida, a mesma promove uma separação entre a natureza e o ser humano, alienando-o. Essas e muitas outras questões relacionadas à Biologia Sintética, exigem um aprofundamento das questões éticas nas pesquisas, seus resultados e aplicações.

Assim sendo, esse trabalho tem por objetivo analisar a partir da reflexão ética, os avanços, as promessas e as ameaças da Biologia Sintética. Para tanto, no primeiro capítulo será apresentado um estudo sobre o conceito e funcionalidade do DNA, matéria-prima para a Biologia Sintética, o descobrimento e o desenvolvimento da técnica do DNA Recombinante, precursora da Biologia Sintética, e, por fim,

busca-se conceituar e descrever a técnica da Biologia Sintética. Finaliza-se esse primeiro momento com a descrição dos benefícios esperados com o desenvolvimento das pesquisas, e em contrapartida, os principais riscos que críticos e comitês de ética identificam no uso desta técnica.

No decorrer do segundo capítulo será apresentado a discussão e a síntese do relatório da Conferência de Asilomar, que avaliou os riscos e potencialidades da inovadora descoberta da técnica do DNA Recombinante, bem como suas recomendações para a continuidade das pesquisas que se encontravam em moratória por pedido de um grupo de pesquisadores envolvidos com a descoberta em decorrência dos perigos que poderiam estar envolvidos na manipulação incorreta ou descuidada desta tecnologia. Ainda será avaliado os pareceres do Comitê de Bioética da Casa Branca contido no relatório sobre Biologia Sintética e tecnologias emergentes, bem como o Parecer em Conjunto do Conselho Nacional de Ética para Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética da Espanha, que nos proporcionará uma visão pela avaliação da linha de pensamento norte-americana e europeia. Por fim será apresentado a legislação brasileira em relação à biotecnologia. Este capítulo nos proporcionará uma visão ampla sobre as recomendações e o direcionamento ético contido nos documentos trabalhados. A partir deste quadro, na terceira e última parte desse trabalho busca-se apresentar um aprofundamento da reflexão, tendo como fundamento a ética da responsabilidade, de modo a promover um diálogo crítico a respeito do desenvolvimento e aplicações da Biologia Sintética.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a da revisão teórica realizada em livros, artigos científicos e técnico, bem como nos documentos dos comitês de ética e de bioética ligados aos organismos de pesquisas ou dos governos, que serviram de parâmetro para a avaliação crítica dos riscos no desenvolvimento da pesquisa e produtos ligados a biologia sintética, abrangendo tanto o âmbito bioético quanto técnico. Dentro do diálogo entre vários pensadores que conduziu este trabalho a influência maior foi baseada na reflexão de Hans Jonas que trouxe de forma categórica o debate sobre a ética da responsabilidade, que é um aspecto importantíssimo para a avaliação da bioética principalmente sobre os avanços e dilemas da tecnologia e da ciência.

1 – O DNA RECOMBINANTE E A BIOLOGIA SINTÉTICA.

As descobertas da biotecnologia representam avanços em diversas áreas, seja na medicina, agricultura, indústria química entre outras. Sendo uma ciência ainda jovem, as possibilidades que a mesma projeta são ainda mais fantásticas. A bioética tem como um dos princípios fundamentais o conceito de autonomia, ou seja, a capacidade do indivíduo poder tomar decisões de forma livre e esclarecida, e desta forma escolher, o que segundo seu juízo, seria a melhor opção. Para saber se queremos ou não, ou quais as possibilidades para o desenvolvimento humano e riscos que podem estar envolvidos nestas tecnologias temos que ter condições de exercer nossa autonomia, cujo primeiro passo para obter conhecimento amplo sobre como funciona, quais as implicações e benefícios que se pode esperar desta tecnologia.

Tendo este conceito em mente, percebe-se que para efetivar uma avaliação da técnica da Biologia Sintética faz-se necessário aprofundar o conhecimento desta tecnologia. Para isto precisamos aproximar-nos do elemento central da pesquisa em biologia sintética, o DNA.

1.1- DESCOBERTA DO DNA

Em 25 de abril de 1953, James Watson e Francis Crick publicaram na *Revista Nature* a estrutura de dupla hélice (WATSON & CRICK, 1953, p.737) da molécula do DNA (MICKLOS et al, 2005, p. 4), e esta descoberta foi a base para o início da era da biotecnologia (WILKIE, 1994, p.14). Se podemos considerar a descoberta da dupla hélice como o pontapé para a biotecnologia, podemos entender então, como sendo a sua pré-história, as experiências do monge Gregor Mendel em 1856 com o cruzamento de ervilhas que indicou os processos de hereditariedade. (WATSON et al, 2009, p.4).

Alguns anos depois dos experimentos de Mendel (1869), o bioquímico suíço Johann Friederich Miescher, descobriu um elemento nas células de pus que denominou “nucleína” e mais tarde (década de 1870) estudando a “nucleína” no

espermatozoide do salmão, concluiu que poderia ser a causa da fertilização (WILMUT, et al, 2000, p.48).

No entanto a maioria dos biólogos até o século XX acreditavam que os fatores hereditários não poderiam ser constituídos do DNA, em decorrência do entendimento que o processo químico do DNA era muito simples e sem variação, sendo que a capacidade de armazenar e transmitir características hereditárias são extremamente complexas e variáveis. Na época, a proteína era a candidata mais evidente para expressar a genética. Isto perdurou até a década de 1940 em que Oswald Avery e outros colegas pesquisadores demonstraram que, de fato, o DNA é o responsável pela transferência do material genético, fato este corroborado também na mesma época pelo bioquímico escocês Alexander Tood (WILMUT, et al, 2000, p.48).

O DNA é uma molécula longa que se encontra nas células de todas as formas de vida, desde bactérias até os seres humanos. A molécula de DNA contém o código da informação genética - os genes - ou seja compõe as instruções genéticas para o desenvolvimento e funcionamento de qualquer forma de vida. Essas informações são responsáveis pelo comando da atividade das células e pelas características hereditárias, isto é, as que passam de uma geração para a outra.

O gene é a estrutura da célula que contém e transmite a informação genética, portanto é o responsável pelo patrimônio hereditário ou genético. É importante destacar que o gene é uma unidade funcional e em geral corresponde a um “pedaço de DNA”. O DNA é o elo de ligação entre todos os seres vivos. Cada espécie possui o seu número específico de cromossomos. Cromossomos é a estrutura da célula onde estão os genes. Cada cromossomo é formado por uma única molécula de DNA (ácido desoxirribonucléico). Assim é que a espécie humana possui em cada célula somática (do corpo) 23 pares de cromossomos. A célula da procriação – gameta -, masculina ou feminina, possui apenas 23 cromossomos. No ato da fecundação forma-se uma nova célula, totalizando 23 pares de cromossomos (OLIVEIRA, 2005, p.143).

Podemos, de forma didática, descrever o DNA como duas fitas paralelas em forma de dupla espiral. Em todos os seres vivos, estas “fitas” são formadas por uma sequência de 4 bases, a adenina, a timina, a citosina e a guanina, representadas pelas suas letras iniciais: A, T, C e G. Elas se arranjam em pares – a adenina faz par com a timina (A-T) e a citosina faz par com a guanina (C-G). As combinações destas

4 bases aminadas é que formam o DNA de todo os seres vivos (WILKIE,1994, p. 14). Foi esta estrutura que Watson, Crick e Franklin descreveram pela primeira vez em 1953.

A estrutura do DNA proposta por Watson e Crick apresenta duas cadeias de fosfato-desoxirribose em hélice, no exterior, unidas por duas bases aminadas, no centro (Fig. 1). As cadeias formam uma hélice similar a uma escada de caracol, e as bases seriam os degraus.

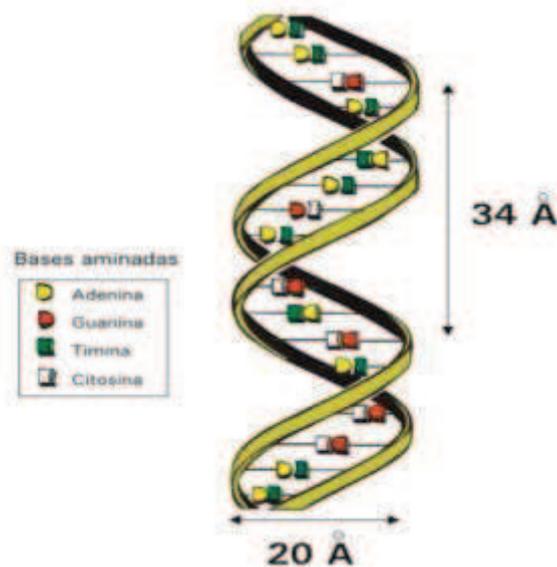


Figura 1 – Dupla Hélice DNA ¹

O código genético de um ser vivo é determinado pela ordem, ou sequência, de pares de bases ao longo das fitas paralelas. A espessura do DNA é medida em nanômetros², enquanto o comprimento pode alcançar até alguns metros. O DNA coordena a sua própria síntese (sua duplicação), assim como a fabricação de outros componentes das células, principalmente as proteínas. Durante muitas décadas, o enfoque foi conseguir ler e decifrar o código genético de organismos vivos.

A função de transmitir as instruções do DNA para a célula é do RNA, conforme demonstração:

¹Figura obtida de http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do44.pdf pg 5

² Um nanômetro é equivalente a 0,000 000 001m. Fonte: www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002050.pdf



De forma resumida o DNA é responsável por informar à célula suas funções, através da geração de proteína. O DNA no núcleo da célula utiliza-se do mRNA (RNA mensageiro) para enviar a informação para a célula. Dois processos estão envolvidos neste evento: a transcrição e a tradução. Atualmente sabe-se que este modelo não é assim tão simples e envolve muitas interações moleculares e tampouco age em apenas uma direção.

O descobrimento da estrutura do DNA e suas funcionalidades abriu a possibilidade de forma extraordinária a novos campos da ciência e de suas aplicações. Uma das mais importantes descobertas para engenharia genética, foi o desenvolvimento da técnica de DNA Recombinante, que trouxe também várias questões éticas que não puderam ser respondidas facilmente. Foi a primeira vez na história que os pesquisadores impuseram uma moratória, após se depararem com as possibilidades desta nova técnica, para refletir e compreender as consequências que esta tecnologia poderia acarretar e qual a melhor forma de lidar com ela.

1.2 - DNA RECOMBINANTE

O DNA Recombinante é uma técnica que permite, através de enzimas de restrição³ “cortar” pedaços de um determinado DNA, isolando partes funcionais que

³ Enzimas de restrição, ou endonucleases, são produzidas em algumas bactérias com a finalidade de protegê-las contra a infecção viral. Quando um vírus injeta sua molécula de DNA na bactéria, ela reconhece esse DNA como estranho e destrói esta molécula utilizando as enzimas de restrição para cortá-la em inúmeros fragmentos. Esta enzima tem a propriedade de cortar a dupla hélice do DNA de forma muito precisa. Com a descoberta desta enzima em 1970, os cientistas tinham em mãos verdadeiras tesouras químicas capazes de cortar o DNA de modo previsível. (...) Atualmente conhecemos aproximadamente 900 enzimas de restrição, cada uma delas agindo em uma sequência específica do DNA. (...) Como cada enzima corta a dupla hélice de DNA, (...) metade das pontas dos fragmentos recém cortado apresenta sequências complementares à outra metade das pontas. Isso significa que a “cauda” de cada segmento de DNA é capaz de se religar, não somente ao fragmento ao qual estava ligada anteriormente, mas também a qualquer outro fragmento que lhe seja complementar, criando novas combinações na sequência da molécula de DNA. Além disso, moléculas de DNA de espécies diferentes, cortadas com a mesma enzima, apresentam a mesma probabilidade de se ligar nas extremidades que os fragmentos complementares da mesma espécie- (FARAH, 2007, p. 59-62).

podem ser “coladas”, isto é, inseridas em outro DNA, agregando uma nova, ou determinada função para aquele organismo (KLUG et al, 2010, p. 323) utilizando para isso enzimas ligases que efetuam uma função contrária das enzimas de restrição : as ligases atuam reparando as “quebras” do DNA, que podem ser “copiadas” várias vezes *in vitro*, através de uma técnica conhecida como PCR (*Polymerase Chain Reaction*, ou Reação em cadeia da polimerase)⁴. O descobrimento da funcionalidade das enzimas de restrição, tornou-se uma das ferramentas mais poderosas para a biotecnologia (MICKLOS et al, 2003, p. 108).

O Desenvolvimento da técnica do DNA Recombinante possibilitou a manipulação diretamente do DNA facilitando estudos mais detalhados de funcionalidades específicas do código genético, bem como a condição de criar formas de DNA que não se encontram na natureza. A aplicação da técnica de DNA Recombinante deu origem aos produtos OGM's (Organismos Geneticamente Modificados), os transgênicos, conforme PINHEIRO:

Plantas transgênicas são todas as que sofreram um processo de modificação em seus genomas por meio da tecnologia do DNA recombinante (engenharia genética). As modificações genéticas específicas de uma planta transgênica são resultantes de manipulações ex-vivo no DNA e posterior integração desse DNA no genoma vegetal. Essas modificações não aconteceriam sob condições naturais de cruzamentos ou recombinação. As plantas obtidas por esse tipo de manipulação são chamadas “organismos geneticamente modificados” (OGM's) (PINHEIRO, 2000, p 465-79).

A técnica de modificação não se limita a plantas, mas também pode ser utilizada em uma variedade de animais, desde os utilizados para experimentos científicos quanto para comercialização.

⁴ Esta técnica foi desenvolvida por Kary Mullis em 1983 e veio revolucionar a genética molecular. Atualmente a PCR é utilizada na clonagem de DNA, sequenciamento de DNA, diagnóstico de doenças hereditárias, etc. O método baseia-se num ciclo térmico em que o aumento e baixa de temperatura provocam a reação de desnaturação do DNA e replicação do DNA por ação enzimática. Foi na década de 80 que a PCR foi concebida pelo pesquisador Kary Mullis. Sua pesquisa foi apresentada pela primeira vez na Conferência da Sociedade Americana de Genética humana em 1985, seguido pela publicação na revista científica Science em 1988 e em 1993 Mullis recebe o Prêmio Nobel de Química. Nesta ocasião, a PCR foi apresentada ao mundo como uma forma rápida e eficiente de replicar fragmentos específicos de DNA, pois como a clonagem, era capaz de amplificar DNA, porém com a vantagem de requerer muito menos tempo e esforço para isto. Esta técnica revolucionou o mundo científico e teve um grande impacto em quatro principais áreas da biotecnologia: no mapeamento genético (com o uso dos marcadores moleculares), na clonagem, no sequenciamento do DNA e no diagnóstico genético, (diagnóstico de doenças, teste de paternidade, fingerprinting) (BITTENCOURT et al., 2008, p. 41-45).

O desenvolvimento da técnica do DNA Recombinante, apresentou-se desde o início como uma inovação com grandes possibilidades, tais como a produção de alimentos mais resistentes, maior abundância nas colheitas, produtos farmacêuticos mais baratos e eficazes. No entanto, tais possibilidades trouxeram também uma grande preocupação na comunidade acadêmica com relação aos potenciais usos e riscos desta tecnologia, a possibilidade do desencadeamento de um desequilíbrio ecológico, o desenvolvimento de novas armas e epidemias (GROBSTEIN, 1977, p. 22).

Em julho de 1974, foi publicado na *Revista Science* uma carta, assinada por vários pesquisadores em DNA Recombinante, sugerindo o levantamento de moratória nos experimentos com a nova técnica até que houvesse uma avaliação mais detalhada com relação aos riscos envolvidos. Em fevereiro de 1975 mais de 100 biólogos moleculares reuniram-se no *Asilomar Conference Center* para debaterem o futuro da técnica do DNA Recombinante e avaliar quais restrições deveriam ser feitas. (WATSON et al, 2009, p.80 - 81). O resultado da conferência foi a liberação das pesquisas, com uma série de recomendações visando o cuidado na manipulação da técnica e indicando as restrições que deveriam ser observadas nas pesquisas.

1.3- BIOLOGIA SINTÉTICA

A Biologia Sintética é uma ciência interdisciplinar, com uma gama de possibilidades, e pode impactar vários setores da sociedade, tanto no âmbito das pesquisas puras como em setores produtivos que podem se valer de suas descobertas para desenvolvimento de novos produtos.

Segundo o relatório sobre biologia sintética do Conselho Consultivo das Academias Europeias de Ciências (EASAC):

A biologia sintética consiste na aplicação dos princípios de engenharia à biologia. Tal aplicação, pode envolver o redesenho de um ser vivo de tal modo que produza qualquer coisa – por exemplo fabricar uma substância particular – que não seja produzida naturalmente. Ainda mais ambiciosas são as tentativas de produção de seres vivos completamente novos, ou seja, de

criar vida a partir de materiais não vivos, em vez de redesenhar apenas seres vivos (2011, p.3)

Assim a biologia sintética tem como finalidade, a partir da técnica desenvolvida do DNA Recombinante, aliadas à engenharia, sistemas de informação e à química orgânica, criar organismos, que podem ser totalmente remodelados, podendo chegar a criar organismos novos que não existem na natureza.

Como esclarece BARAK (2010, p.183)

(...)uma das expressões de efeito mais badaladas do momento é “biologia sintética, ”, uma linha de pesquisa que tenta produzir, por reengenharia, formas de vida a partir de seus blocos de construção mais simples.

Tradicionalmente, trata-se em essência de uma maneira de entender como funciona a vida existente, mas à medida que as técnicas de síntese e sequenciamento de DNA se tornam mais rápidas e baratas, os engenheiros passaram a pensar em linhas mais radicais. Em vez de utilizarem genes de ocorrência natural, estão falando em construir módulos pequenos, padronizados e funcionais de informação biológica e encaixá-los em redes, como os componentes eletrônicos de um chip de computador. Os engenheiros não são adeptos à contemplação prolongada – eles já arregaçaram as mangas e começaram a produzir “biotijolos” que encaixaram para produzir o primeiro “software” biológico do mundo.

Coaduna com esta definição a apresentada por Gibbs na matéria Vida Sintética da revista *Scientific American Brasil*:

Este campo científico embrionário tem três objetivos principais: um, aprender sobre a vida através da sua construção, em vez da sua destruição. Dois, fazer com que a engenharia genética faça jus ao nome – uma disciplina que se desenvolva constantemente pela padronização de suas criações e sua recombinação para produzir novos e mais sofisticados sistemas. E três, expandir os limites de seres vivos e máquinas até que ambos se unam para produzir organismos realmente programáveis(...) (GIBBS, 2004, p. 65).

Um dos acontecimentos que marcaram a biologia sintética foi a criação em 2010 pela equipe liderada pelo pesquisador Craig Venter em seu laboratório de unidades básicas do DNA, de forma sintética do DNA da bactéria *Mycoplasma mycoides* que teve algumas partes alteradas e introduzir esse material sintético numa outra célula receptora de espécie diferente (*Mycoplasma capricolum*), que conseguiu se reproduzir da forma natural (GIBSON et all, 2010).

Conforme consta no relatório da *Comissão de Bioética da Casa Branca*⁵,

O desenvolvimento da tecnologia de síntese de DNA permitiu aos cientistas construir genes inteiros, e, eventualmente, o genoma completo de um microrganismo usando somente métodos sintéticos. Ao sintetizar um genoma completo de uma bactéria e transferi-lo para uma outra célula, da qual foi extraída seu genoma, pesquisadores do Instituto Venter criaram uma célula bacteriana auto-replicante com DNA inteiramente construída quimicamente (CASA BRANCA, 2010, p.41)

A linguagem altamente técnica da Biologia Sintética remete a uma visão mecanicista dos processos biológicos em que ela aborda suas experiências e descobertas. Existe na pesquisa em biologia sintética uma clara junção da linguagem e técnica da engenharia e da tecnologia da informação, que em conjunto propõe um olhar sistêmico, tratando o DNA como um sistema de informação que pode ser remodelado, e/ou criado sinteticamente.

Da mesma forma com que se programa, um *software*, pela lógica da Biologia Sintética pode se programar organismos ou criar organismos sintéticos com uma nova programação.

O século XX assiste a um desenvolvimento extraordinário da ciência e da tecnologia (eletrônica, informática). Da convergência entre ambas resultam logros extraordinários em vários setores produtivos, onde os seres vivos constituem a base de itens tão diversos como a produção de variedades vegetais mais produtivas, a fabricação de novos alimentos, o tratamento do lixo, a produção de enzimas e os antibióticos (MALAJOVICH, 2012, p.1)

A analogia com sistemas de informação e sistemas de circuitos é tão grande que já está em desenvolvimento uma linguagem própria para a demonstração e “programação” através da biologia sintética o *SBOL - The Synthetic Biology Open Language* (GALDZICKI et al., 2014 p.1) criando uma simbologia própria.

Assim a biologia sintética pode ser entendida como uma “engenharia genética extrema” (CTA, S/D, p.1) possibilitando re-projetar organismos já existentes ou até a criação de organismos com DNA novo, que não são encontrados na natureza. Atualmente existem bancos de dados de sequenciamento de DNA e de

⁵ As traduções dos documentos citados neste trabalho foram realizadas pelo autor.

RNA sintéticos onde se pode incluir e consultar partes de seqüências de DNA, possibilitando o intercâmbio dos sequenciamentos e das experiências. Estas partes de sequenciamento podem ser comparadas com “tijolos”, ou seja, para “construir” um novo organismo basta substituir alguns dos seus “tijolos”.

Conforme afirma SCHNEIDER (2007, p1)

A seqüência de DNA de um BioBrick e outras características são armazenadas no MIT, em um banco acessível pela Internet, sem custos para os interessados, denominado Registry of Standard Biological Parts. Não estão disponíveis os componentes físicos, materiais, mas sim a descrição bioquímica dos genes. Esse banco de dados aceita contribuições na forma de novos desenhos e melhoramentos nos genes disponíveis, e conta com mais de 60 universidades participantes até o momento.

A figura abaixo demonstra de forma simplificada, mas clara, o processo empregado na biologia sintética.

