

Capítulo 2

**Natureza vs. tecnologia;**  
**Natureza + tecnologia**

Neste capítulo serão investigados e comparados os fenômenos e trajetórias da natureza e da tecnologia: como são, como evoluem, o que têm em comum e quais as diferenças entre ambos. Também serão apresentados conceitos gerais concernentes à evolução dos seres vivos e à teoria da evolução, buscando desmistificar a concepção progressista da evolução e a teleologia, tanto na natureza quanto no processo de desenvolvimento tecnológico. Assim, perguntas como “é possível transpor conceitos da biologia para a tecnologia?” e “seriam as espécies extintas fracassos da natureza?” serão discutidas sob a ótica da biomimética.

## **2.1 Evolução natural, diversidade e variabilidade**

A evolução natural, como conceito e teoria científica, refere-se a um processo contínuo e intrínseco à vida orgânica, que proporciona a incrível diversidade morfológica observada no planeta Terra.

O principal responsável pela difusão desse conceito como processo biológico inerente (e inevitável) aos seres vivos foi Charles Darwin, naturalista britânico do século XIX. Seu livro *A Origem das Espécies* (1859) lançou as bases do pensamento evolucionista moderno. Seu antecessor mais conhecido foi Jean-Baptiste de Lamarck, naturalista francês, responsável por uma série de observações corretas a respeito da aquisição de caracteres morfológicos.<sup>16</sup> No entanto, Lamarck é mais lembrado pelo seu principal erro: a Lei de uso e desuso, segundo a qual as características morfológicas apareceriam

---

<sup>16</sup> Caracteres morfológicos referem-se a características físicas ou estruturais de um organismo – como forma, tamanho, cor, entre outras – que podem ser usadas para descrever e classificar os seres vivos.

e desapareceriam de acordo com a necessidade, e que os traços físicos assim adquiridos por uma geração seriam transmitidos (de forma até então desconhecida) para as gerações seguintes. À primeira vista essa ideia parece intuitiva, e é interessante estar atento ao fato de que a população, de forma geral, pensa assim – incluindo o próprio Charles Darwin. “Girafas apresentam pescoços longos para se alimentar das folhas mais tenras no alto das árvores”, ou “os macacos se tornaram bípedes para se deslocar de forma mais eficiente no solo, abandonando gradualmente a vida arborícola”. Soa científico.

Mas a verdade é que a evolução biológica é a causa e não o efeito da diversidade. O pescoço dos ancestrais das girafas não cresceu para que eles pudessem se alimentar de folhas mais altas. Nasceram ancestrais com pescoços de tamanhos variados, e aqueles de pescoço ligeiramente mais longos que a média da população enfrentavam uma competição menos acirrada por comida, dessa forma, suas chances de sobreviver eram ligeiramente maiores, e, sobrevivendo, conseguiram transmitir para as gerações posteriores a bagagem genética responsável pelo pescoço mais longo. O tamanho de pescoço mais adequado foi selecionado pelo ambiente, e não o contrário. Isso é, de forma sintética, a seleção natural – conceito elaborado concomitantemente por Charles Darwin e Alfred Russel Wallace. Se pescoços crescessem de acordo com a necessidade de se alimentar em fontes cada vez mais altas, haveria animais pescoçudos em outros ambientes. Mas só nas planícies africanas existiam animais com carga genética apta a gerar (e manter) pescoços maiores, uma vez que essa característica exige outras adaptações, como corações mais

potentes, para que o sangue alcance cérebros mais distantes. E a seleção natural, inexorável, continuou selecionando, dentre os pescoços cada vez mais desenvolvidos, os mais alongados. Dentre os ancestrais também nasciam indivíduos com pescoços abaixo da média, mas estes morriam porque enfrentavam uma competição alimentar ferrenha. Ou talvez, com campos de visão menos privilegiados, eles não conseguiam avistar um predador a tempo, tornando-se presas fáceis. Seja qual for a pressão seletiva (alimentação, predação ou ambas), girafas de pescoço curto não vigoraram nesses ambientes.