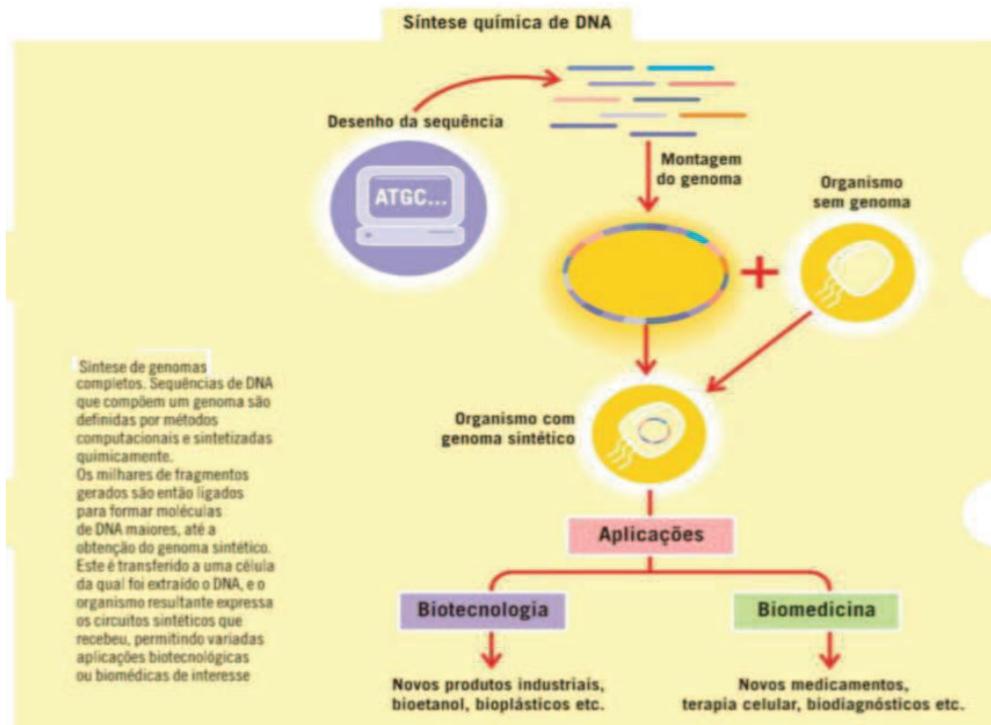


Figura 2 – Síntese Química do DNA⁶

Desta forma a biologia sintética se diferencia da bioengenharia, apesar de próxima conceitualmente, porém distante na sua radicalidade. Enquanto a bioengenharia trabalha na concepção e geração de novas vias metabólicas e de sua

⁶ Imagem retirada da Revista Ciência Hoje, nr. 315, volume 53, Junho 2014, pg 34

regulação, a biologia sintética tem seu foco na criação de organismos com genoma quimicamente alterados, conforme parecer em conjunto do *Conselho Nacional de Ética de Portugal e Comité de Bioética da Espanha*:

(...) Na abordagem da biologia molecular não natural (artificial), o objetivo é o de sintetizar “novas formas de vida”, por exemplo, novos tipos de ácidos nucleicos ou um código genético diferente. No referido trabalho publicado na Science (2010) o genoma da bactéria não foi apenas modificado, por adição de um gene (o que já se faz há muito, no caso do *colibacilo* produtor de insulina humana), mas inteiramente substituído por outro genoma sintético - o que é radicalmente novo; assim, o DNA inoculado não era o de outra bactéria, antes tinha sido obtido por construção, a partir da junção deliberada e ordenada de blocos sequenciais, que foram, por assim dizer, encaixados uns nos outros (PORTUGAL/ESPANHA, 2011, p.11)

Podemos perceber pelo relato acima o salto que a biologia sintética possibilita, a biotecnologia não fica limitada a combinação de DNA's existentes na natureza, mas abre-se todo um novo arsenal de possibilidades, organismos engenheirados por computador (código genético desenhado no computador) que posteriormente possam ser incluídos em outro organismo, do qual pode-se retirar o DNA original e substituir pelo criado sinteticamente.

Com a biologia sintética as possibilidades do DNA Recombinante foram extrapoladas, não ficamos mais restritos a já singular combinação entre DNA's encontrados na natureza, mas podemos criar formatos e ampliar as opções. Com a biologia sintética, talvez nem o céu seja o limite. O ser humano entra em uma nova fase, de *homo faber*, para *homo creator*

O homem não é mais apenas a medida de todas as coisas, mas agora também o doador ontológico dos seres vivos.

1.4 - APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E RISCOS

A técnica do DNA Recombinante foi uma descoberta que possibilitou um avanço significativo na biotecnologia abrindo novas fronteiras que antes não se imaginava. A Biologia Sintética representa uma ampliação exponencial das possibilidades que o DNA Recombinante apresentou, mas também, apresenta riscos significativos. Faz-se necessário uma avaliação das promessas e dos riscos que

está nova técnica pode apresentar para que se possa avaliar melhor de que forma devemos lidar com ela.

1.4.1 – Aplicações e Benefícios

A biologia sintética apresenta uma grande gama de aplicações e possibilidades, muitas que já são antevistas e outras que podem aparecer com o desenvolvimento da técnica e das pesquisas. Percebe-se uma clara aplicabilidade de organismos sintéticos nos setores de energia, com o desenvolvimento de microrganismos desenhados para produzir hidrogênio e outros combustíveis ou até realizar fotossíntese de forma artificial, produção a granel para a indústria química de vários elementos de química fina, incluindo proteínas, que podem ser uma alternativa às fibras naturais ou às produzidas de forma sintética com a tecnologia atual. Para a medicina, o relatório do comitê de bioética da Casa Branca, aponta a possibilidade de produção de novos tipos de medicamentos, vacinas e agentes de diagnóstico e a produção de novos tecidos, para a agricultura entre outras aplicações a possibilidade da criação de novos aditivos alimentares (CASA BRANCA, 2010, p. 55).

Apesar das pesquisas estarem ainda no início já apontam para desenvolvimentos que confirmam as expectativas. Em março de 2014 foi criado por um grupo de estudantes da *John Hopkins University*, um cromossomo de levedura sintético a partir do zero, isto é, todo o cromossoma é sintético. Esta foi a primeira vez que foi sintetizado o cromossoma de um organismo complexo (BIELLO, 2013, p.24).

As promessas desta nova tecnologia são enormes e grandes conglomerados industriais demonstram o interesse, tanto no desenvolvimento das pesquisas quanto do patenteamento das mesmas e produção em grandes escalas. A declaração da *Interacademy Partnership - IAP* para a biologia sintética afirma que muitos cientistas acreditam que esta técnica, utilizando os princípios da biologia de sistemas, da engenharia e do “design” químico levará a novas aplicações de valor para a sociedade:

A prova de conceito foi demonstrada com a criação de formas menos dispendiosas na produção de moléculas para o setor farmacêutico e outros produtos químicos de alto valor, havendo a probabilidade de outros desenvolvimentos, relativos à geração e à utilização otimizadas de biocombustíveis. Mais adiante, há possíveis aplicações desse ferramental biológico em biomedicina, agricultura, descontaminação da terra e da água, bio-sensoriamento, novos materiais, nano-máquinas e novas abordagens para o processamento de informação (IAP, S/D, p.1).⁷

As aplicações para a biologia sintética são tantas e ainda muito especulativas que parecem beirar a ficção científica. A *Royal Academy of Engineering*, no relatório *report Synthetic Biology: scope, applications and implications* fez algumas previsões especulativas para a Biologia Sintética, para os próximos 10 a 25 anos: [1] Biocombustíveis mais avançados podem ser desenvolvidos através de novos processos de biologia sintética, com produção em grandes quantidades (refinação). Já se pensa como incorporar esta nova fonte de produção de combustíveis à cadeia de abastecimento atual, tanto quanto possível, a fim de capitalizar a infraestrutura existente. [2] A redução dos níveis de CO₂ mediante o desenvolvimento da tecnologia de folha artificial que produziria uma versão sintética do processo fotossintético. [3] Técnicas de biologia sintética serão usadas para projetar novos tipos de pesticidas mais amigáveis ao meio ambiente. [4] O início do desenvolvimento de bases biológicas leves e de materiais muito resistentes, que terá aplicação direta na indústria aeronáutica e automotivas. [5]. Possível desenvolvimento de memórias de base biológica (o equivalente direto à memória de computador). Vencida esta etapa, pode ser alcançado a produção de microprocessadores de diferentes tipos de base biológica. Como seu análogo eletrônico, eles vão começar a executar funções de controle aplicáveis aos sistemas vivos. E em torno de 25 anos teremos biossensores que residam permanentemente no corpo para detectar um determinado tipo de anormalidade, por exemplo doença arterial. No exemplo da doença arterial, o biossensor fará parte de uma máquina de engenharia por meio da biologia sintética, que, em seguida, fabrica ou lança a 'droga' para dispersar a placa arterial (ROYAL ACADEMY, 2009, p. 7-8).

⁷ <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=24049>

Estas são apenas algumas das várias possibilidades que a projeção para o desenvolvimento da biologia sintética promete. Atualmente percebemos que muitas das promessas da ciência, que há alguns anos atrás pareciam ficção científica tornaram-se realidade, desta forma também podemos esperar que muitos dos produtos e desenvolvimentos que os pesquisadores preveem para a biologia sintética tem grande potencial de tornarem-se reais.

1.4.2 - Riscos

O potencial econômico e social da biologia sintética é de fato muito significativo, porém este é um lado da moeda. Os próprios comitês de bioética, tanto dos USA, quanto o da Espanha e Portugal salientam que existem riscos ao se trabalhar com o desenvolvimento desta técnica. Assim como há riscos ao se trabalhar com o DNA Recombinante, o risco não desaparece com o tempo, o que pode acontecer é uma correta avaliação e dimensão no entendimento do grau de segurança em que se deve realizar as pesquisas e na industrialização de novos produtos com base nesta tecnologia. O princípio da precaução e da responsabilidade ensinam que não devemos nos aventurar naquilo em que a dúvida ou que os entendimentos das consequências destas pesquisas não estiverem sanados ou controlados. Assim como não podemos simplesmente descartar as promessas que os pesquisadores fazem com relação à biologia sintética, mesmo que por vezes parecem impraticáveis, também as preocupações e alertas da comunidade relacionadas ao risco não podem ser ignoradas com a resposta de que tal evento seja impossível de ocorrer. As perguntas relacionadas ao risco devem ter uma resposta muito mais segura e técnica do que as promessas de benefícios, se estas não ocorrerem teremos apenas a frustração, porém se algum dos riscos que possam ser apontados vierem a se materializar podemos ter um problema de impacto ecológico e social significativo.

O *Comitê de bioética de Portugal e Espanha* elencam algumas observações relacionadas ao risco desta inovadora tecnologia. O principal apontado é o risco para a segurança dos seres vivos e dos ecossistemas. Ao se manipular seres vivos e adapta-los com DNA Sintético, seja em parte, seja completo, estará trabalhando com

uma forma de vida que não haveria similaridade na natureza para avaliarmos suas interações. Isto, no entanto, provoca dúvidas de como este ser poderá interagir com o meio ambiente, além da possibilidade sempre presente do uso dual da técnica, como a produção de armas biológicas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.16). O relatório apresenta o princípio da precaução como um ponto fundamental a ser observado nas pesquisas, citando Hans Jonas em que, se tratando da incerteza propõe uma regra fundamental “*in dubio pro malo*”, isto é, em caso de dúvida assentar o pior prognóstico, salientando que as apostas nestas áreas do conhecimento podem ser extremamente arriscadas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.17). O parecer do *Comitê Casa da Branca* constata que, apesar dos vários benefícios que o desenvolvimento da biologia sintética apresenta, há uma série de riscos envolvidos em maior ou menor grau, e constata que deve se dar uma atenção especial, tanto às limitações que os pesquisadores podem encontrar como a riscos previstos ao seu desenvolvimento ou danos inerentes à pesquisa atual. Eventuais contaminações ocorridas em decorrência de liberação acidental de organismos desenvolvidos através da biologia sintética constam como o principal risco atual no estágio em que a técnica se encontra. O relatório salienta que, ao contrário de produtos químicos produzidos sinteticamente, que geralmente tem qualidades e funções bem definidas e previsíveis, os organismos biológicos podem ser mais difíceis de controlar. Eventuais acidentes ou liberações não devidamente gerenciadas podem levar a cruzamentos com outros organismos, a proliferações descontroladas, e ameaças à própria biodiversidade (CASA BRANCA, 2010, p. 62).

O relatório cita um exemplo didático de um eventual acidente em sistema de produção de biocombustíveis, que emprega algas modificadas através da biologia sintética, para a geração deste biocombustível. No caso de uma liberação não desejada deste organismo através de vazamentos nos tanques em que são processadas, este organismo derivado da biologia sintética pode se espalhar para cursos de água naturais, se multiplicar, inibindo outras espécies e se impor no ecossistema natural com consequências negativas para o meio ambiente (CASA BRANCA, 2010, p. 63). Apesar deste cenário ser teórico, o relatório estimula a considerá-lo e desenvolver precauções adequadas, e salienta que uma das vantagens da biologia sintética é que muitas das ferramentas que serão

desenvolvidas incluem em seu escopo estratégias para remediar estes riscos. Cita como uma das abordagens a engenharia de genes "*Terminator*" (gene de suicídio) que pode ser introduzido no organismo impedindo que se reproduzam ou sobrevivam fora de laboratórios ou em outro ambiente controlado em decorrência de condições químicas únicas, que não encontrariam no ambiente natural (CASA BRANCA, 2010, p. 63).

Outra crítica que se faz ao uso da biologia sintética está em uma de suas mais esperadas utilizações, que é no setor de energia. Existe a possibilidade de um uso significativo de recursos naturais para a produção de biomassa para matéria prima de combustíveis. Silvia Ribeiro afirma que visto desta forma existe ainda o risco de toda a natureza, o próprio ecossistema e os seres vivos em geral possam vir a ser categorizados como "biomassa", ou seja uma matéria prima universal que se pode processar através da biologia sintética, aumentando de forma exponencial a exploração da biomassa planetária (2013, p. 52). O relatório da Casa Branca também faz esta advertência salientando que havendo grandes áreas dedicadas a produção de biocombustíveis poderia haver potenciais pressões na terra, potencialmente afetando à produção de alimentos, comunidades e ecossistemas atuais (CASA BRANCA, 2010, p. 63), e acrescenta que "muitos antecipam que os potenciais ganhos de eficiência e redução na dependência de combustíveis fósseis oferecidos pela produção de energia usando a biologia sintética compensaria os riscos antecipados para o ecossistema ambiental, tal como existe hoje. Mas ainda permanece considerável incerteza."

Segundo Ribeiro:

De acordo com cálculos da utilização de sustentabilidade da biomassa da Global Ecological Footprint Network (GFN), a partir da década de 1990 está se explorando os recursos renováveis do planeta em uma proporção maior do que a sua capacidade de renovação, de modo que mesmo antes de esta nova revolução tecnológica e sua velocidade ao se apropriar de biomassa industrial, já havia um sério problema. De acordo com o GFN, em 1993, atingiu-se o limite de consumo de recursos naturais do planeta a não exceder a renovação anual no dia 21 de outubro. Em 2003, isso aconteceu em 22 de setembro. E em 2013, em 20 de agosto. Embora a GFN reconhece um intervalo de variação em suas estimativas, é evidente que o uso industrial de biomassa supera a capacidade natural de recuperação a cada ano (2013, p.53).

Ao avaliarmos a questão da utilização de biomassa para a geração de energia podemos observar a experiência do etanol, em que grandes áreas são destinadas à plantação de cana-de-açúcar para este fim. No caso de haver redução de combustíveis fósseis a área de produção de biomassa para energia tende a aumentar. Além dos riscos ecológicos, o relatório do Comitê de Bioética da Casa Branca, levanta também riscos à saúde humana pela liberação de organismos projetados através da biologia sintética. Segundo o relatório de doenças infecciosas podem ocorrer em decorrência de acidentes em laboratório ou liberação indevida no meio ambiente (CASA BRANCA, 2010, p.67). O relatório ainda afirma que, novos organismos desenvolvidos com a biologia sintética visando o tratamento de doenças podem desencadear efeitos adversos imprevistos em pacientes que se submeteram ao tratamento, sendo que “a utilização de terapias com células de infecções bacterianas, ou potencialmente, de origem microbiana mista pode causar infecções ou respostas imunes inesperadas” (CASA BRANCA, 2010, p.67).

Salienta-se ainda que estes organismos desenvolvidos podem representar riscos incomuns e sem precedentes tendo em vista que o potencial destes, de se reproduzir e evoluir não estão bem estabelecidos e conclui afirmando que, “são necessários dados adicionais para garantir que as modificações biológicas, tais como *"interruptores kill"* que se ativam após um número definido de gerações, vão funcionar” (CASA BRANCA, 2010, p.67,68). Com relação à agricultura o relatório situa as preocupações com a segurança sendo semelhantes àquelas levantadas já sobre a própria engenharia genética. Dentre estes riscos estão incluídos os danos a seres humanos plantas ou animais que podem ser provenientes de fugas ambientais descontroladas, pragas novas ou resistentes de difícil controle, e aumento de resistência e crescimento de espécies invasoras, entre outras (CASA BRANCA, 2010, p. 70). Outro fator interessante levantado pelo relatório é relacionado à própria biodiversidade, a criação de novos organismos sintetizados pode aumentar ou diminuir a biodiversidade, avaliados pela tradicional forma de classificação da taxonomia. Este conceito torna-se importante nas discussões sobre políticas relativas ao uso e abuso potencial da terra e outros recursos naturais (CASA BRANCA, 2010, p. 71).

Por fim existe a preocupação com a biossegurança de forma geral. Neste quesito o relatório por um lado afirma que há uma atenção grande por parte da sociedade para com os riscos relacionados à biossegurança e do duplo uso das tecnologias emergentes, porém a biologia sintética pode desenvolver técnicas que aumentem a biossegurança permitindo que os pesquisadores possam identificar agentes biológicos perigosos, desenvolvidos sintética ou semi-sinteticamente. Cita que de forma semelhante como foi realizado no *Instituto J. Craig Venter* pode-se “marcar” a bactéria que foi sintetizada com informações rastreáveis no código genético (CASA BRANCA, 2010, p.71). Aliada a esta medida outras como os “genes suicidas” ou tecnologias que inibam o crescimento ou sobrevivência do organismo fora do ambiente de contenção podem ser meios eficazes para combater as ameaças de biossegurança. Apesar de tais perspectivas, persistem as incertezas de que estas estratégias sejam de fato eficientes. O relatório afirma textualmente que “preocupações sobre a dupla utilização ou uso intencionalmente indevido da biologia sintética para fazer danos estão entre as críticas mais proeminentes desta tecnologia emergente”. O risco de que a técnica da biologia sintética possa ser utilizada em mãos erradas, é real, podendo ser usada para criar organismos prejudiciais visando o bioterrorismo. O relatório cita como exemplo recente a reconstrução de vírus usando a técnica de DNA recombinante, tais como o vírus da poliomielite infecciosa, o genoma micoplasma e a cepa 1918 do vírus influenza. Porém o relatório salienta que apenas a manipulação do DNA não é suficiente para a geração de um vírus com funcionamento como entidade biológica:

Apesar da relativa facilidade de acesso a sequências de DNA conhecidas através de bases de dados públicas como GenBank (uma coleção anotada de sequências genéticas disponíveis publicamente), e bases de dados equivalentes em todo o mundo, a maioria dos especialistas na comunidade científica concorda que o mero conhecimento de um genoma viral está longe de ser suficiente para reconstitui-lo ou criar um patógeno de formação da doença. Em vez disso, é preciso ter um hospedeiro e condições apropriadas para que o vírus cresça. Poucos indivíduos ou grupos hoje têm os meios financeiros ou as habilidades técnicas para alcançar tais fins, mesmo quando cientificamente viáveis. Com muitos desafios técnicos a frente, a biologia sintética, ainda não é capaz de criar organismos biológicos funcionais apenas a partir de material gnômico sintetizado (CASA BRANCA, 2010, p.72).

Apesar de medidas de contenção e segurança já estejam sendo pensadas em paralelo ao desenvolvimento da técnica da biologia sintética, não podemos deixar de olhar com preocupação os riscos envolvidos no seu desenvolvimento, se por um lado as perspectivas de avanço nas áreas de bem-estar social, combustíveis, saúde e alimentação apresentam um cenário animador, por outro existem ainda muitas questões que não estão completamente claras e bem definidas com relação aos riscos que acompanham as mesmas. A possibilidade do uso em bioterrorismo não pode ser minimizada, há diversos grupos radicais com recursos financeiros suficientes para financiar sofisticados laboratórios para o desenvolvimento de armas biológicas. Podemos observar cada vez mais a popularização, no meio acadêmico da biologia, a biologia sintética, inclusive em torneios de construção de organismos, onde alunos de nível escolar participam. Desta forma a biossegurança deve ser maior quanto mais acessível e completo for o desenvolvimento da biologia sintética.

2- PARERECES INTERNACIONAIS E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Desde o desenvolvimento técnica do DNA Recombinante os cientistas perceberam que o uso indevido, bem como os riscos inerentes a estas novas tecnologias podem ser significativamente altos para a vida. Desta forma é necessário avaliarmos o que se discutiu sobre a da técnica do DNA Recombinante, na Conferência de Asilomar e como comitês de bioética (o da Casa Branca e o comitê conjunto de Portugal e Espanha) direcionaram as orientações com relação à pesquisa da Biologia Sintética atualmente. Ainda é importante avaliar como a legislação brasileira se posicionou com relação ao DNA Recombinante e a Biologia Sintética.

O objetivo deste capítulo é explorar estes pareceres, através do aprofundamento de seus principais conceitos, com o intuito de avaliar tanto sua aplicabilidade quanto a existência de fragilidades conceituais. A partir desta avaliação poder-se-á, no final deste trabalho, apresentar sugestões para complementar os princípios apresentados nos relatórios de forma a realizar uma síntese dos conceitos éticos normativos que constam nos documentos estudados, bem como a inclusão de novos parâmetros que se perceba necessários.

2.1- CONFERÊNCIA DE ASILOMAR

A Conferência de Asilomar foi realizada em um clima de muitas expectativas. De forma geral os cientistas estavam receosos de que houvesse algum tipo de proibição no desenvolvimento das pesquisas com o DNA Recombinante. Como o próprio relatório da conferência afirma na sua introdução, o encontro foi realizado para rever o progresso das pesquisas em DNA recombinante, e, discutir as formas adequadas para lidar com os potenciais riscos biológicos deste trabalho.

Havia um grande interesse em se definir os procedimentos de segurança visando acabar com a moratória das pesquisas que havia sido proclamada. (BERG et al, 1975, p. 1981)

O relatório deixa transparecer que a conferência não chegou a uma conclusão efetiva com relação aos potenciais riscos que o desenvolvimento da pesquisa poderia trazer, alertando que na liberação das pesquisas deveria se tomar as precauções principalmente relacionados às barreiras físicas visando conter organismos criados (BERG et al, 1975, p.1981). Na sequência o relatório ainda deixa claro que algumas pesquisas não devem ser realizadas por apresentarem um alto grau de risco em decorrência das limitações das instalações de confinamento da época.

2.1.2- Princípios e Recomendações de Asilomar

O relatório fez algumas observações de forma geral e na época em que foi elaborado classificou os experimentos em 4 níveis de risco, para contenção e também em 4 tipos de experiências. Abaixo um resumo do conteúdo das recomendações:

[1] Risco mínimo. São experiências que podem ser claramente avaliadas, i.e, tem-se claramente o seu resultado com avaliação de risco extremamente baixo. Experimentos que geram novos biótipos, na qual as informações disponíveis indicam que o DNA recombinante não pode alterar sensivelmente o comportamento ecológico do destinatário, aumentar significativamente a sua patogenicidade ou desenvolver resistência a tratamentos. As recomendações são simples: não beber, comer ou fumar no laboratório, usar botas de laboratório na área de trabalho, o uso de pipetas de preferência mecânica e dispositivos de desinfecção (BERG et all, 1975, p.1982-1984).

[2] Baixo Risco. Nível de contenção para experimentos que geram novos biótipos, mas onde as informações disponíveis indicam que o DNA recombinante não pode alterar sensivelmente o seu comportamento ecológico, aumentar significativamente a sua patogenicidade, ou evitar o tratamento eficaz de infecções resultantes. As principais características de contenção para estes experimentos (além do mínimo procedimentos mencionados no item anterior (risco mínimo) são, a proibição de pipetagem com a boca, o acesso limitado ao pessoal de laboratório, uso

de cabines de segurança biológica para os procedimentos suscetíveis de produzir aerossóis.

[3] Risco moderado. Instalações neste nível de confinamento se destinam a experiências em que exista uma probabilidade de gerar um agente com um potencial significativo de patogenicidade ou perturbação ecológica. As principais características deste nível de contenção, para além das duas classes anteriores, são, que as operações de transferência devem ser realizadas em armários (câmaras) de segurança biológica. Luvas devem ser usadas durante a manipulação de materiais infecciosos, linhas de vácuo devem ser protegidas por meio de filtros, e deve ser mantida pressão negativa nos laboratórios de acesso limitado. Além disso, as experiências que representem um risco moderado devem ser feitas somente com vetores e hospedeiros que tenham sensível baixa capacidade para se multiplicar no exterior do laboratório.