A evolução biológica atua por mecanismos diversos: o genótipo (bagagem genética) define as características que podem ser manifestar através do fenótipo (conjunto de caracteres físicos, parte herdada, parte adquirida). Gêmeos univitelinos, por exemplo, têm genótipo igual, como clones, mas suas características físicas podem variar em função dos hábitos de vida de cada um e de fatores abióticos do local onde habitam (como temperatura média e incidência solar). O genótipo também sofre alterações aleatórias, as chamadas “mutações”, que podem acarretar mudanças fenotípicas. Contudo, o DNA possui estratégias para evitar transformações muito radicais. São justamente essas mudanças que a pressão ambiental seleciona e que serão (ou não) transmitidas para a próxima geração. As mutações não estão, de forma geral, relacionadas com o ambiente, mas podem ser causadas pontualmente por ele, como no caso do câncer de pele, em que mutações no núcleo das células epiteliais podem ser causadas por radiação solar. Alterações e variações no código genético também ocorrem durante a divisão celular, através

da recombinação genética, quando as informações contidas no conjunto genético podem ser “embaralhadas”, gerando (ou não) novas combinações de códigos, como anagramas.

Os mecanismos epigenéticos também determinam a expressão ou supressão de caracteres (através da atividade dos genes) sem que o código genético seja alterado. Todas as células do corpo de um indivíduo possuem o mesmo código genético, entretanto, cada órgão, sistema ou tecido (entre outros) tem características próprias e suas células devem ser capazes de se organizar e funcionar de modo específico, produzindo proteínas e outras substâncias apropriadas. São os mecanismos epigenéticos que ativam ou inativam os genes para que isso aconteça. Essa característica é importante, por exemplo, nas fêmeas de mamíferos: a inativação do segundo cromossomo X é necessária para que os produtos desse gene não sejam gerados em dobro.

Mas se, sob uma ótica global, a seleção natural aumenta a diversidade biológica, localmente ela pode agir de forma oposta: mudanças ambientais drásticas podem selecionar, dentre uma população variada, um genótipo específico, eliminando abruptamente todos os outros. Esses eventos são conhecidos como deriva genética, e podem levar populações isoladas à extinção.

A evolução tecnológica, por outro lado, não opera de forma independente dos organismos e surge exatamente das atividades intelectuais e práticas, das quais depende fundamentalmente para se desenvolver.

## 2.2 Tecnologia e evolução tecnológica: uma breve introdução

Identificar o percurso da evolução tecnológica é relativamente simples, principalmente por sua ligação intrínseca com a evolução humana e com os avanços históricos da humanidade. Entretanto, definir com exatidão o conceito de tecnologia é uma dificuldade compartilhada por diversos autores (Basalla, 2002; Aunger, 2009; 2010). A palavra “tecnologia” vem do idioma grego e se originou a partir da fusão dos termos *téchnē* – que pode significar “arte”, “habilidade” e “artesanato” – com *logía* – que significa “o estudo de”. Mas a busca pelo significado desse termo resulta em uma diversidade de definições. Mitcham (1994) define a tecnologia como “a construção e o uso de artefatos”, enquanto Aunger (2010) traz uma definição mais ampla, organizando a tecnologia em três categorias:

- **Conhecimento** – técnica (o *know-how* especializado para inventar e construir artefatos);
- **Atividade** – a técnica aplicada na prática para a produção de artefatos;
- **Produto** – artefatos (produtos da atividade).

Uma definição bastante abrangente pode ser encontrada na enciclopédia colaborativa Wikipédia:

Tecnologia é a construção, modificação, uso e conhecimento de ferramentas, máquinas técnicas, artesanatos, sistemas e métodos de organização a fim de solucionar um problema, melhorar uma solução já existente, atingir um objetivo, lidar com uma determinada relação entrada/saída, ou para exercer uma função específica.

Também pode se referir ao conjunto de tais ferramentas, maquinário, modificações, arranjos e procedimentos. As tecnologias afetam significativamente a habilidade do homem, bem como de outros animais, de controlar e se adaptar ao seu ambiente natural (Wikipédia, 2015).

No senso comum é recorrente que se defina tecnologia como uma aplicação da ciência na prática. Seu surgimento, contudo, é muito anterior à concepção moderna de ciência, operando de forma totalmente independente do chamado método científico. A tecnologia, é importante frisar, foi o principal fator a diferenciar os primeiros hominídeos de outros ancestrais que temos em comum com os chimpanzés e gorilas, cerca de 4 milhões de anos atrás (Ambrose, 2001).

Alguns autores defendem que a tecnologia seria um fenômeno exclusivamente humano, de forma que o termo não seria aplicável aos artefatos criados e/ou utilizados por animais em função de sua rudimentaridade, sobretudo quando comparados aos produzidos pelas culturas humanas. Alguns autores admitem manifestações como a produção de ferramentas por chimpanzés ou artefatos criados com galhos pelos neandertais apenas como indícios da origem da tecnologia (Basalla, 2002; Aunger, 2010). Por outro lado, outros autores, como McGhee (2011), combatem a ideia da tecnologia como fenômeno que diferenciaria os humanos (ou, pelo menos, os primatas) do restante da natureza, apresentando o corvo-da-nova-caledônia e outras dez espécies capazes de produzir e utilizar como ferramentas artefatos encontrados na natureza. No trabalho também é discutida a abordagem conceitual para a classificação de “ferramentas”, pontuando que algumas construções animais

apresentam alta eficiência e, por conseguinte, considerável refinamento “projetual”. Esses e outros comportamentos são tratados por Hansell (2005, 2007) como uma arquitetura animal (*animal architecture*). Entre os exemplos apresentados pelo autor destaca-se a construção de ninhos por pássaros através de cinco diferentes e eficientes técnicas, sendo elas: empilhamento; emaranhamento; “fixação-velcro”; costura; e tecelagem. Outro bom exemplo é o do molusco marinho *Amphioctopus marginatus*, conhecido como polvo do coco, que ganhou esse nome popular em função de seu comportamento “arquitetônico”: conchas e cascas de coco dispersas no mar são apropriadas pelos indivíduos desta espécie para a construção de abrigos. Vespas e marimbondos também se mostram exímios construtores, utilizando duas técnicas principais para a construção de suas colônias: adobe e papel.

McGhee (2011) acrescenta à discussão exemplos de cupins que também exibem uma distinta técnica na construção de suas habitações, o que é especialmente notório na espécie australiana *Amitermes meridionalis*. Os indivíduos dessa espécie, conhecidos como cupim-bússola, constroem cupinzeiros de seção alongada, cujo eixo maior é sempre orientado na direção norte-sul. Assim, independentemente da hora do dia, a construção recebe sol em apenas um dos lados, o que ocasiona um fluxo constante de ar, que vai da face sombreada para a face iluminada. Por fim, cabe citar o exemplo bastante conhecido dos castores, que utilizam galhos, toras de madeira, pedras e adobe (barro e argila) para a construção de seus alojamentos, cujas entradas subaquáticas levam a estruturas flutuantes em forma de domo, bastante eficientes para protegê-los dos predadores (McGhee, 2011). Indo um



pouco além da construção de abrigos, o que chama atenção nesses roedores é a criação de represas artificiais através da construção de diques. Essas barragens construídas por castores alcançam em média 450 metros de comprimento e, em 2009, no Parque Nacional Wood Buffalo (Canadá), foi descoberta a maior encontrada até hoje, que com 850 metros pode ser vista do espaço. Estima-se que a construção do dique seja resultado do esforço conjunto de várias famílias de castores ao longo de vários meses. Portanto, pode-se refletir não somente sobre a capacidade construtiva individual, mas também sobre esforços colaborativos em outras espécies além da humana.