[4] Alto Risco. Este nível de contenção destina-se a experimentos em que o potencial de destruição ecológica ou patogenicidade do organismo modificado pode ser grave e assim, representar um perigo biológico tanto para o pessoal do laboratório ou para o público. As principais características deste tipo de instalação, que foi concebido para conter agentes microbiológicos altamente infecciosos, são os de isolamento de outras áreas por bloqueios de ar, ambiente de pressão negativa, exigência para troca de roupa e chuveiros para entrar pessoal, laboratórios equipados com sistemas de tratamento de inativar ou remover agentes biológicos que podem ser contaminantes do ar, líquidos ou resíduos sólidos. Todas as pessoas que ocupam essas áreas devem usar roupas de proteção.

A manipulação de agentes deve limitar-se a cabines de segurança biológica em que a saída de ar é incinerada ou passada através de filtros Hepa⁸. Para a

⁸ O primeiro filtro HEPA foi desenvolvido no fim dos anos 1940, principalmente para aplicações militares em máscaras de gás e para proteção contra radionuclídeos na indústria nuclear. (...) Desde então os filtros HEPA e ULPA têm sido empregados no mundo todo. De modo particular entre os filtros, os HEPA e ULPA devem ser ensaiados individualmente e certificados. Estes ensaios ocorrem em fábrica (ensaios para a determinação da eficiência e detecção de vazamentos) e em campo (detecção de vazamentos em sistema filtrante instalado), comumente realizados nas indústrias farmacêuticas e nucleares.

http://www.sbcc.com.br/revistas_pdf/ed61/44-49ArtigoTecnico_norma_mundial.pdf

contenção de alto risco inclui-se, além das características físicas e processuais descritos acima, a utilização de vetores e hospedeiros rigorosamente testados cujo crescimento pode ser confinado em laboratório.

No relatório o item “Tipos de Experiência”, relaciona os tipos de experiências com os tipos de riscos e contenções, então por exemplo experiências de DNA recombinante com procariontes, bacteriófagos, e plasmídeos bacterianos podem ser realizados em instalações de risco mínimo pois entende-se que se conhece bem a forma de troca de informações genéticas. Desta forma o relatório indica os principais tipos de experiência e relaciona com seus riscos e indica o nível de segurança. No item 4 o relatório indica experiências que não devem ser realizadas, ou adiadas, salientando que há experiências viáveis que apresentam perigos graves e que o seu desenvolvimento não deve ser realizado naquele momento tendo em vista que os sistemas vetor-hospedeiro não estarem ainda avaliados e a incompatibilidade com nível presente de capacidade de contenção disponíveis. Estes incluem a clonagem do DNA recombinante derivadas de organismos altamente patogênicos (isto é, Classe III, agentes etiológicos IV, e V, (como classificado pelo Departamento de Saúde, Educação e Bem-estar dos Estados Unidos), DNA contendo genes de toxinas, e experiências em grande escala (mais de 10 litros de cultura) utilizando DNA recombinante que são capazes de fazer produtos potencialmente prejudiciais ao homem, animais ou plantas.

O relatório finaliza insistindo para que os cientistas usem o documento como um guia (BERG et al, 1975, p. 1983), e ainda faz algumas considerações finais que devem ser observadas e buscadas pelos pesquisadores: [1] Desenvolvimento de vetores e hospedeiros mais seguros: Uma realização importante e encorajadora da reunião foi a constatação de que bactérias especiais e vetores que têm uma capacidade limitada para multiplicar fora do laboratório pode ser construído geneticamente, e que o uso destes organismos poderiam melhorar a segurança do DNA recombinante. [2] Procedimentos laboratoriais: Com relação aos procedimentos laboratoriais fica clara responsabilidade do investigador principal que tem obrigação de informar o pessoal do laboratório dos perigos potenciais das experiências antes de serem iniciadas. O relatório enfatiza que é necessária ampla e aberta discussão de modo que cada participante individual do experimento compreenda

completamente a natureza do experimento e de qualquer risco de que possa estar envolvido. Todos os trabalhadores devem ser devidamente treinados nos procedimentos de contenção que são projetados para controlar o risco, incluindo ações de emergência em caso de perigo. Também é recomendado que se apropriem da vigilância em saúde de todo o pessoal, incluindo monitoramento sorológico a ser realizados periodicamente. [3] Educação e reavaliação: Os relatores entendem que a investigação na área de DNA Recombinante irá se desenvolver muito rapidamente, desta forma é necessário um acompanhamento constante.

(...). Portanto, é essencial proceder a uma reavaliação contínua dos problemas, à luz dos novos conhecimentos científicos. Isso poderia ser alcançado por uma série de workshops anuais e reuniões, algumas das quais devem estar no nível internacional. Também deve haver cursos para a formação de indivíduos em métodos relevantes, uma vez que é provável que o trabalho será levado por laboratórios que podem não ter uma vasta experiência nesta área. O relatório também aponta que deve ser dada "prioridade a pesquisa que poderia melhorar e avaliar a contenção e eficácia dos sistemas vetor-hospedeiro novos e existentes (BERG et al, 1975, p.1982-1984).

A disseminação da educação com relação aos procedimentos de segurança e da reflexão ética na pesquisa do DNA Recombinante, é bem salientado no relatório, e a periódica reavaliação de métodos, metodologias e conhecimentos é uma ferramenta que possibilitaria um maior controle sobre as pesquisas, pelos próprios cientistas, onde se pode rever as previsões e caminhos da pesquisa a luz de novos conhecimentos e técnicas.

As observações no item relativo a *Novos Conhecimentos* do relatório, fica claro que no estágio onde as pesquisas se encontram ainda há um desconhecimento relacionado a como as bactérias modificadas poderiam se portar no mundo exterior ao dos laboratórios, tanto com relação ao conhecimento sobre a sobrevivência das bactérias modificadas no mundo exterior quanto ao seu potencial de infectividade (BERG et al, 1975, p. 1984).

2.1.3- Avaliação da Conferência de Asilomar

A *Conferência de Asilomar* se mostrou desde o início extremamente polêmica, não apenas pelo assunto em si, já bastante instigante, mas pelas

implicações que poderiam decorrer dependendo de seus resultados. A Conferência foi um marco, primeiro por reunir um grupo significativo de cientistas, advogados, representantes do governo e a imprensa, segundo pelo fato dos cientistas estarem discutindo as possíveis implicações que suas pesquisas poderiam acarretar.

Em artigo avaliando a Conferência de Asilomar, Paul Berg afirma:

Alguns cientistas e funcionários públicos, estavam certos de que a pesquisa de DNA recombinante flertava com o desastre e que o levantamento da moratória foi um erro. Outros, refletindo, através da sua intuição e experiência, argumentavam que as células, os vírus e DNA's recombinantes não representava grande risco. A avaliação esmagadora hoje é que a última visão estava correta. Literalmente centenas de milhões de experimentos, muitos inconcebíveis em 1975, foram realizados nos últimos 30 anos sem incidentes. Nenhum perigo documentado para a saúde pública tem sido atribuído às aplicações da tecnologia de DNA recombinante. Além disso, a preocupação de alguns, de que a transferência de DNA entre as espécies violaria barreiras reprodutivas habituais e teriam efeitos profundos sobre processos evolutivos naturais tem substancialmente desaparecido (BERG, 2004, p.1).

É claro que opiniões divergentes ocorriam, mas os temas eram direcionados para a resposta de quatro macro questões: [1] Quais eram os benefícios que se ofereciam, de modo que o público se convencesse da “urgência” desse avanço sobre o futuro? [2] Deveriam as medidas de segurança se concentrar nos meios físicos de confinamento das bactérias dentro dos laboratórios, ou seria melhor recorrer a uma forma de segurança biológica? [3] Deveriam os cientistas fazer experimentos a fim de avaliarem o grau de risco futuro e a sua natureza e [4] até onde deveria ir o beneplácito nacional e internacional com essas medidas, e como seria obtido esse assentimento (GOODFIELD, 1994, p. 101). Em certa medida as orientações apresentadas deram conta destas questões:

Embora houvesse alguns dados em que basear uma decisão cientificamente defensável a conferência concluiu, não sem oposição aberta a partir de alguns de seus participantes mais notáveis, que a pesquisa de DNA recombinante deve prosseguir, mas sob diretrizes rígidas. Essas orientações foram posteriormente promulgadas pelos Institutos Nacionais da Saúde e por órgãos semelhantes em outros países (BERG, 2004, p.1)

As orientações sobre procedimentos laboratoriais e a descrição de níveis de segurança para tipos de experiências, demonstrou a preocupação com a segurança de procedimentos que ainda não tinham total entendimento de suas consequências.

Berg, salienta que ainda hoje países proíbem o cultivo de plantas e animais geneticamente alterados, mas aponta um paradoxo, que demonstra uma certa confusão relacionada aos OGM's:

As novas tecnologias e ideias que incidem sobre a biologia humana e seu impacto percebido nos valores humanos renovaram tensões na relação entre ciência e sociedade. Trinta anos atrás, os países estavam envolvidos em debates sobre se a pesquisa de DNA recombinante, também conhecido como *splicing gene* e da engenharia genética. (...). Temores de criação de novos tipos de pragas ou de alterar a evolução humana ou de alterar irreversivelmente o ambiente eram apenas algumas das preocupações. Dúvidas e preocupações ainda persistem sobre o uso dessa tecnologia no desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas e animais utilizados como alimento. Notavelmente, algumas nações adotaram legislação que proíbe plantas e animais geneticamente modificados de entrar em sua cadeia alimentar. Paradoxalmente, não existe tal embargo para os medicamentos e terapias que revolucionaram o tratamento de doenças graves, embora muitos deles foram criados com as mesmas tecnologias (BERG, 2004, p.1)

O resultado prático da conferência foi que a moratória relacionada às pesquisas do DNA Recombinante estava suspensa, isto é, os cientistas estavam liberados para voltarem a trabalhar na pesquisa, observando as normas de segurança, haja vista que os procedimentos elencados no relatório deveriam ser suficientes para a condução segura de novas pesquisas.

Porém aqui temos uma limitação de previsibilidade, os cientistas somente podem prever aquilo que o nível de desenvolvimento técnico científico em que eles se encontram possibilitam que eles prevejam sem entrar no campo da ficção científica, isto é, usando um bom senso científico, porém o próprio desenvolvimento da ciência e da tecnologia podem apresentar novas possibilidades que na época não poderiam ser concebidas intelectualmente.

Podemos pensar em um paradoxo do desenvolvimento científico imprevisível racionalmente: A previsão do desenvolvimento tecnológico e científico futuro está limitado pelo conhecimento científico e tecnológico racional presente. Ou seja, o aparecimento de uma nova técnica ou descoberta científica pode alterar radicalmente a previsão feita anteriormente para aquela técnica. Desta forma há um relativismo na previsão da ciência e determinados campos da ciência devem passar por constantes revisões de seus procedimentos e previsões

Em seu artigo Berg avalia as implicações éticas e legais resultante da Conferência de Asilomar, e neste ponto afirma que os cientistas reunidos estavam trabalhando a partir de dados e informações em que a ciência estava disponibilizando naquele momento:

A crítica muitas vezes em voz das discussões da Conferência de Asilomar foi a incapacidade de considerar as implicações éticas e legais de engenharia genética de plantas, animais e seres humanos. Será que os organizadores e participantes da conferência de Asilomar deliberadamente limitaram o escopo das preocupações? Os participantes foram marcados por ignorar o aumento dos perigos da guerra biológica possibilitadas pelo desenvolvimento da nova tecnologia recombinante. Outros têm sido críticos da conferência porque ela não enfrentou o mau uso potencial da tecnologia de DNA recombinante ou os dilemas éticos que surgiriam com a aplicação da tecnologia para a seleção genética e terapia genética somática e germinal, ou as consequências ambientais decorrentes da criação de plantas de alimentos geneticamente modificados. (BERG, 2004, p. 1)

As críticas que foram levantadas são pertinentes. Havia um interesse em se retomar as pesquisas, e a discussão e uma posição positiva relacionada ao desenvolvimento do DNA Recombinante traria um olhar mais benevolente por parte da imprensa e representantes do governo. A displicência com a avaliação relacionada ao duplo uso da técnica, por exemplo, com relação à guerra biológica é preocupante, e atualmente relacionada a Biologia Sintética esta avaliação também é minimizada. A conferência finalizou com um conteúdo técnico de cuidados e orientações relacionados às pesquisas, mas com relação ao seu conteúdo de reflexão ética e extrapolações relacionadas ao desenvolvimento das pesquisas e suas consequências de fato deixaram a desejar. Berg avalia que estas preocupações não foram levantadas em decorrência de serem ainda muito especulativas:

Não se deve esquecer que essas possibilidades ainda estavam longe, no futuro, e a questão mais imediata confrontar os organizadores da conferência e participantes foi o que os cientistas tinham levantado: os riscos potenciais para a saúde humana e o meio ambiente causados pela tecnologia de DNA recombinante em expansão. Nós não podemos evitar a questão de saber se haviam sérias ameaças à saúde relacionados com a continuidade dos experimentos que estavam sendo planejadas. Em suma, a agenda para a reunião de três dias teve de se concentrar em uma avaliação dos riscos e como eliminar ou reduzir os riscos que pareciam plausíveis (2004, p. 1).

Podemos entender que a moratória relativa às pesquisas do DNA Recombinante e posteriormente à conferência de Asilomar foi um atraso ou desperdício de tempo? Alguns pesquisadores dirão que sim, e a argumentação é que após 30 anos do aparecimento do DNA Recombinante, convivemos com produtos desenvolvidos por esta técnica sem grandes sobressaltos ou prejuízos, seja do ponto de vista do ser humano ou do meio ambiente. Aqui entraríamos em um debate que ainda hoje se mantém vivo relacionado aos transgênicos o que indica que nem todos concordam com este ponto de vista (LACEY, 2007, p. 31-39; LEITE, 2007, p.41-47; MARIUZZO,2014, p.1). O fato é que os procedimentos adotados pelos cientistas ao se depararem com as possibilidades e riscos desta nova técnica se mostraram dentro daquilo que muitos pensadores apresentam como bom preceito da bioética, a precaução⁹, responsabilidade, livre informação e a deliberação, porém com limitações decorrentes ao próprio conhecimento científico do momento.

Porém Berg pontua que o modelo usado em Asilomar não poderia mais ser adotado hoje em dia, e em algumas questões não se pode chegar a um consenso a não ser por vias normativas em que a decisão da maioria é observada.

Por outro lado, os problemas que nos desafiam hoje são qualitativamente diferentes. Eles são muitas vezes cercados de interesses econômicos e cada vez mais por conflitos e desafios éticos e religiosos quase irreconciliáveis. Um tipo de conferência como a de Asilomar, tentando lidar com esses pontos de vista controversos é, creio eu, condenado a acrimônia e política de estagnação, (...) (BERG,2004, p.1).

A conferência de Asilomar ocorreu em um momento particular da história da ciência, havia uma descoberta inovadora que apresentava grandes possibilidades, mas não se conhecia com clareza a suas consequências, e as especulações que se faziam com relação aos riscos e o mal uso das pesquisas criaram um receio na

⁹ A teoria, que começa a ser construída, sobre o princípio de precaução procura minimizar o argumento de que ele conduza à abstenção e, portanto, à estagnação do desenvolvimento científico. Afirma-se que, muito ao contrário, seu emprego deve implicar o aumento do investimento em ciência e tecnologia, uma vez que, em situações de risco potencial desconhecido, ele exige que se busque a solução que permita agir com segurança, ou seja, que se transforme o risco potencial, seja em risco conhecido, seja ao menos em risco potencial fundado. Trata-se, pois, de fenômeno social que implica a radicalização da democracia: exige-se o direito de participar possuindo todas as informações necessárias e indispensáveis $\frac{3}{4}$ das grandes decisões públicas ou privadas que possam afetar a segurança das pessoas. A aplicação do princípio de precaução impõe uma obrigação de vigilância, tanto para preparar a decisão, quanto para acompanhar suas consequências. E, sobretudo, ela promove a responsabilidade política em seu grau mais elevado, uma vez que obriga a avaliação competente dos impactos econômicos e sociais decorrentes da decisão de agir ou se abster (DALLARI; VENTURA, 2002, p.53-63).

comunidade científica de que pudesse ocorrer uma “normatização” forçada por parte do governo, e isto era o que os pesquisadores menos queriam, desta forma foi possível criar procedimentos em que houvesse o acordo entre os vários cientistas e autoridades que participaram da conferência e uma clara demonstração à população de que os envolvidos nas pesquisas tinham preocupações e procedimentos éticos que garantiria o bom uso desta técnica. Hoje em dia, afirma Berg (2004, p.1) o modelo da conferência não é mais possível, uma vez que há pouco consenso na própria sociedade sobre as mais variadas questões éticas, tais como pesquisas como células-tronco embrionária, testes genéticos, somáticos e terapia genética germinal, e espécies vegetais e animais modificados e, portanto, pouco incentivo a procurar um compromisso. Compromisso nesses casos só pode ser obtido por meios políticos, onde a regra da maioria prevalece.

Será que, de fato, um modelo tal qual a conferência de Asilomar não é mais possível? Percebemos que a conferência ocorre para atender as preocupações dos cientistas que eram várias, definir parâmetros para a pesquisa para que a moratória fosse baixada e as pesquisas pudessem continuar, impedir a ingerência de órgãos governamentais nos procedimentos da ciência, impulsionar o avanço científico, mas também de promover o debate para avaliar os riscos e procedimentos necessários para o bom uso da técnica. Nestes aspectos podemos considerar que a reunião foi um sucesso, as pesquisas foram liberadas, não tivemos grandes acidentes com a manipulação em OGM's, a regulação governamental é mínima e há claros benefícios para a sociedade de forma geral. Porém após todos estes anos a sociedade não se sente totalmente segura com o uso e a comercialização de produtos que surgiram a partir da técnica do DNA Recombinante.

Temos uma noção clara hoje das dificuldades de se conseguir consenso em determinados assuntos, Baumann criou o termo “Modernidade Líquida” explicitando a fluidez normativa da sociedade (BAUMAN, 2001 p. 7-22) e o próprio Engelhardt afirma através do conceito de “amigos morais e estranhos morais” está praticamente atestando a impossibilidade de grupos com distinção de cosmovisão de entrarem em acordo. Na obra *Bioética Global: O colapso do consenso* (o subtítulo já dá uma ideia da tese do livro), afirma:

Embora o título do desta publicação seja Bioética Global, ela não trata apenas de bioética. Este livro constitui um estudo perturbador sobre a condição moral contemporânea. Mais que isso, é uma análise da condição moral humana. Ele nos coloca diante do fato de que as guerras culturais que fragmentam as reflexões bioéticas em campos sectários de contenda estão fundadas em uma diversidade moral insolúvel. (ENGELHARDT, 2012, p.20).

Apesar desta constatação será que a conferência de Asilomar pode nos apresentar, se não um modelo, pelo menos um direcionamento? Seriam as decisões éticas ao envolver o bem-estar e a moralidade da humanidade condicionada única e exclusivamente ao utilitarismo? E os organismos de representação da sociedade não enfrentam as mesmas duras questões em relação ao consenso?

O formato da conferência pode representar uma possibilidade de, se não de consenso absoluto, pelo menos um momento de discussão e apreciação de temas que representem dilemas éticos, tais como o DNA Recombinante. Desta forma podemos dizer que a Conferência de Asilomar se estruturou em um modelo incipiente de comitê de bioética, em que como já foi dito, foi conduzido pela discussão e pela responsabilidade de seus componentes. E como vimos, na conferência haviam ponto de vistas diferentes, mas muitos aceitaram recuar um pouco para poder continuar a passos mais lentos, porém, sem grandes impedimentos a longo prazo. Talvez a maior lição da conferência de Asilomar seja de que de fato não podemos chegar a consensos totais, mas somos capazes de concluir acordos que sejam ao menos minimamente responsáveis e que recuar nem sempre signifique perder, mas sim poder avançar com um nível de segurança e assertividade maior. Claro sabemos que, como Berg salientou atualmente existem outras forças que se impõe, o poder econômico que envolve as pesquisas na atualidade é um deles. O que representa um motivo a mais para a participação da sociedade de forma deliberativa e acompanhamento dos processos desenvolvidos nestas tecnologias emergentes.

A Biologia Sintética é um ramo da ciência que atrai os olhares de vários segmentos da sociedade, e a proximidade entre indústrias e a pesquisa é impressionante, não sabemos mais onde começa uma e termina a outra, isto é, há fortes interesses econômicos por de trás das pesquisas em que se visualiza a possibilidade nada remota de transformar o conhecimento em produto com alta

margem de lucratividade. Vivemos em uma sociedade de livre mercado, porém a sociedade tem de estar vigilante para que esta simbiose indústria-ciência não seja conduzida apenas por interesses pessoais do lucro sem a devida avaliação técnica e ética de suas operações. Em se tratando em biotecnologia e principalmente com a biologia sintética, deve-se garantir que nenhum passo foi saltado ou ignorado para atingir com maior rapidez resultados que possam vir a garantir o registro de patente sobre uma nova descoberta. Novamente devemos nos reportar à conferência de Asilomar como um modelo de atenção para com pesquisas das quais ainda não sabemos como podem ou devem ser conduzidas.

2.2- PARECER DO COMITÊ DE BIOÉTICA DA CASA BRANCA

É de interesse procedermos a avaliação de como a biologia sintética foi recebida pelos comitês de bioética. Desta forma procedemos uma avaliação, ainda que não de todo completa, dos pareceres do *Comitê de Bioética da Casa Branca* (USA) e o parecer conjunto do *Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética da Espanha*. A escolha destes pareceres se dá pelo fato de serem comitês representativos e que apresentam linhas de pensamento relacionadas à bioética, que não são antagônicas, mas relativamente distintas, o que possibilita uma visão ampla do tema.

Como vimos, a biologia sintética tem como desafio a reprogramação de organismos vivos visando aplicações biotecnológicas e biomédicas. Esta técnica permite a síntese de genomas completos por meio de sintetizadores químicos, possibilitando que milhares de fragmentos de genoma gerados possam ser ligados para formar moléculas de DNA maiores até obtenção de um genoma sintético. Este DNA sintético é transferido para uma célula da qual foi extraída o seu DNA original, resultando em um organismo reprogramado com o “circuito” do DNA sintético, possibilitando sua replicação naturalmente (ROCHA, KOIDE, 2014, p. 34).

Em decorrência desta e outras novidades é que o *Comitê de Bioética da Casa Branca* (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues) publicou em dezembro de 2010 o estudo relatorial intitulado *NEW DIRECTIONS, The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies*, com o objetivo de direcionar e

orientar as pesquisas e aplicações de novas tecnologias e mais especificamente da biologia sintética.

Vamos analisar neste trabalho a parte intitulada “Princípios Éticos Básicos para Avaliação de Tecnologias Emergentes” constantes no relatório, buscando extrair os princípios que norteiam esse documento.

Para atingir suas recomendações, a Comissão identificou cinco princípios éticos relevantes para considerar as implicações sociais das tecnologias emergentes: [1] beneficência pública, [2] uma administração responsável, [3] a liberdade intelectual e responsabilidade, [4] a deliberação democrática, [5] justiça e equidade.

Os princípios se destinam a iluminar e orientar as escolhas de políticas públicas para garantir que as novas tecnologias, incluindo a biologia sintética, podem se desenvolver de forma eticamente responsável. Os termos são melhor detalhados no decorrer do relatório, desta forma vamos analisar cada um destes pontos de modo a entendermos suas implicações.