Outro ponto de discordância na definição de tecnologia é se ela está necessariamente ligada à criação ou à aplicação de artefatos materiais, pois essa conceituação excluiria fenômenos como os de organização social e política e de posições ideológicas, relacionadas, por exemplo, à “ética da tecnologia” (Mitcham, 1994; Aunger, 2009; 2010).

Embora cercado de tanta discussão, parece relativamente seguro afirmar que o fenômeno da tecnologia é bastante pronunciado na espécie humana, sendo ou não manifestado de maneira rudimentar em outras espécies, podendo ser fruto tanto da necessidade quanto da pura inventividade. Também pode-se descrevê-lo, considerando exclusivamente o gênero *Homo*, como um processo cumulativo – que representa um progresso evolutivo ascendente ao longo do tempo – em repertório e em manifestações culturais e sociais.

### **2.3 Natureza x tecnologia: variação, invenção e mutação**

Frequentemente é aplicado um olhar funcionalista para fazer referências às estruturas encontradas na natureza. Com isso, elas acabam sendo estudadas e compreendidas a partir das funções que exercem, como se tivessem sido projetadas com tal propósito. Essa abordagem é, provavelmente, fruto da relação intrínseca entre o homem, a tecnologia e seu espaço, o “mundo dos artefatos fabricados”, em oposição ao restante da natureza. Assim, dificilmente pensamos na biologia sem pensar em termos antropomórficos (Popper, 2002). Abordando as estruturas naturais a partir de sua função, tendemos a falar, por exemplo, “do objetivo das placas do estegossauro” e “da função do olho ou da mão”, ou “que o tentilhão [pássaro] tem um forte bico curto e grosso, a fim de quebrar nozes” (Ruse, 2004, p. 7), revelando uma influência e a herança da Lei de uso e desuso do pensamento lamarckiano, o que é denominado por Ruse (2004) “*function-talk*” (descrição por função). Seguindo essa lógica, quando olhamos a natureza, obtemos a imagem de um universo “inventivo ou até criativo, no qual emergem coisas novas em novos níveis” (Popper, 2010, p. 236), mas que é tão somente o resultado de milhares de anos de evolução em que mutações aleatórias e pressões seletivas geraram estruturas que parecem ter sido intencionalmente projetadas. Perutz (2003) ressalta os diferentes trajetos percorridos pelos artefatos e produtos, frutos da intencionalidade exercida através de um projeto prévio e dos seres vivos:

[...] os artefatos criados pelo homem são deliberadamente projetados, enquanto as estruturas da natureza

evoluíram a esmo, ao longo de milhões de anos através da recombinação de genes, da mutação e da seleção natural de características, o que resultou em descendentes mais bem preparados (Perutz, 2003, p. 229).

A evolução biológica não tem, portanto, compromisso com a função ou utilidade das estruturas geradas. É justamente o ambiente que cria as restrições que colocarão o funcionamento desses recursos à prova, permitindo aos seres mais adaptados ao meio gerar mais descendentes e se perpetuar.

É necessário pontuar, no entanto, que a evolução biológica opera de modo lento e gradual. Não existem saltos abruptos na evolução – as mutações muito radicais em geral não são toleradas pelo ambiente ou pela própria espécie (corre-se o risco, por exemplo, de que esse novo indivíduo seja incapaz de gerar descendentes férteis com outros membros de seu grupo). Ao longo do processo de seleção natural, perpetuam-se as melhores soluções encontradas em uma determinada linha; as mudanças são sempre pequenas e incrementais.

Marcus (2008) utiliza a alegoria de uma cadeia de montanhas (Figura 6) para representar diferentes soluções incrementais da natureza que culminaram na criação de estruturas eventualmente análogas (com função semelhante), mas que se originaram e evoluíram independentemente umas das outras. Dadas as sucessivas mutações submetidas à pressão seletiva ao longo do tempo, cada classe de solução se dirigiria autonomamente em direção ao cume de uma montanha (que representa a máxima eficiência possível, alcançada mediante um processo cumulativo operado pela seleção natural).