2.2.1- Beneficência pública

Na descrição do conceito de Beneficência pública o Relatório do Comitê de Bioética da Casa Branca afirma que o grande ideal de beneficência pública “é agir para maximizar os benefícios públicos e minimizar os riscos públicos” (CASA BRANCA, 2010, p. 4), ou seja, é sempre em vista da *res publica* que a beneficência é pensada. O relatório salienta que este princípio de beneficência pública abrange tanto o dever da sociedade como o do seu governo que deve ter como objetivo promover atividades individuais e práticas institucionais, incluída aí a prática científica e biomédica que tenha grande potencial para melhorar o bem-estar público. Desta forma visando o benefício público quando se procura os benefícios da biologia sintética, tanto a sociedade de forma geral quanto seus representantes devem manter vigilância constante com relação aos riscos e malefícios que possam decorrer no desenvolvimento das pesquisas. Na descrição deste princípio ainda é salientado que eventuais políticas que busquem benefícios com cautela insuficiente deve ser prontamente revistas (CASA BRANCA, 2010, p. 4). Deste modo, o

benefício, ou a beneficência não é um valor absoluto, pois ele está subordinado ao risco e com devida cautela com que deve ser buscado.

O princípio da beneficência é um dos princípios mais caros para a bioética, consta no Relatório Belmont onde aparece pela primeira vez com uso de forma sistemática avaliativa de conflitos éticos (BELMONT,1979, p.1). Posteriormente foi acrescentado de forma complementar, o termo não maleficência por Tom Beauchamp e James Chidress, na época, 1978, ambos vinculados ao *Kennedy Institute of Ethics*, ao publicaram o seu livro *Principles of Biomedical Ethics*.

Fazer o bem é algo que parece ser fundamental qualquer sistema ético. O benefício público, isto é, procurar o benefício para a sociedade de forma geral é um dos objetivos da filosofia grega desde a antiguidade. O agir bem é um dos temas do pensamento ético de Sócrates que passa por uma ética das virtudes que pode e deve servir a comunidade. Desta forma o agir bem, a busca pela beneficência deve se dar a partir da educação dos indivíduos, dos cidadãos pelo viés da ética. Ter em mente o conceito de beneficência pública parte do princípio de que se entende o que a sociedade quer de benefícios.

Novamente a ética principialista não consegue e não pode ser generalizada, e agora de forma mais abrangente, não conseguimos decidir se determinada pesquisa é boa ou ruim individualmente, mas se é boa ou ruim coletivamente. Desta forma passamos de avaliação de indivíduo a indivíduo para pesquisa a pesquisa. Uma pesquisa não pode ser boa para pesquisador ou para uma empresa e ainda para um governo, se não for boa e justa para a comunidade, e é neste ponto que pode haver sérios riscos de interesses.

Quando no Relatório do Comitê de Bioética da Casa Branca, se procura detalhar o conceito de beneficência pública a primeira frase que consta para explicar o conceito é que “O ideal de beneficência pública é agir para maximizar os benefícios públicos e minimizar os danos públicos ” (CASA BRANCA, 2010, p. 4). Minimizar comporta aceitar um certo risco, se houver um grande benefício, este é um parâmetro de avaliação, mas os riscos são muito mais públicos do que os benefícios, uma vez que quem ganha com o desenvolvimento da tecnologia ganha com o bem, per si, e com o lucro que ela possa acarretar. Hans Jonas nos alerta que sabemos com muito mais propriedade o que não queremos antes do que aquilo que

queremos, “por isso, para investigar o que realmente valorizamos, a filosofia moral tem de consultar o nosso medo antes do nosso desejo.” (JONAS, 2006, p.71), do mesmo modo talvez antes de olharmos apenas para a beneficência deveríamos pesar todas as possibilidades de maleficência.

É pelo ponto de vista utilitarista que podemos entender que a afirmação sobre a beneficência pública encontra sua maior sustentabilidade, uma vez que se busca uma ética coletiva e se entendermos que “ a utilidade inclui não apenas a busca da felicidade, mas a prevenção ou mitigação da infelicidade” (STUART, 2000, p. 36), percebemos uma clara semelhança no conceito exposto no relatório.

No utilitarismo deseja-se a universalização do bem, ou seja, proporcionar a felicidade para o maior número de pessoas, procurando diminuir o sofrimento como ideal humano de maior valor. Na continuidade do relatório, no detalhamento sobre a forma de avaliar os benefícios públicos afirma-se que existe a necessidade de um acompanhamento e avaliação por parte do público e seus representantes, podendo entender aqui os políticos, o uso do termo vigilância denota um constante acompanhar e normatizar. Estar pronto para rever as políticas caso haja cuidado insuficiente na pesquisa. Exige-se desta forma que a sociedade e principalmente os políticos sejam esclarecidos sobre o assunto, conheçam minimamente as técnicas e suas implicações para decidir ou rever políticas de segurança pública.

Aqui nos deparamos novamente com a necessidade do homem público nos moldes em que Platão idealizou em A República, livro VI, (PLATÃO, 1997) pelo menos com uma formação ética e com o conhecimento que possa assegurar as melhores decisões, visando assim proporcionar o bem comum, em detrimento de interesses particulares, mesmo sendo interesses poderosos.

2.2.2- Administração responsável

Ao falar sobre a administração responsável o relatório do comitê de Bioética da Casa Branca afirma que o princípio da gestão responsável reflete uma obrigação compartilhada entre os membros das comunidades nacionais e globais para agir de forma a demonstrar preocupação com aqueles que não estão em condições de representar a si mesmos (por exemplo, as crianças e as gerações futuras) e para o

ambiente em que as futuras gerações podem prosperar ou sofrer (CASA BRANCA, 2010, p.4). Percebe-se aqui uma preocupação ampla com relação à responsabilidade que em termos de ciência moderna atinge a sociedade de forma global. A responsabilidade deve ser compartilhada e avaliada em termos globais, os riscos não são apenas locais, os reflexos de acidentes ou uso indevido de tecnologias emergentes tem a potencialidade de atingir uma significativa parcela da população mundial, com maior impacto em locais de maior dependência econômica. Podemos entender que deve haver uma preocupação global relacionada a biologia sintética, mas os custos relacionados a segurança do desenvolvimento desta tecnologia devem ser rateados de forma igualitária? A preocupação e o cuidado devem ser de todos, mas as nações que estão à frente no desenvolvimento, comercialização destes produtos devem investir na segurança global de seus produtos. O relatório continua afirmando que se deve reconhecer a importância do pensar e agir de forma coletiva (cidadãos e seus representantes) para a melhoria de formas para uma vigilância prudente, estabelecendo processos para avaliar benefícios em conjunto com possíveis riscos de proteção e segurança, tanto antes como depois de projetos realizados, isto é, vigilância constante e se necessário desenvolver mecanismo para limitar o seu uso (CASA BRANCA, 2010, p.4).

Hans Jonas começa o capítulo 4 da sua obra Técnica, Medicina e Ética com as seguintes perguntas: O pesquisador tem responsabilidade por suas pesquisas? Pode tornar-se culpado por elas? Pode evitar esta culpa? (JONAS, 2013, p.87), e estas questões tem seu público ampliado hoje, uma vez que o cientista não opera na solidão do seu laboratório, mas muitas vezes está diretamente vinculado a um grande complexo acadêmico ou industrial, por vezes quase exercendo uma parte burocrática em uma “linha de produção” científica. Mas esta ampliação de grandes conglomerados que financiam e promovem a pesquisa e a própria fragmentação da sua atividade, restrita a uma função de uma pesquisa maior, não podem minimizar e tampouco fragmentar sua responsabilidade.

Porém há uma outra significativa mudança que o texto do relatório inclui, a responsabilidade não se dá apenas na relação do outro, em que o imperativo Kantiano : “age de tal maneira que uses a humanidade, tanto na tua pessoa como na pessoa de qualquer outro, sempre e simultaneamente como fim e nunca

simplesmente como meio” (2007, p.69) daria relativa conta, mas a responsabilidade requer também, agir de forma a demonstrar preocupação com aqueles que não estão em condições de representar a si mesmos.

E é esta a questão fundamental que Hans Jonas apresenta de forma incisiva. Toda a ética até agora demonstrava uma ação restrita, um confinamento ao círculo imediato da ação (JONAS, 2006, p 36) porém o desenvolvimento da ciência e da tecnologia acarretou riscos para gerações futuras, em que o texto do relatório coloca como sem condições de representar a si mesmo, uma vez que não tem autonomia suficiente (crianças) ou ainda sequer existem, gerações futuras.

Considerando o futuro Hans Jonas (2006, p 85) afirma que não podemos efetuar apostas totais, mesmo que o prêmio prometido seja extremamente atraente, isto é, “meu agir não deve colocar em risco o interesse total de outros também envolvidos, os interesses das gerações futuras.” E quais são estes interesses? Para Hans Jonas é a possibilidade da continuidade de uma vida “autêntica humana”, e em decorrência disto a humanidade não teria o direito de suicidar-se. O filósofo Emmanuel Kant afirma que temos um dever para com o outro e o outro tem um valor inato, em uma de suas afirmações mais contundentes Kant ensina que nunca devemos usar o outro como meio, pois ele é um fim em si próprio. Para que possamos exercer esta norma ética devemos ter boa vontade, ou seja cumprir o dever moral pelo fato de ser um dever moral, desta forma, mesmo Kant não tratando de uma ética para com aqueles que ainda não existem, podemos entender que a preocupação e o cuidado para com os que ainda vão nascer é correto e dever ser observada, mesmo que para isso tenhamos que abrir mão de algumas coisas, pois a norma ética deve ser observada mesmo que haja algum tipo de custo para a sociedade no presente. O princípio ético de administração responsável, deixa claro que se deve buscar os benefícios da biologia sintética com cuidado e com constante avaliação de riscos.

2.2.3 - Liberdade intelectual e responsabilidade

Quando toca no assunto da liberdade intelectual o relatório do comitê de Bioética da Casa Branca é bastante enfático e relaciona esta liberdade a responsabilidade. A definição deste princípio baseia-se em que as democracias dependem de liberdade intelectual, mas que esta liberdade está associada a responsabilidade, tanto dos indivíduos quanto a instituições que devem utilizar seu potencial criativo de maneira moralmente responsável (CASA BRANCA, 2010, p.5). Democracias consolidadas apoiam fortemente a liberdade intelectual, inclusive como fonte de inovação e de revisão de seus próprios princípios, mas esta liberdade não pode ser uma liberdade desmedida. Em vista desta liberdade intelectual, porém avaliando o risco que existe na possibilidade inclusive do “duplo uso” a Comissão indica um princípio de parcimônia regulatória, recomendando uma regulação/supervisão suficiente para garantir a justiça, equidade, segurança e promoção do bem público. Salaria que diretrizes para a biossegurança são imperativas, porém não deve inibir a pesquisa, que além de ser contraproducente a própria proteção e segurança pode inibir a distribuição de benefícios que possam advir do desenvolvimento da técnica (CASA BRANCA, 2010, p.5).

Porém cabe salientar que na biologia sintética a ciência e a tecnologia estão profundamente unidas e associadas, e há uma influência no modo de perceber o mundo através desta junção, Galimberti afirma:

É necessário, porém, esclarecer duas coisas. Quando se fala de ciência não se deve pensar em alguma coisa “pura” em relação a qual a técnica constitui apenas uma aplicação boa ou ruim, segundo o uso que esse faz. Esta compreensão está baseada na convicção de que a técnica não passa de uma simples aplicação da ciência, quando na verdade ela é essência da ciência. Não porque sem a técnica não seria possível nenhuma pesquisa científica, mas porque a ciência não olha o mundo para contemplá-lo, mas para manipulá-lo. O olhar científico possui logo intenção técnica que o configura, qualifica e direciona para a manipulabilidade. É como se um poeta e um marceneiro fossem visitar a floresta: os dois não enxergariam as árvores do mesmo modo, porque o marceneiro logo veria nela a madeira para móveis (2015, p.7).

Aliado à ciência e à tecnologia, hoje temos mais um fator que pode determinar os rumos das pesquisas: o sistema científico/industrial. Grandes empresas financiam pesquisas particulares, às quais o governo tem pouco acesso,

e, onde a lógica empresarial impera. Também não é raro vermos grandes cientistas ao se depararem com um descobrimento que pode ter uma significativa aplicação comercial, e assim, abandonam o seu local de pesquisa para se transferir para uma empresa, quando não abrem a sua própria empresa.

Não necessariamente esta atividade empresarial com a ciência é prejudicial, ao contrário ela é, na sua grande maioria, quem possibilita a aplicabilidade e o avanço das pesquisas, mas devemos entender que a ética da responsabilidade não se limita ao laboratório do pesquisador, mas ao complexo industrial científico.

Com relação à liberdade e responsabilidade Libanio (2006, p.107) afirma:

Responsabilidade vincula-se necessariamente a liberdade. Só se é responsável por aquilo a que se é obrigado a responder, de que se deve prestar conta. Só respondemos pelos atos que, de alguma maneira, dependem de nós, enquanto seres humanos. E o que constitui a humanidade de nossos atos é a racionalidade livre.

A diretriz para este item no relatório parece um tanto dúbia, o relatório sugere a supervisão, mas apenas visando garantir a justiça, equidade, segurança e garantia de que se está visando o bem público, e salienta que uma restrição indevida pode paradoxalmente ser contraproducente à produção e a própria segurança pois pode impedir que pesquisadores desenvolvam salvaguardas eficazes. Podemos entender que uma regulação pesada pode trazer impedimentos para o desenvolvimento das pesquisas, ao mesmo tempo que em outros países com uma legislação menos rígida poderiam desenvolver as pesquisas, inclusive com aplicações militares. Percebe-se aqui como fica saliente a possibilidade de “duplo uso” desta técnica para o desenvolvimento de armas bioquímicas, e como que a possibilidade do uso livre desta técnica é que é base para a liberdade de pesquisa "(...) a restrição indevida pode não só inibir a distribuição de novos benefícios, mas também pode ser contraproducente para a segurança, impedindo os pesquisadores de desenvolver medidas eficazes preventivas" (CASA BRANCA, 2010, p.5). Em um mundo globalizado, em que pesquisas tendem a ser compartilhadas e onde existem bancos de dados de “peças” de DNA sintético, e onde se pode encomendar fragmentos de DNA, podemos acreditar que a dificuldade de controle e fiscalização destas pesquisas não é apenas difícil, como provavelmente impossível.

Com relação a biosegurança e biodefesa Schmidt (2008, p1.) afirma:

A biodefesa tem que ser considerada pelo prisma da segurança nacional, e não da segurança para a saúde ou o ambiente. Há, contudo, aspectos desta última que também estão envolvidos. É verdade que a biodefesa não lida exclusivamente com biologia sintética, entretanto, é improvável que uma nova tecnologia tão poderosa passe despercebida pela comunidade de biodefesa. Vale a pena lembrar, ainda, que uns dos primeiros vírus completamente sintetizados foram o vírus da poliomielite e o vírus influenza da gripe espanhola de 1918. Desde os ataques de 11 de setembro, os recursos para o trabalho em biodefesa aumentaram dramaticamente nos Estados Unidos. O Fundo de Biodefesa Civil do governo, entre os anos fiscais de 2001 e 2008, custou aos contribuintes mais de US\$ 39 bilhões. Mas mesmo dentro dos Estados Unidos há muitas vezes questionando esse tipo de alocação de recursos.

Recentemente pesquisadores chineses editaram o genoma de embriões humanos, os cientistas liderados pelo pesquisador Junjiu Huang, afirmaram utilizar embriões não viáveis, o que impossibilitaria o nascimento de bebês com estas alterações.¹⁰ As duas revistas de publicações científicas mais conceituadas (*Nature* e *Science*) recusaram a publicação do artigo que lhes foi submetida. Edward Lanphier, um dos cientistas que soou o alerta na revista *Nature* sobre este assunto afirmou: "(...) É preciso fazer uma pausa nesta pesquisa e certificar que temos uma ampla discussão sobre a direção que iremos com isso".¹¹

Esta notícia exemplifica como o problema da responsabilidade e da liberdade do cientista não andam de mãos dadas, e não raras vezes a reflexão ética acontece depois do experimento haver ocorrido. O princípio de Liberdade e Responsabilidade requer uma grande convicção de que a vida é frágil, e de que a ciência está a serviço da humanidade e não o contrário.

Assim nos indica Libanio (2006, p.110):

A responsabilidade do intelectual (...) ampliou-se muito na modernidade. Vale tal reflexão de conhecimento da psicologia da sociologia etc., que interferem para o bem ou para o mal na construção do futuro. Quanto maior for nossa possibilidade de conhecimento da realidade e de controle sobre ela, tanto maior nossa responsabilidade.

¹⁰ Notícia publicada no site da revista Nature : <http://www.nature.com/news/chinese-scientists-genetically-modify-human-embryos-1.17378>

¹¹ Artigo onde é relatada a experiência, publicada pela revista Protein & Cell : <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13238-015-0153-5>

A Liberdade deve ser limitada pela responsabilidade, este sim deveria ser a última palavra, a liberdade submissa a responsabilidade. Quando se percebe um risco que pode vir a ser, ou que existe a possibilidade de “duplo uso” dever-se-ia buscar na reflexão a real medida da necessidade e dos interesses na continuidade da pesquisa. E principalmente avaliar se existe a possibilidade do fator de reversibilidade, isto é, uma solução deve ter preferência se ela é possível de ser revertida caso o resultado não seja o esperado em relação a outra em que o resultado não possa ser revertido.

2.2.4- Deliberação democrática

A Comissão de Bioética da Casa Branca afirma que o princípio da deliberação democrática deve refletir uma abordagem colaborativa na tomada de decisão que envolve o debate respeitoso do ponto de vista opostos, e com ativa participação dos cidadãos, com o intuito de que os indivíduos e seus representantes trabalhem em direção ao acordo sempre que possível, mantendo o respeito mútuo quando não se chegar ao acordo (CASA BRANCA, 2010, p.5). O processo deliberativo é bem visto pela bioética no sentido de chegar a consensos em assuntos polêmicos, através da deliberação pode-se chegar a acordos em que todas as partes envolvidas fiquem satisfeitas.

Na teoria democrática das últimas décadas, é visível a ampliação da influência das vertentes deliberativas. Com sua ênfase nos aspectos discursivos do processo político — e a visão normativa associada da participação de todos no debate como critério de legitimidade —, os chamados “deliberacionistas” ocupam hoje o lugar central nas discussões sobre o significado da democracia (MIGUEL, 2001, p.5).

O texto continua afirmando que a discussão pública e o debate aberto entre todos os interessados podem promover a percepção da legitimidade dos resultados, mesmo aqueles que não satisfaçam todas as partes interessadas. Salaria que o processo inclusivo de deliberação, formado por fatos relevantes e sensíveis às preocupações éticas, tem a capacidade de promover uma atmosfera de debate e de tomada de decisão que busca o bem comum e que este processo deve encorajar os

participantes a adorar uma perspectiva social acima dos interesses individuais (CASA BRANCA, 2010, p.5)

Porém, cabe entendermos se podemos ter um processo de deliberação democrática real. Tratando-se de assuntos de tão alta complexidade e de interesses econômicos tão poderosos, até que ponto o cidadão comum tem acesso à compreensão destes assuntos e qual a possibilidade de ser ouvido? Os interesses dos cidadãos de menor poder aquisitivo e mais vulneráveis estão de fato sendo levados em consideração?

(...). Sem abrir mão dos procedimentos próprios da organização do poder dessas sociedades – regra da maioria, eleições periódicas e divisão de poderes – a teoria democrática deliberativa afirma que o processo de decisão do governo tem de ser sustentado por meio da deliberação dos indivíduos racionais em fóruns amplos de debate e negociação. Essa deliberação não resulta de um processo agregativo das preferências fixas e individuais, mas de um processo de comunicação, em espaços públicos, que antecede e auxilia a própria formação da vontade dos cidadãos” (FARIA, 2000, p. 48)

Sabe-se que é em decorrência da impossibilidade de todos os cidadãos terem acesso diretamente aos processos decisórios que se elegem representantes, mas surge a pergunta que tememos, de fato estes parlamentares estão comprometidos com a parcela da população que lhes outorgou o poder?

(...). É preciso analisar a situação em seus íntimos detalhes, deliberar sobre os cursos de ação do caso e, com base nisso tomar a decisão prudente. Essa deliberação pode e muitas vezes deve ser individual, mas convém que, se possível, se faça coletiva. As éticas atuais são intersubjetivas e consideram que se deve permitir a participação de todos os atuais ou virtualmente implicados por uma norma ou uma decisão. A deliberação tem de ser participativa (GRACIA, 2010, p. 133).

O texto fala em debate respeitoso de pontos de vista opostos e ativo a participação dos cidadãos, mas de que cidadãos estamos falando aqui? Como se procederá este debate? Qual o grau de acesso a informação e condições de interpretação científica estes cidadãos possuem? Em se tratando de alta tecnologia como a da biologia sintética, creio que pouquíssimos tem condições de realizar algum tipo de debate.

Deliberação democrática requer uma ativa participação por parte da sociedade em que se não podem fazê-lo diretamente pelo menos tem de ser informadas de forma clara e acessível os debates que possam haver no âmbito das instituições republicanas de tomada de decisão, penso que estamos muito longe disto.

(...)a democracia deliberativa exige que as decisões políticas sejam tomadas por aqueles que estarão submetidos a elas, através do "raciocínio público livre entre iguais" (Cohen, 1998, p. 186). Participação de todos, argumentação racional, publicidade, ausência de coerção e igualdade são os valores que devem balizar as tomadas de decisão em regimes democráticos. A ausência de qualquer um deles compromete a legitimidade dos resultados. Embora, à primeira vista, os ideais da democracia deliberativa dêem pouco motivo para polêmica, fica a questão de sua relevância para as sociedades reais, com toda a desigualdade e dominação que nelas têm lugar" (MIGUEL, 2001, p.5).

Os riscos de transformar declarações emitidas por organismos internacionais em apenas documentos de boas intenções é muito grande. Conceituações genéticas e filosóficas tem de ser transformadas e trabalhadas para serem efetivas na prática e não apenas na teoria. Um ponto que deve haver uma atenção é quando se fala em deliberação democrática. Até que ponto de fato conseguimos implantar isso?

A Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos, aprovada em outubro de 2005 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) em seu artigo 18 afirma:

1. O profissionalismo, a honestidade, a integridade e a transparência na tomada de decisões, em particular a declaração de todo e qualquer conflito de interesses e uma adequada partilha dos conhecimentos, devem ser encorajados. Tudo deve ser feito para utilizar os melhores conhecimentos científicos e as melhores metodologias disponíveis para o tratamento e o exame periódico das questões de bioética. 2. Deve ser levado a cabo um diálogo regular entre as pessoas e os profissionais envolvidos e também no seio da sociedade em geral. 3. Devem promover-se oportunidades de um debate público pluralista e esclarecido, que permita a expressão de todas as opiniões pertinentes

Fica saliente a importância que há entre a postura do pesquisador, a transparência e o diálogo claro e esclarecedor com a sociedade. Este modelo de

debate para esclarecer e ouvir a sociedade a respeito dos rumos que se deve tomar as pesquisas deve ser fomentado e fortalecido. Este aspecto é importantíssimo para o fortalecimento da democracia. Nas recomendações do relatório do Comitê de Bioética da Casa Branca é afirmado:

Cientistas, políticos, religiosos e grupos da sociedade civil, são encorajados a manter um intercâmbio permanente sobre os seus pontos de vista relacionados a biologia sintética e tecnologias emergentes, compartilhando suas perspectivas com o público e com os políticos. Os cientistas e políticos por sua vez, devem levar respeitosamente em conta todas as perspectivas relevantes para biologia sintética” (CASA BRANCA, 2010, p.15).