Desse modo, seria inviável passar de uma montanha a outra: para fazer isso, o indivíduo teria de andar na contramão da evolução – regredindo em uma solução já desenvolvida e selecionada naturalmente para que a espécie encontrasse uma solução diferente que a permitisse evoluir em direção ao topo de uma nova montanha.



**Figura 6:** Soluções incrementais no processo evolutivo: representação da alegoria da cadeia de montanhas proposta por Marcus (2008)

Fonte: elaborado pela autora.

Não se pode afirmar que as soluções existentes são necessariamente as melhores possíveis do ponto de vista conceitual

ou mecânico; é preciso considerar a aptidão genética das espécies e indivíduos para o desenvolvimento de uma ou de outra estrutura. Conforme exemplificado pelo autor, os seres humanos mantiveram a coluna vertebral – uma solução longe da ideal para nos manter de pé – não por ser a melhor dentro de todas as possibilidades mecânicas, mas por termos evoluído a partir de quadrúpedes que possuíam essa estrutura. Nas condições de pressão seletiva existentes no ambiente, andar de pé, mesmo que com sacrifício para a coluna, era melhor do que não fazê-lo e continuar a se locomover apoiando-se em quatro membros.

Essas e outras estruturas encontradas na natureza (como o cérebro humano) são definidas por Marcus como *kluge*, termo utilizado por engenheiros para designar uma desajeitada ou deselegante mas surpreendentemente efetiva solução para um problema – o que em português denominaríamos “gambiarra”. Os *kluges* seriam criados por engenheiros com o principal propósito de economizar tempo ou dinheiro. O processo evolutivo, contudo, não sendo fruto de pensamento racional, não leva em conta tempo ou o dinheiro – e ainda assim observamos uma série de *kluges* nas construções da natureza. Outro exemplo de “gambiarra biológica” é a anatomia do olho humano: a retina fica no fundo do globo ocular, sendo afetada por tudo o que passa entre ela e a córnea; inclusive por um conjunto de nervos ópticos, que dão aos olhos humanos alguns pontos cegos. De acordo com Marcus (2008), a explicação é simples: a natureza é propensa a fazer gambiarras porque ela não “se importa” se seus produtos são perfeitos ou elegantes. Quando algo funciona, se perpetua; quando não funciona, desaparece. Genes que produzem

soluções de sucesso tendem a se propagar; genes que resultam em criaturas inaptas tendem a ir desaparecendo; todo o resto é metáfora. “Adequação”, não “beleza”, é o nome do jogo.

Esse conceito é semelhante ao de *Adaptive Landscape*<sup>17</sup> (Panoramas Adaptativos), abordado por McGhee em *The Geometry of Evolution* (A Geometria da Evolução) e proposto originalmente por Sewall Wright. Ao modelar o mesmo cenário, McGhee (2006) classifica o salto de um topo ao outro como “menos provável”, e não “impossível”, descrevendo que seria mais provável que indivíduos saltem (morfologicamente falando) entre picos de pequenas montanhas do que entre picos de grandes e altas montanhas. McGhee pontua que grandes saltos acarretariam mudanças morfológicas radicais, o que provavelmente criaria combinações deletérias.

O processo evolutivo é cumulativo, perpetuando e aprimorando soluções para os mais variados desafios simultaneamente. Lembremos que a diversidade biológica que observamos hoje é o resultado dos processos de um percurso estimado em 3,5 bilhões de anos.