Deliberação democrática requer a participação de todos os segmentos da sociedade, discutindo o avanço das pesquisas, seus impactos e conflitos éticos, isto requer a disponibilização de informação e fóruns que estejam constantemente avaliando o que há de novidades nesta área. Também requer a possibilidade de pressão política para que as decisões possam de fato se fazerem eficientes. Percebe-se poucas organizações em que de fato, no caso do andamento de pesquisas científicas, tenham papel atuante de debater e informar a sociedade de modo claro e amplo. Os comitês de bioéticas ligados à organização formal dos poderes governamentais, tem o papel orientativo, porém não tem, e tampouco foi criado para isso, atuação política. E apesar de poder orientar o poder legislativo, é apenas a sociedade civil organizada que pode exercer influência nas decisões políticas. Deliberação democrática está centrada na possibilidade de autonomia social, e novamente percebe-se que autonomia somente pode ser exercida com o acesso a informação e conscientização das consequências que determinados rumos da ciência podem tomar.

Cabe também, e a sociedade depende muito disto, ao cientista eticamente formado passar muitas vezes por cima da sua curiosidade e competitividade e alertar a sociedade quando a ciência estiver avançando com novidades que podem trazer dilemas éticos ou apresentar um risco potencial significativo.

2.2.5- Justiça e equidade

O relatório coloca como quinto princípio ético para avaliação dos procedimentos da biologia sintética e de tecnologias emergentes o princípio da justiça e equidade, afirmando que este princípio diz respeito a distribuição de benefícios e encargos a toda sociedade. Salaria que a biotecnologia e as tecnologias emergentes como a biologia sintética tem impacto global e por esta razão cada nação tem a responsabilidade de promover ampla disponibilidade de informação e justa distribuição dos ônus e benefícios decorrentes do desenvolvimento desta tecnologia (CASA BRANCA, 2010, p.5).

Em que momento a sociedade é consultada se deseja que haja o desenvolvimento de determinada tecnologia? Qual o nível de conhecimento e esclarecimento para se possa decidir se queremos assumir o risco por determinados benefícios? Como garantir uma distribuição igualitária dos benefícios e dos ônus do desenvolvimento de novas tecnologias?

John Rawls afirma que não há como garantir que acordos justos e livremente consentidos, que possam ter sido justos na época que foram assumidos, continuem da mesma forma, em decorrência de outros acordos que surjam, que também justos, possam, no decorrer do tempo, em combinação com a contingência e a própria dinâmica da sociedade, se manterem justos e equitativos. Caberia as instituições que fazem parte da estrutura de base garantir tais estruturas justas e se estas estruturas não forem devidamente reguladas e ajustadas o processo social deixará de ser justo (RAWLS, 2000, p.13). Assim, por mais que haja uma intenção pela busca da justiça e da equidade no texto sobre a biologia sintética e a forma como esta tecnologia vai impactar globalmente, não há de fato garantias de que tanto os ganhos como os ônus sejam de fato repartidos de forma equânime. Rawls afirma que como o princípio de igualdade deve-se obter o máximo de benefício dos membros menos privilegiados da sociedade, desta forma, se pensarmos em desenvolvimento da sociedade a pesquisas e desenvolvimento em biologia sintética uma política de segurança pública deve prever uma forma de maximizar os benefícios no desenvolvimento de seus produtos e minimizar de forma radical o ônus para a parcela mais vulnerável da sociedade. Está seria a forma mais justa de distribuir os resultados desta tecnologia. Para Rawls deve haver por parte daqueles

que estão em posição privilegiada na sociedade uma genuína preocupação em melhorar a situação dos menos favorecidos, observando-se desta forma a justiça e a equidade nas tecnologias desenvolvidas. Usando o conceito do “véu da ignorância” (RAWLS, 1997, p. 146-153), será que todos os que defendem o desenvolvimento tecnológico teriam a mesma veemência se não soubessem se estariam no lado dos mais vulneráveis no caso da distribuição do ônus, do risco? O fato é que talvez nem os governos consigam proteger em caso de alguma calamidade em decorrência do uso inadequado da tecnologia a parcela mais carente e desprovida de meios próprios para garantir sua segurança.

Ao avaliarmos, ainda de forma parcial alguns pontos das diretrizes éticas contidas no documento do comitê de bioética da Casa Branca, percebemos que há uma consistência em suas colocações orientativas, porém em alguns casos o texto se torna brando quando tenta entrar na forma da sua aplicabilidade. No caso da beneficência pública, poderia ser incluído a não maleficência pública, que limitaria bastante o risco. Risco este que é assumido quando se fala em justiça e equidade, ou seja, parece não haver uma busca na aplicação do princípio da não maleficência de forma mais rígida.

Quando contrapomos o pensamento de alguns filósofos com os princípios contidos no documento, percebe-se um certo distanciamento entre a profundidade dos conceitos dos pensadores com o que consta no texto. Há, sim, um direcionamento e uma preocupação com o desenvolvimento da técnica, há um claro desejo de garantir que os pesquisadores sigam as orientações éticas descritas, mas também há a perspectiva de grande avanço e desenvolvimento tecnológico e há também grandes interesses industriais e políticos por trás das pesquisas e a possibilidade de pesquisadores agirem de forma menos reflexiva, pressionados por prazos, custos e concorrências deve ser um fator de risco a mais para ser considerado.

2.3- PARECER CONJUNTO DO CONSELHO NACIONAL DE ÉTICA PARA AS CIÊNCIAS DA VIDA DE PORTUGAL E DO COMITÊ DE BIOÉTICA DA ESPANHA

Este relatório é um trabalho em conjunto e foi publicado em outubro de 2011, e inicia salientando a rápida evolução das ciências, principalmente na área da biotecnologia que muitas vezes não é acompanhada no mesmo ritmo pela reflexão ética, porém que atualmente esta mesma reflexão está se aproximando da ciência e “surge não como um anexo, mas como um capítulo importante de qualquer investigação científica” (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 7). Na parte conclusiva da sua introdução o relatório elenca quatro grandes áreas que merecem reflexão e que o mesmo tratará, [1] a criação de vida sintética ou artificial enquanto tal, [2] a responsabilidade do cientista, [3] a biossegurança no contexto da biologia sintética, e [4] a questão da patente, a qual não está isenta de importantes dilemas morais, para além de outros aspectos técnicos-jurídicos e econômicos. O problema da biossegurança compôs o capítulo Aplicações, Benefícios e Riscos de forma geral e neste capítulo abordaremos as recomendações específicas relacionada a este tema constante no relatório. O problema da questão da patente, apesar de representar um importante ponto de discussão não faz parte do escopo da presente avaliação.

2.3.1- A criação de vida sintética ou artificial enquanto tal

Neste ponto o documento questiona se a Biologia trata de criar vida artificial ou deveria ser considerada como material biológico sintético. Há uma grande diferença no status moral do resultado da pesquisa, apesar de lançar esta questão e de aventar a possibilidade da biologia sintética passar a “inferir” em seres de maiores complexidades biológicas. O relatório deixa este assunto em aberto uma vez que o desenvolvimento de tais aspectos ainda está incipiente, porém salienta que “Não se trataria então de preservar a biodiversidade, mas de limitar ” já que pela manipulação estaríamos em condições de criar novas espécies. Afirma o Relatório:

Em todo o caso, parece razoavelmente previsível que a curto prazo se consigam, através das técnicas da biologia sintética, seres vivos unicelulares e, mais tarde, quiçá, novos sistemas pluricelulares. Talvez o menos importante para a atual reflexão que, pela sua natureza, deve permanecer aberta, seja a origem artificial destas

formas de vida, e o facto de terem sido criadas – ou, mais precisamente, que possam vir a ser criadas no futuro – pelo ser humano à sua vontade sem ser cópias fiéis de um modelo preexistente (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 13).

A possibilidade da Biologia Sintética criar organismos pluricelulares que não se encontram na natureza não é descartada, porém acarreta uma série de dilemas, tanto no âmbito bioético quanto ao próprio meio ambiente. O Artigo 17 da declaração da Unesco - Proteção do meio ambiente, da biosfera e da biodiversidade, indica que devemos ter cautela quando estivermos agindo diretamente nos processos da vida, o equilíbrio ecológico e genético deve ser observado:

Importa tomar na devida conta a interação entre os seres humanos e as outras formas de vida, bem como a importância de um acesso adequado aos recursos biológicos e genéticos e de uma utilização adequada desses recursos, o respeito pelos saberes tradicionais, bem como o papel dos seres humanos na proteção do meio ambiente, da biosfera e da biodiversidade” (UNESCO, 2005, p.1)

O desenvolvimento técnico e científico é algo a ser buscado, porém não a qualquer custo, o maior desafio do pesquisador, e da sociedade como teórico beneficiário final da ciência, é conseguir estabelecer limites. A auto-moratória e posterior conferência de Asilomar foi um marco de reflexão da ciência sobre suas consequências. O relatório da Unesco afirma que a liberdade de investigação é um pressuposto irrenunciável para o progresso da ciência e da tecnologia, porém este direito também deve reconhecer seus limites, e deve ser responsabilidade do cientista, entre outros, de avaliar estes limites, perante sua própria atividade. (2005, p.01). Vivemos um momento social em que as preocupações éticas estão tomando um corpo maior, fala-se em direito dos animais, em ética na pesquisa com animais, assuntos que há alguns anos, sequer seriam aventados. Porém outras fronteiras éticas se apresentam quando do avanço científico. Seria ético permitir a pesquisadores criarem novas formas de vida?

O ser humano poderia passar a ser não apenas criador de novas formas de vida, mas também de ser aquele em que dá sentido para aquela vida que criou ou manipulou, um utilitarismo em grande escala. Em certa medida já fazemos algo próximo a isto com a manipulação genética, inserimos “funcionalidades” em determinados organismos para atingir um determinado objetivo, seja o aumento de

resistência a pesticidas ou o desenvolvimento maior de uma característica de uma planta ou animal. Caso levemos a sério o imperativo bioético de Fritz Jahr¹² de, “Respeitar todos os seres vivos em geral, como um fim em si mesmo e tratá-los, se possível como tal”, (*apud* PESSINE & BARCHIFONTAINE, 2013, p.461) estaremos com um sério dilema nas mãos. Se uma bactéria tem um fim em si mesmo teríamos um limite para a sua manipulação? Muitos diriam que estaríamos exagerando com relação à aplicação da ética, mas talvez a forma como enxergamos a vida seja apenas reflexo das nossas escolhas que possibilitam e justificam nossa forma de agir no mundo. E se são escolhas, são passíveis de críticas e não de simples dogmatismos.

2.3.2- A responsabilidade do cientista

O relatório em conjunto de PORTUGAL & ESPANHA, trata no item IV, sobre a responsabilidade do cientista, salienta o princípio da prudência como preceito principal:

Dado que é nada menos que a natureza do Homem a que entra no âmbito do poder da intervenção humana, a prudência será o nosso primeiro princípio moral e o pensamento hipotético a nossa primeira tarefa. Pensar as consequências antes de atuar, não é mais que inteligência comum. Neste caso especial, a sabedoria impõe-nos ir mais longe e examinar a possibilidade de usar certas capacidades antes destas estarem disponíveis para ser usadas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 14).

A responsabilidade do cientista é colocada em evidência e acaba sendo mais incisivo do que o relatório do comitê de bioética da Casa Branca. A preocupação com o ser humano tem que refletir a preocupação com o meio ambiente. O homem depende do meio ambiente e ações que possam representar riscos para natureza, também representam riscos para a humanidade e para a sua existência a logo prazo. Não podemos ignorar que hoje o cientista tem um grande

¹² Fritz Jahr , pastor protestante, teólogo, filósofo e educador alemão (1895 – 1953), que apresenta o termo Bio-Ética [Bio-Ethik] em seu artigo *Bioethik: eine Übersicht der Ethik und der Beziehung des Menschen mit Tieren und Pflanzen* (Bioética: um panorama da ética e as relações do ser humano com os animais e plantas) em 1927 (Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde, Stuttgart Nr. 24., Ano: 1927; ps. 21-32 Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart).

poder em suas mãos, ao percorrer caminhos em que não se tem pleno conhecimento de todas as possibilidades é como percorrer uma estrada na mais completa escuridão em que a luz somente se faz à medida que se dá o próximo passo. Desta forma o princípio da responsabilidade implica no princípio da precaução.

2.3.3- Os princípios da autorização e inspeção

O princípio da autorização e inspeção sugere que o próprio processo produtivo é sujeito a riscos e não somente o produto final deve ser analisado e sim a cadeia produtiva as técnicas ou processos envolvidos que possam vir a ser perigosos. O relatório em conjunto procura ser amplo com relação as recomendações visando cobrir possíveis aspectos que possam passar despercebidos. Percebesse que há uma preocupação com o processo produtivo, uma vez que durante a produção e manipulação de produtos pode haver acidentes, e quando tratamos de produtos como os de engenharia genética um erro na produção pode causar grandes transtornos. Salienta ainda que o processo de inspeções, controle e vigilância podem ser conseguidos estabelecendo-se comissões responsáveis por esta monitorização e avaliação das pesquisas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 18).

2.3.4- Os princípios de “passo a passo” e de “caso a caso”

O princípio da precaução indica que a avaliação relacionada às pesquisas de biologia sintética devem ser realizadas não de forma geral, mas avaliando-se caso a caso. O relatório cita que, “ cada decisão ou autorização deve estar apoiada nas exigências de cada situação concreta, e sempre a partir da experiência acumulada noutros casos ou em situações que foram autorizadas ou inspeccionadas previamente ” (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 19). Além da avaliação “caso a caso”, também é indicado a avaliação “passo a passo”, isto é, para a realização de uma nova atividade relacionada ao processo, quando a avaliação das etapas

anteriores revelar que se pode passar para a próxima sem a existência de riscos (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.18 -19).

2.3.4 - O princípio da rastreabilidade

O princípio da rastreabilidade tem como objetivo identificar a origem do organismo através da cadeia de produção e distribuição. O Relatório salienta que esta é uma medida importante para a constituição de uma “rede de segurança” que facilitaria medidas de prevenção de riscos. Porém é levantada a dificuldade da aplicação deste princípio pela particularidade da tecnologia, uma vez que o organismo gerado não existia previamente e que ele pode ser constituído pela soma de diferentes partes que foram criadas em laboratório (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.19). Em suas considerações finais o relatório salienta que as recomendações e o cumprimento dos princípios elencados não pressupõem que haja uma atitude negativa com relação ao desenvolvimento e produção dos bioprodutos, mas serem vistos como forma de garantir a biossegurança e direitos humanos.

O Relatório salienta que:

A Biologia Sintética e a forma, como desde o início, as objecções ou incertezas éticas têm sido colocadas, parece-nos um exemplo claro de um saudável exercício de boa ética e boa ciência. Talvez se deva saudar esta evolução como promissora do futuro relacionamento entre ética e investigação, comprovado o estímulo (e não o bloqueio) que a reflexão ética pode trazer ao engenho do investigador (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.26-27).

O relatório é finalizado com uma série de recomendações que visam salientar os aspectos práticos dos princípios que foram elencados, tais como : Gestão de risco como um preceito essencial; as atividades relacionada a biologia sintética devem observar o princípio do “passo a passo” e “caso a caso”; as autoridades, cientistas e demais envolvidos no processo de pesquisa tem a responsabilidade de orientar ações a favor da comunidade e de interesse geral; os cientistas devem fornecer informação adequada de modo a permitir que os poderes públicos garantam a participação dos cidadão com transparência na definição de

políticas de biotecnologia; devem ter responsabilidade de auto-regulamentação; domínio adequado da técnica e formação ética das equipes devem ser garantidas pelas instituições de investigação científica; criação de uma comissão nacional de biossegurança que deve ser encarregada pelo controle, supervisão das biotecnologias emergentes, entre elas a biologia sintética (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p. 28-29).

2.4 - LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O Brasil não possui um comitê de bioética oficial para assessoramento governamental, cujo papel reflexivo seria importante na avaliação de assuntos relacionados a bioética, porém possui uma estrutura e legislação própria para avaliação e normatização de assuntos relacionados à biossegurança. O Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS), foi criado em 2005 e está vinculado à Presidência da República, sendo órgão de assessoramento superior do Presidente da República para a formulação e implementação da Política Nacional de Biossegurança.

A legislação de biossegurança no Brasil, data de março de 2005, lei nº 11.105, e procura normatizar segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados (OGM's) e seus derivados.

Em seu artigo primeiro afirma que a legislação de biossegurança tem como diretrizes o estímulo ao avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente. Desta forma entendemos que o cerne da legislação objetiva o desenvolvimento científico em duas áreas que devem estar vinculadas, a biossegurança e a biotecnologia. Com o termo biotecnologia, entende-se o estudo e desenvolvimento de organismos geneticamente modificados e sua utilização para fins produtivos, assim, a segurança com a biotecnologia deve

se estender do laboratório de pesquisa a toda a cadeia produtiva. A abrangência desta lei pretende abarcar toda esta linha produtiva, conforme os parágrafos 1 e 2 do Art. 1º.

Um aspecto importante neste documento, principalmente em se tratando de organismos modificados ou manipulados pela biologia sintética, é o veto às atividades e projetos em que se trata o objetivo da legislação (pesquisa, manipulação e produção de OGM's) a pessoas físicas em atuação autônoma e independente. Isto significa dizer que laboratórios de "garagem"¹³ são considerados ilegais para o desenvolvimento deste tipo de pesquisa. Entende-se que a necessidade deste tipo de restrição é coerente em decorrência do alto grau de segurança pelo risco envolvido na manipulação destes organismos. Tanto a autorização quanto a certificação de entidades que desejam trabalhar ou trabalhem com biotecnologia são regulados pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). A CTNBio tem, entre outras, as atribuições de estabelecer normas para as pesquisas com OGM e derivados de OGM, bem como definir critérios de avaliação e monitoramento de risco de OGM e seus derivados, constituir requisitos relativos à biossegurança para autorização de funcionamento de laboratório, instituição ou empresa que desenvolverá atividades relacionadas a OGM e seus derivados. Autorizar, cadastrar e acompanhar as atividades de pesquisa com OGM ou derivado de OGM, nos termos da legislação em vigor, identificar atividades e produtos decorrentes do uso de OGM e seus derivados potencialmente causadores de degradação do meio ambiente ou que possam causar riscos à saúde humana. E ainda, propor a realização de pesquisas e estudos científicos no campo da biossegurança de OGM e seus derivados.¹⁴

No Art. 15, do Capítulo III fica especificado que a CTNBio poderá realizar audiências públicas, garantindo a participação da sociedade civil. Em seu parágrafo único esclarece que em casos de liberação comercial, audiência pública poderá ser requerida por partes interessadas, incluindo-se entre estas organizações da

¹³ Laboratórios de garagem é um termo difundido no começo da revolução da informática em que jovens pesquisadores abriam suas empresas de computadores na garagem da casa de seus pais.

¹⁴ As atribuições completas da CTNBio estão definidas no artigo 14 da lei 11.105 de biossegurança.

sociedade civil que comprovem interesse relacionado à matéria. Este artigo da legislação possibilitaria em tese, a participação de segmentos da sociedade nos debates para a liberação comercial de OGM, o que poderia garantir que os interesses da sociedade como um todo pudessem ser ouvidos.

A efetiva classificação de riscos relacionados aos OGM's bem como os níveis de biossegurança a serem aplicados nas atividades e projetos com OGM e seus derivados em contenção foi estabelecida pela resolução nº 2 de 27 de novembro de 2006. No capítulo II, artigo 5, parágrafo único fica estabelecido que o técnico principal é o responsável legal da instituição, em que está sendo realizada a pesquisa ou produção de OGM's e este tem a tarefa de garantir o cumprimento das normas de biossegurança de acordo com as recomendações da Comissão Interna de Biossegurança - CIBio e as Resoluções Normativas da CNTBio, assegurando que tanto a equipe técnica como a de apoio recebam os devidos treinamentos em biossegurança, garantindo que estejam cientes das situações de riscos potenciais dessas atividades e dos procedimentos de proteção tanto individuais como coletivas e ao meio ambiente de trabalho.

A Resolução Normativa nº2, de 27 de novembro de 2006 no seu artigo 6º discorre sobre os procedimentos a serem adotados em decorrência de acidentes com OGM's discorrendo sobre o procedimento de aviso à CIBio e por esta à CTNBio e aos órgãos e entidades de registro e fiscalização pertinentes, salientando a obrigatoriedade do envio de relatório das ações corretivas tomadas bem como o nome das pessoas e autoridade que tenham sido notificadas. Estabelece ainda que a CIBio deve informar os trabalhadores e os demais membros da coletividade sobre os riscos decorrentes do acidente e no parágrafo 4º insta que deve-se instaurar imediata investigação sobre o acidente e enviar suas conclusões à CTNBio em um prazo de até 30 dias.

A efetiva classificação de risco aparece no Capítulo IV, onde se esclarece que os organismos geneticamente modificados serão classificados em quatro classes de risco de acordo com o seu potencial patogênico, tanto do organismo doador quanto o do receptor, a(s) sequência(s) nucleotídica(s) transferida(s), a

expressão desta(s) no organismo receptor, o OGM resultante e seus efeitos adversos à saúde humana e animal, aos vegetais e ao meio ambiente.

Quando o texto fala da classificação de acordo com o potencial patogênico tanto do organismo doador quanto ao do receptor, a Biologia Sintética fica em um certo limbo, uma vez que não necessariamente pode haver um “organismo doador” o código genético pode ser criado *ex nihilo*. Outro problema para a BS é o parágrafo 2º do artigo 7, que afirmam que todo o OGM’s deve possuir um marcador capaz de o identificar dentre de uma população da mesma espécie. Em organismos sintéticos possivelmente o vínculo entre espécies pode ser quebrado, assim, talvez o melhor no caso da BS é além do marcador que identifique a sua espécie, nos casos daqueles que puderem ser vinculados a uma determinada espécie, também deva ser criado, como sugere o relatório em conjunto de Espanha e Portugal o marcador do laboratório do qual originou-se o organismo.

As classes de riscos dos OGM’s são elencadas no Art. 8º, como sendo os de Classe de Risco 1 os considerados de baixo risco individual e para a coletividade, considerados assim os organismos geneticamente modificados em que as sequências de DNA/RNA não causem agravos à saúde humana e animal tampouco efeitos adversos aos vegetais e ao meio-ambiente. Os classificados como de risco 2 são os considerados com risco individual e para coletividade baixo, sendo classificados os OGM’s com moderado risco à saúde humana e animal, que contenha baixo risco de disseminação e de causar efeitos adversos aos vegetais e ao meio ambiente. Já os classificados como de risco 3 são os que possuem um alto risco individual e moderado risco para a coletividade, apresentando um risco baixo a moderado de disseminação e de causar efeitos adversos tanto aos vegetais como ao meio ambiente. O último nível na classificação (risco 4) estão os OGM’s com alto risco à saúde humana e animal e com elevado risco de disseminação e de causar efeitos adversos tanto aos vegetais quanto ao meio ambiente. Os níveis de segurança laboratorial estão relacionados diretamente à classificação de riscos sendo que no Art. 10 do Capítulo V (DOS NÍVEIS DE BIOSSEGURANÇA) estipula quatro Níveis de Biossegurança, o NB-1 sendo o adequado às atividades e projetos que envolvam OGM da classe de risco 1; NB-2, adequado às atividades e projetos que envolvam OGM de classe de risco 2; NB-3 adequado às atividades e projetos

que envolvam OGM de classe de risco 3; e NB-4 adequado às atividades e projetos que envolvam OGM de classe de risco 4.

As especificações de segurança são crescentes no maior grau de contenção e complexidade do nível de proteção, de acordo com a classe de risco do OGM. A Resolução dispõe ainda em seu Capítulo VI sobre os níveis de biossegurança em grande escala, dito estes como sendo os envolvidos no cultivo de OGM em grande escala que devem seguir as normas de biossegurança específicas estabelecidas no Capítulo V da Resolução Normativa e ter supervisão e medidas de contenção adicionais. Estabelece ainda níveis de biossegurança para produção em grande escala (NBGE), que vão do NBGE1 ao NBGE4, relacionadas ao risco e aumentando da complexidade e exigências de segurança de acordo com o risco apresentado pelo OGM. A Resolução finaliza com os capítulos VII e VIII, trata respectivamente das exigências das instalações físicas e procedimentos em contenção para atividades e projetos com vegetais e para com animais, visando a contenção e minimização do risco de acidentes.

A biotecnologia de forma geral tem sido vista como o desenvolvimento de uma técnica que possibilita ao ser humano um maior desenvolvimento, suas aplicações são imensas e a promessa de ganhos igualmente significativas. Diante da possibilidade de modificações e manipulação da natureza de uma forma nunca antes experimentada, e com seus riscos, alguns pesquisadores ficaram temerosos e solicitaram uma pausa nas pesquisas até entenderem melhor os aspectos deste novo campo. Assim a Conferência de Asilomar possibilitou tanto a discussão e definição de algumas normas orientativas como a suspensão do embargo às pesquisas. Atualmente a biologia sintética promete ampliar aquilo que a técnica do DNA Recombinante possibilita, trazendo uma liberdade criativa ao pesquisador que não necessita ficar mais limitado a remontar aquilo que a natureza possibilita. Percebe-se pelos relatórios do Comitê de Bioética da Casa Branca e do Parecer em conjunto do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética da Espanha, que esta tecnologia também é vista com o misto de um futuro extremamente promissor, mas que é necessário um cuidado com suas possibilidades de duplo uso e o risco de acidentes indesejados. O parecer em conjunto, Espanha e Portugal, tem uma preocupação que fica bem saliente com

relação ao risco desta técnica, e faz questão de insistir no princípio da prudência, suas orientações atingem uma gama ampla de aspectos que a tecnologia e seus produtos podem alcançar.

Não há no Brasil uma legislação específica relacionada à Biologia Sintética. Em 2007 foi realizado um estudo sobre a biologia sintética para avaliação da solicitação do Deputado Edson Duarte à Consultoria Legislativa para a elaboração de um projeto de lei que proibisse organismos e componentes biológicos gerados por técnicas de Biologia Sintética. O estudo apresentava o conceito de biologia sintética e suas principais aplicações sendo que a recomendação do estudo foi que não fosse protocolado o projeto de lei, pois, restringia a pesquisa de biologia sintética uma vez que “A Biologia Sintética é um ramo do conhecimento em franca e rápida expansão, com repercussões acadêmicas, econômicas e possivelmente ambientais. Excluir deliberadamente o Brasil de pesquisas com tamanho impacto seria um erro estratégico” (SCHNEIDER, 2007, p.8).

Porém podemos perceber que existem aspectos éticos e técnicos que deveriam ser atualizadas na legislação brasileira principalmente quando se trata da Biologia Sintética, como por exemplo a segurança de bancos de dados que disponibilizam partes de códigos de DNA desenhados para funções específicas que podem ser utilizados por pesquisadores para a construção de novos organismos.

3- BIOLOGIA SINTÉTICA E A RESPONSABILIDADE FRENTE A VIDA.

Até o presente capítulo apresentou-se um panorama, ainda não que totalmente completo, mas suficientemente amplo para compreendermos a técnica da biologia sintética, suas possibilidades e riscos. Foi possível visitar os principais pontos orientativos do relatório para Biologia Sintética do Comitê de Bioética da Casa Branca, e do Parecer em Conjunto do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética da Espanha, onde procurou-se avaliar seus pontos fortes e fragilidades através de uma maior compreensão dos conceitos expostos. Este capítulo tem o objetivo de fazer uma avaliação mais profunda, a partir da compreensão da complexidade do fenômeno da vida e da ética da responsabilidade dos impactos da Biologia Sintética e apontar caminhos para que esta nova técnica possa ser usada com a prudência necessária para que os benefícios para a humanidade possam ser realizados.

3.1- A BIOLOGIA SINTÉTICA E A DINAMICIDADE DA VIDA

O fenômeno da vida sempre foi algo intrigante para a humanidade, sermos o que somos, rodeados por uma amplitude de formas de vida, de elementos orgânicos tão diferentes mas que espelham a mesma realidade: a vida, nos parece algo tão excepcional que o ser humano está constantemente procurando respostas, e somente fazemos isto porquê este mesmo processo que desencadeou a vida possibilitou que existisse seres complexos que pudessem perguntar justamente pelo sentido da vida, abrir mão desta pergunta talvez seja abrir mão da própria vida.

Hans Jonas na introdução do livro *O Princípio Vida* afirma que uma filosofia da vida tem como objeto de suas reflexões a própria filosofia do organismo e a filosofia do espírito. Jonas desde seus estudos sobre o gnosticismo já desenha uma percepção da concepção dualista do mundo, que impregnou a filosofia e posteriormente a própria ciência. Não podemos ter uma compreensão completa do pensamento de Hans Jonas se não considerarmos que há um fio condutor nas suas obras, e o princípio unificador do seu pensamento é o tema da vida (OLIVEIRA,

2014, p.57). Desta forma a conceitualização ética no seu pensamento passa por uma conceitualização do que é a vida, mesmo que está conceitualização não seja absolutamente fechada.

Como a vida surge da não vida, isto é, como o orgânico surge do não orgânico, ainda é um mistério, Hans Jonas vai dizer que, o fato de ser possível existir a vida em um mundo de pura matéria é um problema que o pensamento deve ocupar-se. A busca pela compreensão da vida tem ocorrido no decorrer da história da humanidade, e o mais interessante é que as primeiras respostas para a pergunta pela vida se deu pelo assombro da morte. Jonas salienta que na visão inicial do mundo o estado natural era o que se apresentava, isto é a vida, logo a morte era o que se exigia resposta, desta forma o pensamento do homem primitivo luta contra o enigma da morte, tentando dar uma resposta através do mito, no culto e na religião (JONAS, 2004, p.19). O retorno ao inorgânico do corpo, sem o sobre de vida, tem então agora a resposta no transcendente. O ser humano no decorrer da história olhou o fenômeno da vida a partir dessa dualidade, Jonas afirma que dualismo, em seus vários aspectos fez parte de vários acontecimentos decisivos da história intelectual da humanidade, e ao longo desta jornada direcionou-se para retirar da esfera física os conteúdos espirituais, deixando para trás um mundo privado de todos estes atributos (JONAS, 2004, p.22). A posição contrária também foi se consolidando, quando da descoberta do “eu” e sua interiorização através das religiões e culminando na concepção cristã, fazendo com que “a ênfase cada vez mais exclusiva, colocada sobre a alma, sobre sua vida interior e sobre a impossibilidade de compará-la a qualquer coisa da natureza” (JONAS, 2004, p.23), aprofundou essa separação. Esta concepção traçou seus caminhos, influenciando conceitos intelectuais e cosmovisões de mundo Fonseca afirma:

(...), entretanto, no pensamento moderno, com Descartes, o dualismo corpo e alma é não apenas retomado, mas, radicalizado. Descartes é considerado o mais alto expoente da antropologia racionalista, (...) ao privilegiar o método, inverte a clássica ordem que ia da Física à Metafísica, estabelecendo a Metafísica como ponto de partida que conduz à Física. (2009, p. 76)

A compreensão do fenômeno da vida no decorrer da história do pensamento consolida a distinção entre o animado e o inanimado, e ciência passa a ignorar a

dimensão da interioridade explicando o sentido da vida apenas pelo aspecto da materialidade. Hans Jonas no prefácio da sua obra *O Princípio Vida* afirma:

Uma releitura filosófica do texto biológico pode reconquistar para compreensão das coisas orgânicas a dimensão interior – a que nos é melhor conhecida -, e assim reconquistar para a unidade psicofísica da vida o lugar que ela perdeu na teoria após a separação estabelecida por Descartes entre o mental e o material. Neste caso o ganho a compreensão do orgânico há de se constituir um lucro também para a compreensão do ser humano. (2004, p.7)

Esta concepção da vida apenas como fenômeno da materialidade, descartando a interioridade, trouxe enormes facilidades para a ciência que agora não necessitaria fazer a pergunta relacionada ao sentido, mas apenas inferir sobre a funcionalidade, apesar de que o “para quê” sempre esteve presente. Lopes diz que a ideia de um arquiteto divino trouxe benefícios para a pesquisa do mundo natural, pois desta forma ficava livre para realizar a sua pesquisa apenas pelo prisma mecanicista e matemático (2010, p.50). Sganzerla, afirma que Jonas não tem a intenção de salvar o abismo entre o homem e a natureza, mas que a exigência de superação do dualismo tornou-se uma exigência moral (2012 p.167). Porém a ciência na atualidade ainda mantém a posição de encontrar a resposta para a vida através da explicação reducionista, isto é, a partir do estudo da vida reduzindo-a às suas menores partes. Hoje a ciência ultrapassou a camada de estudos simplesmente biológicos, (músculos, nervos e órgãos internos, já não representam o limite do saber) e adentramos no mais profundo da vida, agora estamos trabalhando com um dos aspectos primeiros da vida, o DNA, agora não apenas visto pela perspectiva da forma de dupla hélice, mas de toda a sua gama de interações físico-químicas, de suas organizações moleculares. Contribuiu significativamente para esta visão o físico Erwin Schrodinger, um dos descobridores e fundadores da física quântica. Em 1943 ministrou no *Trinity College* em Dublin, uma série de palestras intituladas “O que é vida? ”, que foram publicadas em formato de livro, com o mesmo título, pela Cambridge University Press, em 1944. Schrodinger nestas palestras pretendia lançar suas ideias para o estudo e explicação da vida a partir da física.

Desde o início do milênio a biologia está passando por uma rápida transição de ser uma ciência predominante predominantemente descritiva para ser uma disciplina quantitativa. Este processo começou com o famoso panfleto Schrödinger: O que é vida? Escrito no final da Segunda Guerra Mundial, em

que pela primeira vez se levantou uma abordagem rigorosa dos sistemas biológicos como entidades sujeitas às mesmas regras da física como todo o resto do mundo material (LORENZO, 2014, p.1).

Ao estranhamento de um físico estar discorrendo de uma área que não é sua, Schrodinger afirma no prefácio do seu livro que apesar do conceito de que o cientista deva ter o conhecimento profundo e completo de certas matérias, e desta forma não se aventurar a escrever sobre temas dos quais não seja especialista, ele elegantemente renuncia a estas obrigações alegando que a história do pensamento demonstra um desejo por um conhecimento unificado e universal, e que a forma fragmentada das ciências, dada pela profundidade e amplitude dos múltiplos ramos do conhecimento humano nos confrontam com um dilema.

Por um lado, neste momento estaríamos começando a adquirir material confiável para unir em um todo indivisível a soma dos conhecimentos atuais, por outro lado parece impossível para apenas um cérebro dominar completamente uma pequena parte especializada do mesmo. Desta forma, Schrodinger não vê alternativa a não ser propor que alguns pensadores empreendessem a tarefa de sintetizar fatos e teorias, ainda que tenha um conhecimento incompleto e indireto. (SCHRODINGER, 2005, p.v). Schrodinger passa então a discorrer sobre os aspectos da vida pelo olhar da física. Pode-se dizer que começa aqui o reducionismo moderno sobre o conceito do que é vida, o início da aplicação de leis da física às ciências da vida.

Porém Schrodinger não propõe uma simples implantação das leis da física aos processos orgânicos, pois para ele a vida tem suas particularidades, e é necessário outro tipo de física, visto que as concepções quando aplicadas as questões biológicas devem ser substancialmente reestruturadas (SCHRODINGER, 2005, p.3), mas estas leis físicas devem ser exatas (SCHRODINGER, 2005, p.5). Schrodinger trouxe antecipações interessantes relacionado a ideia do código genético e sua estrutura e ao trazer o ferramental de análise pela perspectiva da física possibilitou que muitos cientistas se inspirassem e se dedicassem a novas experiências a partir destes aspectos conceituais. Watson diz que foi cativado no terceiro ano da faculdade pelos genes, não por algum professor, mas pela leitura do pequeno livro de Schrodinger, e ficou assombrado por esse famoso físico ter se disposto a escrever sobre biologia, uma vez que muitos consideravam, como ele,

que a física e a química eram “ciências reais”. A concepção que Schrodinger apresentou de que a vida poderia ser em termos de armazenamento e transmissão de informações biológicas e que estas informações deveriam estar comprimidas em algo que ele chamou de “código de instruções hereditárias” levou o seu interesse por genética. (WATSON, 2005 p.47 – 48). As ideias de Schrodinger foram aceitas, não tanto suas conclusões, mas sua sugestão metodológica, o que possibilitou o desenvolvimento na própria biotecnologia; agora a biologia estava fazendo par com as demais ciências, não era mais necessário ter inveja das ditas “ciências sérias” (GOUD, 1997, p.42). Hans Jonas no capítulo 5 do livro *O Princípio Vida* nos apresenta uma cena semelhante, talvez não no seu conteúdo, mas no conceito que o permeia, de que as ciências exatas podem dar conta de explicar o fenômeno da vida. Jonas começa o capítulo intitulado “Deus é um matemático? ” Citando o astrônomo e filósofo da natureza Sir James Jeans: “pelo testemunho imanente de sua criação, o grande arquiteto do universo começa a revelar-se hoje como um matemático puro.” Jonas diz que este conceito, da possibilidade da explicação pelas ciências exatas do fenômeno da vida, foi, e continua, se repetindo várias vezes ao longo do tempo. (2004, p. 87).

No decorrer da história percebemos que foi desenvolvido um olhar mecanicista relacionado à natureza e aos processos da vida, ao se abolir as forças divinas do mundo, proporcionou-se o desencantamento. Jonas diz que quando reduzimos a natureza à igualdade da criação, considerando da mesma forma, “pode surgir também uma natureza não apenas sem espírito, mas também sem alma, isto é, de uma natureza que não apenas é inteligível sem possuir entendimento, mas que também se move sem ser viva” (2004, p.94). Jonas acrescenta um fator de extrema importância para a concepção dos processos da vida: a liberdade. O organismo na natureza desenvolve uma relação de dependência, de troca, isso ocorre de forma direta mais básica do metabolismo, isto acarreta uma liberdade, ainda que precária, em que a vida forja a si mesmo, expressando tanto a sua diferença em relação ao meio material quanto a sua pertença ao próprio meio como corpo vivo (OLIVEIRA, 2014, p.60). E neste processo o metabolismo tem o papel diferencial, é a partir desta função essencial do organismo que fica explícita a impossibilidade de comparar o ser vivo com uma máquina ou um sistema. Relacionado a isto Jonas afirma:

A troca que o organismo realiza com o ambiente não consiste em uma atividade marginal, é a forma pela qual se dá continuidade, a própria continuidade do sujeito da vida. Quando chamamos um corpo vivo de “sistema metabolizante” temos que o próprio sistema é inteiramente e sempre resultado de sua atividade metabólica, ou seja, é ao mesmo tempo realizador e realizado do mesmo. O papel do metabolismo não é simplesmente gerar o combustível do organismo, seu papel fundamental é originalmente o de construir a própria máquina e sua constante mudança de partes, “ e este via-a-ser é ele próprio uma realização da máquina: mas para uma realização como está não existe nenhuma análogo no mundo das máquinas.” Por isso a comparação do organismo com uma máquina não se apresenta correta em seus fundamentos mais primários (JONAS, 2004, p. 98).

Essa liberdade metabólica que o organismo possui é o que representa o que a ciência não consegue ter o controle e domínio, desta forma apesar do grande avanço da ciência e tecnologia, das promessas da biologia sintética e da possibilidade de “criarmos” vida, a própria vida ainda se apresenta como mistério. Um mistério inquietante, por vezes ao pensarmos sobre a vida, sua origem a tomamos por inconcebível, mas maravilhosa, e não é à toa que normalmente somente conseguimos arrazoar sobre a vida de forma ampla se o fizermos subjetivamente. E somente de forma subjetiva é que conseguimos falar da interioridade, da qual não encontramos modelos teóricos, sejam filosóficos ou científicos capazes de dar conta de tal fenômeno (JONAS, 2010, p.18). Talvez a maior contribuição do ser humano para a vida seja de cuidar para que ela possa se expressar livremente. Teologicamente o homem é colocado como mordomo, aquele a quem foi dada a dádiva de fazer uso da criação de forma responsável.

A Biologia Sintética, como vimos, infere diretamente nos processos básicos da vida, modificando e criando DNA para serem re-engenherados em organismos sintéticos. Esta é uma intervenção humana completamente nova na natureza. O ser humano sempre agiu na, e através da natureza para possibilitar a sua sobrevivência, e este desenvolvimento tecnológico é a base da sustentação da humanidade e dificilmente poderíamos sobreviver sem a expansão da ciência e a tecnologia. Porém todo este desenvolvimento levou o homem a se deparar com algumas fronteiras em que a tecnologia nos conduziu, trazendo inquietações e preocupações para com os riscos que são inerentes a procedimentos que muitas vezes são rapidamente absorvidos pela sociedade sem uma reflexão mais criteriosa com

relação às possíveis consequências que possam surgir, seja a curto ou a longo prazo.

Hans Jonas se debruçou sobre a compreensão que a ciência tem dos processos que possibilitaram a geração da vida, e da própria conceitualização da vida. Principalmente a respeito das consequências que um desenvolvimento tecnológico sem freio e sem reflexão podem trazer para as gerações futuras. Quando pensamos sobre biologia sintética não podemos deixar de refletir sobre algumas questões básicas neste ramo da ciência, e uma das questões que se levantam é se estaríamos aptos a ter total controle das inumeráveis possibilidades de absorção e trocas que o metabolismo de organismos sintéticos poderiam realizar quando liberados na natureza. Como a ciência não tem o domínio sobre todos os processos e possibilidades que o meio pode oferecer aos organismos em suas correlações na natureza, pode haver um risco potencial muito grande.

A vida é dinâmica e o metabolismo do organismo faz constantes trocas com o meio transformando e sendo transformado, definir a vida por um reporte temporal é um erro, a vida é a soma de todos os momentos, ela se dá no âmbito da história. A vida não é estática, ela é novidade, é abertura ao diferente, é absorver e ser absorvido, é adaptação, mutação (JONAS, 2004, p.98). Qual a garantia que pode haver de que um organismo sintético livre no meio ambiente vai agir exatamente de acordo com aquilo que foi “programada”? Como podemos manter todo o controle sobre o ambiente onde há inúmeras trocas e interações?

Caso seja desenvolvido um organismo que se alimente de petróleo para combater eventuais derramamento de óleo em águas, poderíamos liberar uma quantidade destes organismos que possam em pouco tempo “eliminar” todo o óleo derramado, metabolizando-o em um elemento não nocivo, que evitaria uma tragédia ecológica. Mesmo que este organismo estivesse programado para viver um curto espaço de tempo, onde, após ele eliminar o óleo disperso, se “desligue”, como podemos assegurar que não haverá nenhum tipo de efeito “colateral”? Qual a possibilidade deste organismo entrar em contato com outro elemento, ou animal e que possa sair do local onde foi derramado? Qual a possibilidade deste organismo conseguir “se livrar” do código genético que “ordena” ele se desligar? E se ele

conseguir de alguma forma se multiplicar? Afinal não é o que toda vida quer? Sobreviver e desenvolver?

Como afirma JONAS, 2004, p.158

Na história do esforço da vida por se entender a si própria, a biologia materialista (que recentemente teve seu arsenal reforçado pela cibernética) é a tentativa de entender a vida excluindo aquilo que torna possível a própria tentativa: a verdadeira natureza de consciência e finalidade.

Percebemos, então, que a complexidade da vida não está de todo conhecida e seus mecanismos por vezes se apresentam de forma inusitada, sendo que a evolução caminha por lugares e formas não previstas.

A biologia sintética, alicerçada pela linguagem da lógica da tecnologia deixa de compreender a transcendência da vida e sua impossibilidade de total controle. O organismo foi transformado em segmentos, em tijolos, em bits, que podem ser reconstruídos e rearranjados, controláveis sim, mas enquanto hermeticamente trancados em laboratórios, em um ambiente que há uma quantidade de variáveis possíveis de serem mapeadas e controladas pelo homem, sem levar mais nada em conta além do mecanicismo alienado de qualquer percepção ontológica do ser (JONAS, 2010, p.17). Em um ambiente controlável, todo o sucesso da criação de novos organismos e suas funcionalidades é justificado pelo seu próprio fim, ou seja, pela construção daquilo em que o homem se propôs a partir das variáveis controláveis e conhecidas. Aqui também não encontramos a justificativa do sucesso sem a compreensão de fato do todo? Não é a evolução, entendida como troca com o meio ambiente e a possibilidade de mudanças para adaptação e sobrevivência, vinculada necessariamente a vida?

Marcolvich afirma:

Além dos temores que as pesquisas de nanotecnologia fazem nascer, a torto e a direito, relativos ao ambiente e à saúde, em virtude de sua própria epistemologia, a biologia sintética suscita um problema suplementar ligado à descontextualização dos elementos do vivo, que ela consegue isolar, controlar e manipular: enquanto ela trabalha para reprogramar pedaços de DNA, ela concebe sua ação na escala limitada de seus objetivos próximos; mas ela leva em conta os riscos de uma transformação a longo prazo, dos organismos vivos que ela manipula, ou daqueles que ela poderia contaminar com os primeiros? (...) (2008, p. 129).

Se há vida se desenvolve pela adaptação, desta forma a vida disposta em meio ambiente externo irá necessariamente interagir, trocar, mudar. Ou seja, está

aberta as incontáveis probabilidades, possivelmente incontroláveis, a falta de total previsibilidade é que pode desencadear novas mudanças e transformações que ficariam fora de controle. Conforme Jonas, “a liberdade do estágio animal é a liberdade de várias adaptações por ações que se diferenciam do objetivo a ser alcançado, e que por isso se encontram sob a alternativa de certo e errado, de êxito e fracasso.” (2004, p. 206).

Jordi Maiso afirma:

Aplicando os princípios da padronização, desacoplamento e distinção de diferentes níveis de abstração para poder operar com a complexidade dos sistemas biológicos, a engenharia biológica aspira a criar “máquinas vivas” com um comportamento suscetível de ser programado e prognosticado de antemão. Caso isso algum dia acontecer, nada impediria distinguir o funcionamento dos seres vivos dos artefatos técnicos de fabricação humana. Mas a visão determinista e geneticista sobre a qual se apóia este ideal da bioengenharia é consistente com os avanços recentes na biologia evolutiva do desenvolvimento? Os genes reguladores podem ser controlados até o ponto de dar lugar a uma engenharia robusta e previsível? Sem dúvida, o genoma oferece informações necessárias para a construção de proteínas em forma de aminoácidos, mas por si só não determina a estrutura biológica nem a escolha, a sucessão ou a interação das proteínas, não determina exclusivamente a estrutura das membranas celulares e outros elementos e – como revelam os avanços em epigenética – não é o único portador de informação que possa ser herdada. Em suma, não se incorre em um reducionismo e num determinismo genético que hoje é sumamente problemático? (2013, p.12)

As questões levantadas por Maiso são extremamente importantes, novamente é salientada as variáveis de relações que os organismos efetuam que não podem ser determinadas, e como a visão reducionista pode ofuscar todos os aspectos que devem ser levados em conta quando se tratar da Biologia Sintética.

Um exemplo da mutabilidade inesperadas dos organismos na natureza é o fungo *Gyptococcus gattii*, levedura que infectou pessoas que eram aparentemente saudáveis na ilha de Vancouver, Colúmbia Britânica, tornando-se o primeiro patógeno fúngico humano que subitamente ficou mais virulento em um local que era desconhecido até então. Este fungo não é originário desta localidade e segundo Frazer, “O fungo pode ter vindo na água de lastro de um navio. Botos infectados podem ter cruzado o Pacífico o organismo no solo ou em saprófagos, quando morreram e seus corpos foram arrastados para a costa. Lama de veículos ou calçados podem ter levado os fungos de um lugar a outro ” (2014, p.45).

Aliado ao risco de que o homem não tem domínio sobre todas as variáveis que a vida comporta, tampouco possa efetivamente dominar o direcionamento que a vida inserida na vida possa ter, a biologia sintética apresenta riscos que decorrem da utilização militar destes organismos. O bioterrorismo ou guerras biológicas não são fantasmas, mas realidades com potencialidades terríveis. Hans Jonas afirma que a partir dos estudos sobre a filosofia da vida que abrange a filosofia do organismo e a filosofia do espírito, surge uma nova tarefa a ética (JONAS, 2004, pg. 271), e um ramo da ciência que trata diretamente da vida e que pode acarretar consequências diretas para a vida, tem que se pautar por parâmetros rigorosos de ética.

3.2- A BIOLOGIA SINTÉTICA E A ÉTICA DA RESPONSABILIDADE

Ao percebemos que a vida tem uma fragilidade inerente à sua própria estrutura e sua abertura para a liberdade, e que ainda não temos o domínio completo dos mecanismos complexos da vida, compreendemos que a ética da responsabilidade faz sentido a partir deste entendimento, daí a obra de Hans Jonas “Princípio Responsabilidade” é uma consequência da reflexão do O Princípio Vida. Bauman diz que Jonas “dedicou a maior parte de sua obra à contradição entre o que deve e o que pode fazer a moralidade sob as condições de excessiva modernização, e viu as raízes do problema nos extraordinários poderes da tecnologia moderna ” (1997, p.247). Adela Cortina afirma que, sendo os seres humanos estruturalmente morais, consequentemente também as atividades humanas são estruturalmente éticas, logo, se exige que sejam tomadas decisões justificadas a partir de princípios e valores, seja de forma explícitas ou implícitas (2006, p.16). As ações humanas têm um peso ético, desta forma a pesquisa científica, como ação humana deve ser avaliada de forma ética e o ser humano tem uma responsabilidade que transcende a ética imediatista. Hans Jonas vai afirmar que o homem, pela sua capacidade e desenvolvimento não pode procurar apenas um bem humano, e assume o papel de “fiel depositário” da vida e da natureza (JONAS, 2006, p. 41). A radical mecanização da natureza, ou melhor da vida, fez com que o domínio total sobre a vida possibilitasse o triunfo do *homo faber* em detrimento do *homo sapiens* (JONAS, 2006, p. 43), e agora com o desenvolvimento da Biologia Sintética o homem tem o

acesso a manipulação radical da vida, nesse sentido a necessidade urgente que o *homo sapiens* tenha primazia sobre o *homo faber*.

Ao tratarmos a natureza como simples objeto, também estamos afirmando que podemos ser tratados como objetos, porque fazemos parte da natureza. Embora o homem tenha afastado-se do mundo natural, ele é parte de um todo que não deveria ser dissolúvel. Esse distanciamento da natureza, fez com que passássemos de um estágio inicial de relacionamento e de um certo temor para o desejo de dominá-la e subjugá-la (JONAS, 2006, p.43). Boff afirma que o grande vício do antropocentrismo é não tratar a natureza com respeito, e esta cosmovisão centrada no homem faz com que pensemos que todo o ser somente tem sentido a partir do homem, à medida que se ordenam ao ser humano, mas lembra que quando do surgimento do ser humano no processo evolutivo 99,98% da história da terra já estava concluído, “portanto a natureza não precisou dele para organizar sua imensa complexidade e biodiversidade” (2014, p.173). Porém a concepção do que é vida foi destituída de respeito e de valor, a própria forma como a linguagem técnica começou a descrever os processos da vida descaracterizou-a. Segundo Jelson Oliveira, na introdução a edição brasileira do livro *Técnica, Medicina e Ética*, para Hans Jonas, a própria técnica é, ao mesmo tempo uma expressão de abertura necessária à vida, especialmente humana, para o mundo e um risco sem precedentes, principalmente por que a ela, a técnica, se associa uma dimensão utópica baseada na ideia de progresso (2013, p.13) , desta forma a técnica deveria ter este cuidado e orientação, porém para tentar expressar os processos da vida e sua manipulação foi lançado mão de analogias e metáforas, que acabam esvaziando o sentido amplo da vida. Os usos de metáforas podem ajudar a tornar mais compreensível para o público em geral e para o próprio cientista os processos complexos que ocorrem na natureza e principalmente quando se trata da funcionalidade do DNA. Porém estas analogias também esvaziam o significado dos próprios processos reduzindo-os e simplificando de forma que o uso da metáfora igualando o objeto da analogia ao seu análogo. Ao proceder desta forma, ao tratar os procedimentos mais complexos da vida os tornamos processos meramente mecânicos, repetindo de forma mais radical aquilo que Descartes fez a séculos atrás. Sanches aponta que novas metáforas estão sendo utilizadas para falar da realidade genética, como metáfora do 'programa', que

a partir da década de 60 entrou para a literatura biológica (2007, p.59). Este processo de analogias está muito presente nas pesquisas da Biologia Sintética, o conceito de programação do organismo, de blocos de construção permite que o pesquisador olhe para o organismo como algo a ser melhorado ou que deva ter um sentido que ele seja atribuído pelo homem. Bauman citando Max Weber diz que a tecnologia apresenta um mundo “desencantado”, sem sentido próprio, porque sem “intenção” sem “propósito”, sem “destino” (1997, p.221). Na Biologia Sintética o organismo perdeu inclusive sua relevância, se antes ele era a peça fundamental hoje se torna uma parte de uma linha de produção, neste processo o mais importante é o desenho do código gerado pelo computador, que será aplicado na construção do DNA para a programação de um novo organismo criado. Antes de poder manipular algo o ser humano necessita descaracterizá-lo, esvaziá-lo, destituí-lo de sentido. Assim feito o organismo agora coisificado pode ser ressignificado e inserido de valor dado pelo ordenador, pelo homem, que agora não somente mede e valoriza, como também gera significância.

O cientista assume atualmente um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade, e junto com este papel vem a responsabilidade pelos rumos que a ciência pode levar a humanidade, nunca os limites entre “o médico e o monstro”¹⁵ se mostraram tão próximos e difícil compreensão de quando estamos de um lado ou do outro.

O final do século XX deixou claro um conjunto de preocupações que devem orientar a conduta intelectual dos cientistas. Protagonistas de um formidável poder de modificar nosso mundo, os pesquisadores encarnam agora, mais do que em qualquer época, um papel que representa ao mesmo tempo a esperança da solução de problemas e impasses e também o risco de que novos problemas e impasses surjam, como decorrência do próprio avanço da ciência (WERTHEIN,2001, p.8).

A forma de fazer pesquisa também mudou, a divisão de trabalho que atingiu as mais diversas áreas do fazer humano também atingiu a pesquisa e a indústria derivada das descobertas científicas. Bauman diz que atualmente, praticamente todo o empreendimento envolve muitas pessoas, que realizam de forma individual uma pequena parte do todo global em que está inserida, e desta forma pela quantidade

¹⁵ Analogia ao romance de Robert Louis Stevenson publicado em 1886.

de pessoas envolvidas no processo que a autoria fica diluída e que ninguém consegue alegar a autoria, ou a responsabilidade, do resultado final, desta forma a responsabilidade parece flutuante, não encontrando em lugar algum seu ponto natural (BAUMAN, 1997, p. 26).

Essa diluição da responsabilidade é um fenômeno relativamente novo, mas que pode apresentar sérias consequências. Notadamente observamos que as orientações dos comitês de ética quando falamos de laboratórios sempre procuram indicar a responsabilidade de um pesquisador chefe, que deve orientar e avaliar se os procedimentos recomendados estão sendo seguidos, mas indicar que deve haver um responsável não significa que realmente as normas estão sendo cumpridas. Notadamente em empresas de pesquisas, com grandes estruturas, inseridas em um mercado extremamente competitivo, normas podem em muitos casos serem vistas como impeditivos de que produtos sejam desenvolvidos com agilidade que o mercado e os executivos pedem.

Jonas vai dizer que:

Se a esfera do produzir invadiu o espaço do agir essencial, então a moralidade deve invadir a esfera do produzir, do qual ela se mantinha afastada anteriormente, e deve fazê-lo na forma de política pública. Nunca antes a política pública teve de lidar com questões de tal abrangência e que demandassem projeções temporais tão longas (JONAS, 2006, p.44).

Porém, não basta a normatização e legislação, punir quem cometeu a infração da norma é uma parte importante, porém efetivamente não diz nada com relação à recuperação do erro cometido. Instâncias de debate público, participação da sociedade organizada, que efetivamente consiga dialogar com os dois lados interessados no processo, isto é, com a população leiga, informando e esclarecendo os ganhos e os riscos e fiscalizar, orientar e criar um diálogo ético sólido com pesquisadores e investidores deveriam ser amplamente incentivadas. Não há verdadeira autonomia se a parte mais fragilizada do processo não estiver devidamente esclarecida sobre aquilo que pode representar sérios riscos ao ambiente e de forma direta ou indireta ao ser humano. Desta forma organizações/comitês de bioética autônomas são de vital importância para tentar garantir a justiça,

beneficência e a não-maleficência para a sociedade como um todo através da autonomia real.

O Papa Francisco em sua Encíclica *LAUDATO SI'*, Sobre o Cuidado da Casa Comum afirma quando discorre sobre os avanços tecnológicos que estes desenvolvimentos nos dão um poder tremendo, na sequência reelabora a frase : “Ou melhor: dão, àqueles que detêm o conhecimento e sobretudo o poder econômico para o desfrutar, um domínio impressionante sobre o conjunto do gênero humano e do mundo inteiro.”, lembra que em boa parte da história da humanidade o desenvolvimento tecnológico serviu a regimes totalitários ou como demonstração de poder, e afirma “Nas mãos de quem está e pode chegar a estar tanto poder? É tremendamente arriscado que resida numa pequena parte da humanidade” (FRANCISCO, 2015, p.81), aquilo que se chama de poder do homem sobre a Natureza se revela na verdade como o poder de alguns homens sobre outros, com a Natureza como instrumento (LEWIS, 2005 p. 53). A Biologia Sintética oferece um grande poder para o homem, não apenas de manipular o código genético, o que já é algo dado, mas de criar, desenvolver novos formatos e formas. Pode-se criar algo antes impossível pelas combinações genéticas naturais ou manipulando-se as possibilidades que a natureza apresenta, porque a natureza, aquilo que ela fornece, a última instância do que ela poderia fornecer de mais precioso, já não é mais limite para o homem, talvez aqui já exista um perigo de que o homem pense que ultrapassou a última barreira, e assim tudo lhe é possível, não há riscos ou havendo ele como extremo *homo fabris* pode construir um elemento que o anule. A utopia da natureza totalmente controlada pelo homem estaria, no seu olhar, se concretizando?

3.2.1 – Ameaça e Esperança

A sociedade vive um constante paradoxo, há a preocupação pelo futuro, pela ecologia e o consumismo, porém o que conduz o presente são os interesses econômicos imediatos que tem precedência sobre a atenção com as gerações futuras (LIPOVETSKY, 2004, p.69). Hans Jonas vai dizer que, “O que nós não queremos, sabemos muito antes do que aquilo que queremos. Por isso, para

investigar o que realmente valorizamos, a filosofia da moral tem de consultar o nosso medo antes do nosso desejo. O conhecimento do *malum* é infinitamente mais fácil do que o do *bonum*; é mais imediato, mais urgente, bem menos exposto a diferenças de opinião (JONAS, 2006, p.71). Mas isso é assim mesmo ainda hoje? Talvez possamos perceber que há um risco um malum que possa estar implicado em determinado desenvolvimento tecnológico, mas parece que isso é muito mais subjetivo em uma primeira instância do que objetivo, isto é, sabemos que há um problema, mas não exatamente o qual, nem saberíamos identifica-lo, pois não temos o saber técnico para isso, apenas a sapiência, que na era tecnológica não tem poder de se fazer ouvir. Vivemos uma mudança ética em que o que se apresenta como “moderno” é bom e o que é “antigo” é ruim, quanto mais moderno melhor”.

A Biologia Sintética apresenta uma quantidade de benefícios bastante propagada, e é até certo ponto natural temos boas expectativas com relação ao desenvolvimento tecnológico, controle de CO₂ na natureza, combustíveis mais eficientes, agricultura mais eficiente, remédios mais eficientes, mas ao mesmo tempo isso parece uma autorização para avançarmos mais, extrairmos mais, consumirmos mais. Se os problemas que a tecnologia e incentivo ao excesso de consumismo podem ser resolvidos pela própria tecnologia parece que obtemos a autorização de continuarmos nesta marcha. Maiso afirma que, nos discursos ao público em geral, os partidários das bioengenharias apresentam o desenvolvimento como capaz de resolver, de maneira mágica, os problemas que nos forma legados pelas tecnologias de ontem com as tecnologias de amanhã (2013, p.15).

Está reflexão não é, como muitos poderiam acusar, de um pessimismo com relação ao futuro, mas simplesmente a tentativa de extrapolar as possibilidades negativas que a Biologia Sintética pode levar a humanidade, a projeção do *malum* deve ser produzida intencionalmente, este é o primeiro passo necessário para uma ética responsável (JONAS,2006, p.72). Assim como a Biologia Sintética apresenta consideráveis possibilidades para o ser humano, também apresenta um risco significativo, o duplo uso torna-se agora também altamente significativo, vivemos desta forma uma extrema ambiguidade a esperança e a ameaça.

3.2.2 – O risco da Imprevisibilidade e o excesso de poder

A complexidade tecnológica em que vivemos ao invés de possibilitar uma capacidade de previsibilidade sobre o desenvolvimento e resultados de pesquisas pode acarretar na imprevisibilidade, Hans Jonas vai dizer que o que seria suficiente para um prognóstico de curto prazo, intrínseco a todas as obras da civilização técnica, não pode bastar para o prognóstico de longo prazo almejado na extrapolação requerida pela ética (JONAS, 2006, p.73). Isso nos remete ao conceito do paradoxo da previsibilidade científica já apresentado anteriormente, podemos pensar em um paradoxo do desenvolvimento científico imprevisível racionalmente: A previsão do desenvolvimento tecnológico e científico futuro está limitado pelo conhecimento científico e tecnológico racional presente. Ou seja, o aparecimento de uma nova técnica ou descoberta científica pode alterar radicalmente a previsão feita anteriormente para aquela técnica. Desta forma há um relativismo na previsão da ciência e determinados campos da ciência devem passar por constantes revisões de seus procedimentos e previsões.

Jonas afirma:

(...)Em todo caso, a extrapolação requerida exige um grau de ciência maior do que o que já existe no *extrapoladum* tecnológico; e, considerando que este representa a cada vez *optimum* da ciência existente, o saber exigido sempre é, necessariamente, um saber ainda não disponível no momento e jamais disponível como conhecimento prévio; no máximo, somente como saber retrospectivo” (2006, p.73).

Percebe-se que há uma limitação na capacidade de previsibilidade que a própria tecnologia consegue elaborar, desta forma exige-se que se aja com prudência na procura do desenvolvimento e das aplicações da biologia sintética. O Relatório Conjunto de Espanha e Portugal deixam clara esta recomendação salientando que as pesquisas devem ser realizadas com a devida prudência e precaução, para isso recomenda que as pesquisas com Biologia Sintética sejam realizadas avaliando caso a caso, e passo a passo dentro desta pesquisa. Novamente aqui prevalece a heurística do temor, em decorrência da dificuldade de previsibilidade, ainda mais tratando-se de organismos que poderão interagir com outros organismos se dispersos na natureza, gerando uma quantidade de riscos que efetivamente não se pode “medir” em laboratório.

O atual estágio de desenvolvimento tecnológico humano possibilitou ao ser humano um poder extraordinário, hoje temos o poder de destruir a espécie humana, e qualquer outra forma de vida do planeta. Esse é um poder temeroso, principalmente porque todo esse avanço tecnológico não foi acompanhado pelo desenvolvimento da responsabilidade do homem. Segundo a encíclica papal *LAUDATO SI'*

(...)cresce continuamente a possibilidade de o homem fazer mau uso do seu poder quando «não existem normas de liberdade, mas apenas pretensas necessidades de utilidade e segurança». O ser humano não é plenamente autônomo. A sua liberdade adocece, quando se entrega às forças cegas do inconsciente, das necessidades imediatas, do egoísmo, da violência brutal. Neste sentido, ele está nu e exposto frente ao seu próprio poder que continua a crescer, sem ter os instrumentos para o controlar. Talvez disponha de mecanismos superficiais, mas podemos afirmar que carece de uma ética sólida, uma cultura e uma espiritualidade que lhe ponham realmente um limite e o contenham dentro dum lúcido domínio de si. (FRANCISCO, 2015, p.82)

O alerta que o Papa Francisco faz com relação à autonomia do homem complementa-se com a falta de conhecimento do todo que está implicado no desenvolvimento e aplicação de tecnologias emergentes como a da Biologia Sintética. Parece que há uma urgente retomada de valores, o homo sapiens deve direcionar o homo faber e não o homo faber estar acima do homo sapiens (JONAS, 2006, p.43-44). O cientista assume atualmente um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade, e junto com este papel vem a responsabilidade pelos rumos que a ciência pode levar a humanidade.

O final do século XX deixou claro um conjunto de preocupações que devem orientar a conduta intelectual dos cientistas. Protagonistas de um formidável poder de modificar nosso mundo, os pesquisadores encarnam agora, mais do que em qualquer época, um papel que representa ao mesmo tempo a esperança da solução de problemas e impasses e também o risco de que novos problemas e impasses surjam, como decorrência do próprio avanço da ciência (WERTHEIN,2001, p.8).

As possibilidades da biologia sintética não se limitam a criar DNA sintético para novos organismos, existe a possibilidade de inferência no DNA humano, No documento “Os Princípios para a Supervisão da Biologia Sintética” desenvolvido

pelos grupos Friends of the Earth U.S. (Amigos da Terra nos EUA) e International Center for Technology Assessment CTA), ETC Group (Grupo ETC):

É preciso proibir o uso da biologia sintética para modificar a composição genética humana, quer seja do genoma ou epigenoma humanos, ou inclusive do microbioma humano. A convergência da biologia sintética com outras tecnologias, como a transferência de genes através de vetores virais, de nanomateriais ou de células tronco, deixam ainda mais perturbadora a possibilidade de alterar o genoma humano. Qualquer alteração do genoma humano através da biologia sintética – particularmente uma mudança genética hereditária – é excessivamente arriscada e eivada de repercussões éticas (CTA, s/d, p.5).

JONAS, (2006, p. 61), nos fala sobre a manipulação genética:

(...) o homem quer tomar em suas mãos a sua própria evolução, a fim não meramente de conservar a espécie em sua integridade, mas de melhorá-la e modificá-la segundo seu próprio projeto. Saber se temos o direito de fazê-lo, se somos qualificados para esse papel criador, tal é a pergunta mais séria que se pode fazer ao homem que se encontra subitamente de posse de um poder tão grande diante do destino. Quem serão os criadores de “imagens”, conforme quais modelos, com base em qual saber? Também cabe a pergunta sobre o direito moral de fazer experimentos com seres humanos futuros.

A biologia sintética acena com a possibilidade de criação de novos códigos genéticos, de manipulação e criação de organismos melhorados visando a necessidade humana, porém, além disto, descortina-se já a possibilidade de mudanças genéticas no ser humano através de DNA sintético, e neste ponto os riscos se multiplicam.

C.S. Lewis em seu livro “A Abolição do Homem” afirma que:

A conquista da Natureza pelo Homem, caso se realizem os sonhos de alguns planejadores, significaria que algumas centenas de homens estariam governando os destinos de bilhões e bilhões. Não há nem pode haver nenhum acréscimo ao poder do Homem. Cada novo poder conquistado pelo homem é da mesma forma um poder sobre o homem. Cada avanço o deixa mais fraco, ao mesmo tempo que mais forte. Em cada vitória, o homem é ao mesmo tempo o general que triunfa e o escravo que segue o carro dos vencedores (2005, p.56).

Este é o um dos grandes dilemas proporcionados pelo avanço das biotecnologias, podemos observar que muitas das aplicações que a Biologia Sintética propõe são soluções para problemas que a própria tecnologia criou, outro

tanto são para problemas que não representam de fato um problema para uma parcela significativa da humanidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dualismo cartesiano impõe uma separação da matéria e espírito. A ciência optou por seguir este dualismo para conhecer a matéria, ignorou o espiritual e tratou o organismo de forma mecanicista, definindo suas ações apenas através de processos químicos/físicos, de modo a ignorar qualquer ontologia que não esteja ligada a materialidade. A facilidade que esta visão proporciona para a ciência é evidente. Tratar o código genético como um programa, um *software*, que pode fazer que o *hardware*, o organismo, atue da forma como possa ser programado, é realmente tentador. No entanto não podemos reduzir o organismo somente a este tipo de visão, pois estaríamos nos incapacitando de compreender a vida em sua totalidade.

Se usarmos a analogia tratada acima, que se apresenta tão cara a Biologia Sintética, devemos observar que diferente do computador que executa o código que lhe foi imputado, no qual podemos facilmente diferenciar o *software* do *hardware*, o organismo absorve o seu código e nesta junção já não podemos ter o controle total porque o *hardware* pode modificar o *software* à revelia do seu programador e este código alterado pode ser transferido para as próximas gerações. Pensar que compreendemos totalmente os processos e procedimento da vida é uma falha, não tentar prever todas as consequências do desenvolvimento tecnológico é um erro.

Hans Jonas aponta como nossa responsabilidade para com as gerações futuras, não agirmos hoje de forma a comprometer a sua viabilidade de existência autêntica. A Vida humana está profundamente ligada a manutenção da natureza na qual fazemos parte e não podemos nos conceber como senhores da natureza. As transformações que trazemos para a natureza tem um efeito a curto e a longo prazo, e priorizar o primeiro em detrimento do segundo é afirmar que o que mais nos interessa é nosso bem-estar imediato em comparação com manutenção da vida humana futura.

Sintetizadores de DNA de baixo custo, códigos de DNA alterados disponíveis em bancos de dados na internet, empresas que sintetizam fragmentos de DNA por encomenda, são facilidades que impulsionam o desenvolvimento das pesquisas acadêmicas, mas também são a possibilidade de estudantes manipularem organismos sem os devidos procedimentos de segurança, facilidade de

disseminação, e de bioterrorismo. Observar e maximizar todas as possibilidades de falhas e erros é um procedimento de precaução, e seria um erro não agirmos desta forma. Deve ser de responsabilidade dos órgãos reguladores governamentais um controle mais efetivo uma vez que eventuais problemas podem acarretar em graves consequências para grande parte da população. Aliado à responsabilidade do cientista, temos aqui a responsabilidade do legislador, do governante.

Além da avaliação da técnica da Biologia Sintética, por sí, cada novo produto deve ser analisado também individualmente, entendendo suas implicações técnicas e éticas. A transparência é um princípio fundamental com relação ao desenvolvimento da Biologia Sintética, pois a sociedade deve estar ciente dos passos que estão sendo dados nesta área, porque sem conhecimento não há autonomia. Para isso instituições de representação da sociedade governamental e não governamental, devem ter um papel atuante na democratização da informação, estimulando a transparência e o debate. A Atualização da legislação de biossegurança, deve ser realizada após um amplo debate com a sociedade, tendo como princípios norteadores a aplicação do princípio da precaução e do princípio da responsabilidade.

Nos pareceres, do Comitê de Bioética da Casa Branca e o Parecer em Conjunto de Portugal e Espanha, percebe-se a reflexão sobre os riscos que podem decorrer das pesquisas e aplicações da Biologia Sintética, porém a visão extremamente otimista que se tem da ciência e as promessas que esta tecnologia apresenta com significativos ganhos, seja de bem-estar, quanto financeiro, muitas vezes permite uma minimização dos riscos apresentados. Percebe-se que a reflexão da bioética europeia apresenta uma preocupação maior com a precaução, podendo parecer mais restritiva, porém, acaba abrangendo um aspecto maior tanto das pesquisas quanto da produção de produtos gerados através da Biologia Sintética. Após está avaliação, tendo a perspectiva histórica relacionada ao desenvolvimento do DNA Recombinante, resultou uma pequena sugestão para nortear e aprofundar os princípios éticos para a pesquisa e desenvolvimento da biologia sintética, compondo-se de uma fusão dos principais pontos dos dois relatórios estudados, bem como os fundamentos da ética da responsabilidade.

Desta forma a sugestão é a ampliação de princípios que possam cobrir uma abrangência maior de situações de risco e que possam ao mesmo tempo, ser norteados pela ética da responsabilidade, pelo compromisso social da ciência, bem como tratar com a devida prudência relativa a manipulação de organismos vivos, precavendo-se de aspectos que possam vir a ser perigosos.

Assim, os princípios que sugerimos para serem levados em conta para uma biologia sintética segura são: [1] beneficência pública, [2] não maleficência pública [3] administração responsável, [4] a liberdade intelectual e responsabilidade, [5] a deliberação democrática, [6] justiça e distribuição proporcional de riscos, [7] Princípio da Precaução, [8] Responsabilidade governamental, [9] Maximização do Risco, [10] Princípio da reversibilidade. [11] Princípio da Rastreabilidade e [12] Princípio do “passo a passo” e “caso a caso”.

Detalhamos abaixo os pontos onde houve alteração ou inclusão de novos princípios que não constavam em nenhum dos relatórios apresentados:

- [2] não maleficência pública: O cuidado com a Biologia Sintética não deve ser avaliado apenas olhando a beneficência pública, o que pode sugerir uma preocupação apenas com o cuidado de proporcionar o bem para a sociedade, mas avaliar também pelo aspecto da não maleficência, ou seja, se não há o risco de haver algum aspecto no desenvolvimento do produto da Biologia Sintética que pode acarretar algum problema para a sociedade.
- [6] Justiça e Distribuição proporcional de riscos: Setores mais vulneráveis da sociedade devem estar sob uma proteção maior por parte dos governantes, e setores que obtiveram maiores benefícios com o desenvolvimento da Biologia Sintética devem estar preparados para contribuir significativamente mais em caso de ocorrência de acidentes ou eventos indesejados do desenvolvimento das pesquisas ou de produtos desenvolvidos a partir da Biologia Sintética.
- [8] Responsabilidade Governamental – Instituições públicas responsáveis pela liberação e fiscalização de pesquisas e produtos desenvolvidos a partir da Biologia Sintética apresentam-se como responsáveis solidários e desta forma passíveis de ações legais e administrativas.
- [9] Maximização do Risco. Deve-se privilegiar a maximização do risco e dos problemas que possam decorrer de acidentes, desenvolvimento indesejado

de Organismos Geneticamente Sintetizados ou de possibilidade de duplo uso. A heurística do temor deve ser o guia neste item, conjugado com o exercício de extrapolação de possibilidades de desenvolvimento científico. Neste momento devem ser elaboradas conjecturas que serviam de alerta e cuidado para o desenvolvimento das pesquisas. A possibilidade de não continuar com as pesquisas até se obter um cenário mais claro deve ser levada em consideração.

- [10] Princípio da reversibilidade: As ações reversíveis têm preferência sobre as ações irreversíveis. Para cada risco ou possibilidade de acidentes identificados deve haver um plano que possa reverter a ação ao estágio anterior de forma segura.

As sugestões acima podem servir como modelo orientativo a ser seguido por empresas e laboratórios de pesquisas que estão envolvidos com o desenvolvimento da Biologia Sintética e também como base para o desenvolvimento de legislação complementar, no caso de atualização das leis sobre biotecnologia no Brasil.

Deve-se salientar que não se trata de demonizar a ciência e a tecnologia, ao contrário, como já foi visto, a Biologia Sintética pode representar um grande avanço para a humanidade, inclusive para solucionar problemas que o próprio desenvolvimento causou. Aliada à tecnologia na criação de novos tipos de materiais, podemos dar um salto de desenvolvimento fantástico, no entanto, se ficarmos hipnotizados pelas possibilidades de êxitos, podemos ignorar os riscos. O poder que hoje se apresenta nas mãos do homem é algo sem precedentes na história da humanidade, e a capacidade de desenvolvimento da ciência e tecnologia nos acarretou uma responsabilidade que não podemos ignorar. Cabe ao próprio homem conseguir desenvolver a sabedoria para usar a tecnologia de forma segura, proporcionando um desenvolvimento sustentável ao planeta e à humanidade. Outro aspecto que deve ser colocado em evidência é a relevância da pesquisa a ser desenvolvida, pois ao se tratar de uma tecnologia que apresenta riscos, questiona-se se é justo o seu uso para atender as necessidades de minorias, ou mesmo de questões de pouca urgência.

O presente trabalho buscou aprofundar o entendimento em uma área da ciência bastante nova e que se desenvolve em grande velocidade. Ao apresentar o

quadro relacionado ao conceito desta técnica e suas implicações, também foi observado o que já se produziu relacionado a reflexão da bioética em comitês que pudesse representar linhas de pensamento que possibilitassem uma síntese complementar de suas avaliações direcionadas pela ótica do princípio da responsabilidade. O resultado desta pesquisa fez com que se percebesse a necessidade de sugerir a ampliação de princípios para orientar o desenvolvimento da Biologia Sintética e também indicou caminhos para novas pesquisas. Entre os temas que merecem aprofundamento destaca-se o impacto sobre o conceito de vida, a possibilidade da criação de organismos que não existam na natureza, a ecologia e sustentabilidade, o biodireito e a possibilidade de registro de formas novas de vida. Enfim percebe-se que o tema em debate tanto no meio acadêmico como para a sociedade necessita de maiores pesquisas que permitam compreender de forma mais crítica e ampla as consequências, os benefícios e as ameaças decorrente desta técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, Gerardo; **Em 1953 foi descoberta a estrutura do DNA**, Documentos online, Dezembro, 2004, ISSN 1518-6512 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

BAUMAN, Zygmunt; **Ética Pós-Moderna**, 3ª edição, São Paulo, SP, Editora Paulus, 1997

BAUMAN, Zygmunt; **Modernidade Líquida**, Rio de Janeiro, RJ, Jorge Zahar Ed. 1ª Edição, 2001,

BARAK, BEN-, Idam; **Pequenas maravilhas – Como os micróbios governam o mundo**, 1ª edição, Rio de Janeiro, RJ, Editora Zahar, 2010.

BEAUCHAMP TL, CHILDRESS JF. **Principles of Biomedical Ethics**. 6ª ed. New York: Orxford University Press; 2009.

BELMONT, **The Belmont Report, Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research**; Disponível em <<http://www.hhs.gov/ohrp/humansubjects/guidance/belmont.html>> acessado em: 20/02/2015

BERG, Paul David Baltimore, Sydney Brenner, Richard O. Roblin, and Maxine F. Singer - **Summary Statement of the Asilomar Conference on Recombinant DNA Molecules** - Proc. Nat. Acad. Sci. USA - Vol. 72, No. 6, pp. 1981-1984, June 1975

BERG, Paul; **Asilomar and Recombinant DNA**; site: Nobelprize.org, 2004, Disponível em <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1980/berg-article.html> Acessado em : 13/04/2015

BIELLO, David; **Levedura DIY – Uma versão artificial do fungo que faz pão**, **Scientific American Brasil**, ano 12 nº 140, p.24 – 30, jan. 2013

BITTENCOURT, Juliana Vitória Messias. **Manual de Biologia Molecular em Plantas Arbóreas** / Organizado por Juliana Vitória Messias Bittencourt; Milena de Luna Alves Lima. - Curitiba, Pr. CBAB, 2008.

BOFF, Leonardo, **A Grande Transformação, Na economia, na política e na ecologia**, 1ª edição, Petrópolis, RJ, Ed. Vozes, 2014

BRASIL, **Lei de Biossegurança Nº 11.105**, de 24 de março de 2005. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/lei/11105.htm> Acessado em : 08/05/2015

BRASIL, **Resolução Normativa Nº 2**, de 27 de novembro de 2006, disponível em: <<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/3913.html>>, Acessado em: 12/05/2015

BURSZTYN, Marcel, (ORG.), **Ciência, Ética e Sustentabilidade, Desafios ao Novo Século**, WERTHEIN, Jorge, Apresentação; 2ª Edição, Brasília, DF, UNESCO, 2001

CASA BRANCA, **New Directions – The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies**, Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues. 2010. Disponível em : <http://bioethics.gov/sites/default/files/PCSBI-Synthetic-Biology-Report-12.16.10.pdf> _Acessado em 07/05/2014

CEDER, Gerbrand ; PERSSON, Os Materiais dos Sonhos, **Scientific American Brasil**, ano 13 nº 146, p.13, jul. 2014

CORTINA, Adela; **Ética de las Biotecnologías (Genética), Un Mundo Justo y Feliz?**; Taula, quaderns de pensament, núm. 40, 2006. Disponível em : <<http://www.raco.cat/index.php/Taula/article/viewFile/211336/281481>>. Acessado em : 09/12/2014

CTA, **Os Princípios para a Supervisão da Biologia Sintética**, s/d, Disponível em : <http://libcloud.s3.amazonaws.com/93/b7/8/2289/1/Principios_para_a_Supervisao_da_Biologia_Sintetica.pdf>. Acessado em : 10/03/2015

DALLARI, Sueli Gandolfi; VENTURA, Deisy De Freitas Lima. **O princípio da precaução: dever do Estado ou protecionismo disfarçado?**, São Paulo Perspec., São Paulo, v. 16, n. 2, p. 53-63, June 2002 . Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392002000200007&lng=en&nrm=iso >. Acessado em: 17/04/2015.

EASAC, European Academies Science Advisory Conclil, **Biologia Sintética: Uma Introdução**, 2011; Disponível em < http://www.easac.eu/fileadmin/Reports/Easac_11_SB-Lay-Portuguese_web.pdf > . Acessado em: 10/10/2014

ENGELHARDT, H. Tristram, Jr. (Org.), Bioética Global, O Colapso do Consenso - ENGELHARDT, H. Tristram, Jr, **A Busca de uma moralidade global: bioética, guerras culturais e diversidade moral.**, São Paulo, SP., Ed. Paulinas/ São Camilo, 1ª Ed., 2012

FARAH, Solange Bento, **DNA Segredos & Mistérios**. 2ª Edição, Ed. Sarvier. São Paulo-SP, 2007

FARIA, Cláudia Feres; **Democracia Deliberativa: Habermas, Cohen e Bohman**. Rev. Lua Nova n. 49 – 2000. <<http://www.scielo.br/pdf/ln/n50/a04n50.pdf>> acessado em 06 de Abril de 2015

FONSECA, Lilian Simone Godoy, **Hans Jonas e a responsabilidade do homem frente a desafio tecnológico** [Tese Doutorado] Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2009. Disponível em : <<https://www.ufmg.br/online/arquivos/anexos/Tese%20Lilian%20S%20Godoy%20Fonseca.pdf>> Acessado em : 10/06/2015

FRANCISCO. Exortação Apostólica do Vaticano – Laudato Si'. 24 de maio de 2015. Disponível em :<http://w2.vatican.va/content/francesco/pt/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html> Acessado em : 20 de junho de 2015

FRAZER, Jennier, Fungos em Deslocamento, **Scientific American Brasil**, ano 12 nº 140, p.40 – 47, jan. 2013

GALDZICKI Michal, et al.; **The Synthetic Biology Open Language (SBOL) provides a community standard for communicating designs in synthetic biology**, Nature Biotechnology 32, 545–550 (2014) doi:10.1038/nbt.2891 – Disponível em : <<http://www.nature.com/nbt/journal/v32/n6/full/nbt.2891.html>> Acessado em : 11/02/2015

GALIMBERTI, Umberto , **O ser humano na idade da técnica.** - Cadernos Ihu Ideias, ano 13, nº 218, Vol. 13, 2015, SÃO LEOPOLDO : Universidade Do Rio Dos Sinos, São Leopoldo, Rs. Disponível Em: <<http://www.ihu.unisinos.br/images/stories/cadernos/ideias/218cadernosihuideias.pdf>> > Acessado em: 25/04/2015

GIBSON, Daniel G.; John I. Glass, Carole Lartigue, Vladimir N. Noskov, Ray-Yuan Chuang, Mikkel A. Algire, Gwynedd A. Benders, Michael G. Montague, Li Ma, Monzia M. Moodie, Chuck Merryman, Sanjay Vashee, Radha Krishnakumar, Nacyra Assad-Garcia, Cynthia Andrews-Pfannkoch, Evgeniya A. Denisova, Lei Young, Zhi-Qing Qi, Thomas H. Segall-Shapiro, Christopher H. Calvey, Prashanth P. Parmar, Clyde A. Hutchison, Hamilton O. Smith, J. Craig Venter. (2010-05-20). "**Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome**". **Revista Science**: science.1190719.DOI:10.1126/science.1190719. Disponível em <<http://www.sciencemag.org/content/329/5987/52.full>> Acessado em : 18/11/2013

GIBBS, W. Wayt, Vida Sintética, **Scientific American Brasil**, ano 3 nº 25 , p.65 – 71, Jun. 2004

GOODFIELD, June; **Brincando de Deus – A Engenharia Genética e a manipulação da vida**, 1ª Edição, Belo Horizonte, MG, Editora Itatiaia, 1994

GRACIA, Diego; **Pensar a Bioética – metas e desafios**; Editora Loyola / São Camilo, 1ª Edição, 2010; São Paulo; SP.

GROBSTEIN, Clifford; The Recotnbinant-DNA Debate, **Scientific American**, Volume 237 Number I, pg. 22 – 33., July 1977

IAP, **Declaração IAP sobre o Potencial Global em Biologia Sintética: Oportunidades Científicas e Boa Governança**. Disponível em <<http://www.interacademies.net/File.aspx?id=24049>> Acessado em : 27/04/2015

JONAS, Hans; **Matéria, Espírito e Criação**, 1ª edição, Petrópolis, RJ, Editora Vozes, 2010.

JONAS, Hans; **O Princípio Responsabilidade** – Ensaio de uma ética para a civilização tecnológica; Editora Contraponto / Editora Puc-Rio; 1ª Edição, 2006, Rio de Janeiro; RJ.

JONAS, Hans; **Técnica, Medicina e Ética** – Sobre a prática do princípio responsabilidade; Editora Paulus, 1ª Edição, 2013; São Paulo; SP.

JONAS, Hans; **O Princípio Vida – Fundamentos para uma biologia filosófica**, 2ª edição, Petrópolis, RJ, Editora Vozes, 2004

KANT, Immanuel, **Fundamentação da Metafísica dos Costumes**, 1ª edição, Lisboa, Portugal, Editora Edições 70, 2007

KLUG, Willian; CUMMINGS, Michael R., SPENCER Charlotte A., PALLADINO Michael A.; **Conceitos de Genética**, 9ª Edição, Porto Alegre, RS, Editora Artmed, 2010,

LACEY, Hugh. **Há alternativas ao uso dos transgênicos?**. Novos estud. - CEBRAP, São Paulo , n. 78, p. 31-39, July 2007 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000200005&lng=en&nrm=iso>. access on 17 Apr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000200005>.

LEITE, Marcelo. **Arautos da razão: a paralisia no debate sobre transgênicos e meio ambiente**. Novos estud. - CEBRAP, São Paulo , n. 78, p. 41-47, July 2007 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000200006&lng=en&nrm=iso>. access on 17 Apr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000200006>.

LEWIS, C. S., **A Abolição do Homem**, 1ª Edição, São Paulo, Ed. Martins Fontes, 2005.

LIBANIO, João Batista; **Introdução a vida intelectual**; 3ª Edição, São Paulo, SP., Ed. Loyola, 2006

LIPOVETSKY, Gilles; **Os tempos hipermodernos**, 1ª edição, São Paulo, SP. Ed. Barcarolla, 2004

LOPES, Wendell Evangelista Soares; **A renovação da teleologia em Hans Jonas: da biologia filosófica aos fundamentos da ética**, Revista Princípios; v.17, n.28, jul./dez. 2010, p. 47-70. Disponível em < <http://www.principios.cchla.ufrn.br/arquivos/28P-47-70.pdf>>. Acessado em 02/05/2015

LORENZO, V. de. "**Biología sintética: la ingeniería al asalto de la complejidad biológica**", *Arbor*, 190 (768): a 149. (2014) disponível em : <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4003>, Acessado em: 20/06/15

MAISO, Jordi, **Desafios éticos, filosóficos e políticos da biologia sintética**, Cadernos IHU ideias, ano II, nº 20, São Leopoldo, RS, 2013. Disponível em < <http://www.biodiversidadla.org/content/download/105115/786656/version/1/file/Desafio+%C3%A9ticos,+filos%C3%B3ficos+e+pol%C3%ADticos+da+biologia+sint%C3%A9tica.pdf>> Acessado em : 20/03/2015

MALAJOVICH M. A. **Biotecnologia 2011**. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012 - Disponível em : http://www.bteduc.bio.br/livros/BIOTECNOLOGIA_2012.pdf Acessado em: 15/03/15

MARCOVICH, Anne. **Formas do vivo e no vivo: imitar e/ou reproduzir a vida**. *Sci. stud.*, São Paulo , v. 6, n. 1, p. 117-137, Mar. 2008 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662008000100006&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 14 Abril 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-31662008000100006>.

MARIUZZO, Patrícia. **Transgênicos dividem o continente europeu**. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 66, n. 1, 2014 . Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252014000100007&lng=en&nrm=iso>. access on 17 Apr. 2015.

MICKLOS, David A.; FREYER, Greg, A.; CROTTY, David A., **A Ciência do DNA**, 2ª Edição, Porto Alegre, RS, Editora Artmed, 2005

MIGUEL, Luis Felipe. **Promessas e limites da democracia deliberativa**. *Rev. bras. Ci. Soc.*, São Paulo, v. 16, n. 46, June 2001 . Disponível em : < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69092001000200011&lng=en&nrm=iso >. Acessado em: 06/04/15.

MURPHY, Michael P.; O'NEILL, Luke A. J., (Org.) O que é vida? – GOUD, Stephen Jay, “**O que é vida?**” **Como um Problema Histórico**, 1ª Edição, São Paulo, SP, 1997

OLIVEIRA, Fátima; **Engenharia Genética. O sétimo dia da criação**. PESSINE, Leo; BARCHIFONTAINE, Christian de Paul de,: Fundamentos da Bioética; 3ª Edição, Ed. Paulus, São Paulo, SP., 2005

OLIVEIRA, Jelson; **Compreender Hans Jonas**, 1ª Edição, Petrópolis, RJ, Editora Vozes, 2014

PESSINI, Leo; BARCHIFONTAINE, Christian de Paul de, **Bioética Clínica e Pluralismo – Com ensaios originais de Fritz Jahr**, Editora Loyola / São Camilo, 1ª Edição, 2013, São Paulo, SP.

PINHEIRO, M. M.; GERHARDT, L.; MARGIS, R.: ‘**Uma tecnologia com múltiplas aplicações**’. **História, Ciências, Saúde** — Manguinhos, vol. VII(2), 465-79, jul. out. 2000. Disponível em : http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-59702000000300015&lang=pt acessado em: 04/06/2014

PLATÃO; A República, Ed. Nova Cultura, 1ª Edição, 1997, São Paulo, SP.

PORTUGAL & ESPANHA, Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida; **Parecer Conjunto do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética de Espanha**; Disponível em <http://www.cneqv.pt/admin/files/data/docs/1320431400_BiologiaSintetica_CBE-CNECV%20Aprovado.pdf>. Acessado em 18/11/2013.

HUANG, Junjiu , et all.- **CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripnuclear zygotes** - Protein & Cell . Disponível em : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13238-015-0153-5>> acessado em 25/04/2015

RAWLS, John; **Justiça e Democracia**, Ed. Martins Fontes, 1ª Edição, 2000, São Paulo. SP.

RIBEIRO, Silvia; **Biología sintética, bioeconomía y justicia global**, Revista VIENTO SUR Número 131/Diciembre 2013; Disponível em : <http://vientosur.info/IMG/pdf/VS131_S_Ribeiro_Biologia_sintetica_y_justicia_global.pdf> Acessado em : 25/05/2015

ROCHA, Rafael Silva; KOIDE, Tie; **Biologia Sintética, O desafio da reprogramação de organismos vivos**, Revista Ciência Hoje, nr. 315, volume 53, Junho 2014, SBPC, São Paulo, SP.

ROMESÍN, Humberto Maturana; GARCÍA, Francisco J. Varela; **De Máquinas y Seres Vivos – Autopoiesis: La Organización de lo Vivo**; 5ª edição, Santiago de Chile, Chile, Editora Universitária S.A., 1998

ROYAL ACADEMY, **Synthetic Biology: Scope, applications and implications**, The Royal Academy of Engineering, disponível em : <<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/synthetic-biology-report>> Acessado em 26/05/2015

SANCHES, Mario Antônio; **Brincando de Deus. Bioética e as marcas sociais da genética**, 1ª ed. São Paulo, SP, Ed. Ave Maria, 2007

SCHMIDT, Markus. **Difusão da biologia sintética: um desafio para a biossegurança**. ComCiência, Campinas, n. 102, 2008 . Disponível em <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542008000500008&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 25 abr. 2015.

SCHNEIDER, Maurício; **Biologia Sintética**, Consultoria Legislativa, Dezembro 2007; Disponível em : <<http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema14/2007-12661.pdf>> Acesado em: 19/11/2014

SCHRODINGER, R.; **Qué es la Vida?**, Textos de Biofísica, Salamanca, 2005. Disponível em: <<http://campus.usal.es/~licesio/Biofisica/QEV.pdf>> , Acessado em : 19/05/2015

SGANZERLA, Anor, **Natureza e Responsabilidade : Hans Jonas e a biologização do ser moral**, Tese Doutorado, São Carlos, UFSCar, 2012. Disponível em: <<http://www.dfmc.ufscar.br/uploads/publications/510809101bcd1.pdf>> Acessado em: 04/07/2015

STUART, Mill; **O utilitarismo**, Editora Ilumines, ed.. 2000, São Paulo, SP.

UNESCO - Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos – Disponível em : <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180por.pdf>> _Acessado em : 27/04/2015

VIJAYAKUMAR, R.; ADOLPH M., **Norma mundial para testes e classificação de filtros HEPA e ULPA**, Revista SBCC Edição 61, novembro/dezembro 2012. - Disponível em: <http://www.sbcc.com.br/revistas_pdf/ed61/44-49ArtigoTecnico_norma_mundial.pdf> Acessado em : 08/04/2015

WATSON, James D; MYERS, Richard M.; CAUDY, Amy A.; WITKOWSKI, Jan A.; **DNA Recombinante – Genes e Genomas**, 3ª Edição, Ed. Artmed, Porto Alegre, RS, 2009

WATSON, James D, BERRY, Andrew; **DNA: O segredo da Vida**, 1ª Edição, Ed. Companhia das Letras, São Paulo, SP. 2005

WATSON, J. D., CRICK F. H. C., **molecular structure of nucleic acids - A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid**, Nature vol. 171 VOL 171, page737, 1953. Disponível em <<http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>> Acessado em 12/10/2014.

WILKIE. Tom; **Projeto Genoma Humano – Um Conhecimento Perigoso**, 1ª Edição, Ed. Zahar, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

WILMUT, Ian; KEITH, Campbell; TUDGE, Colin; **Dolly, A Segunda Criação**, 1ª Edição, Ed. Objetiva, Rio de Janeiro, RJ, 2000.