## 2.4 Hibridação

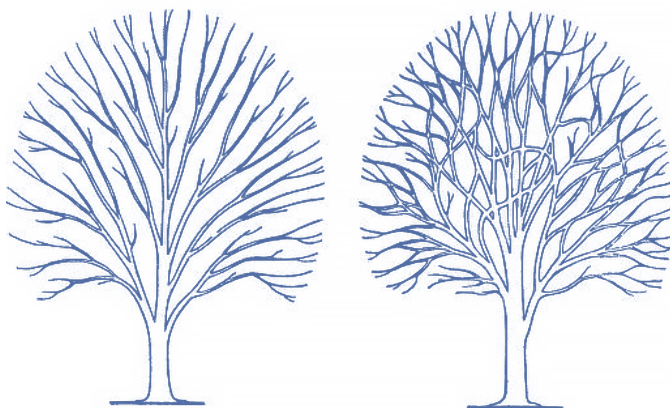
Sabemos que a natureza possui uma enorme diversidade de espécies, mais ou menos complexas e com variadas soluções funcionais testadas ao longo de um processo contínuo de erro e tentativa via pressão seletiva. Assim, como resultado,

---

17 Este conceito será detalhado no capítulo “Divergência, convergência e as limitações do design bioinspirado”.

temos espécies raramente capazes de se reproduzirem umas com as outras, confirmando um longo processo de especiação.<sup>18</sup> Por isso, a hibridação – cruzamento entre indivíduos de espécies diferentes – raramente gera prole e, menos frequentemente ainda, resulta em indivíduos férteis.

No campo tecnológico, entretanto, a combinação de artefatos e técnicas diferentes com frequência origina novas e férteis tecnologias – capazes de gerar outras inovações. A Figura 7 foi criada pelo antropólogo Alfred L. Kroeber para comparar a evolução biológica com o desenvolvimento cultural humano e foi aplicada por George Basalla (2002) para contrapor as evoluções naturais e tecnológicas.



**Figura 7:** Evolução natural *versus* evolução tecnológica

À esquerda, a evolução biológica. À direita, o desenvolvimento cultural humano.

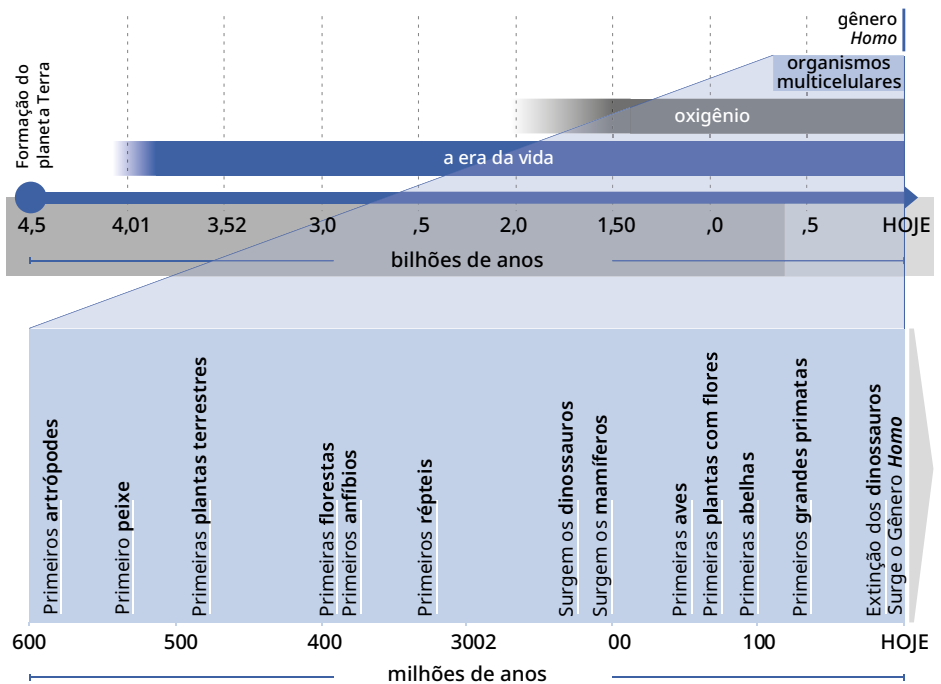
Fonte: Kroeber (1923, p. 260).

<sup>18</sup> Especiação é o processo impulsionado por mutações genéticas e pressões seletivas em que populações se diferenciam gradualmente, originando novas espécies com características distintas.

Em função da capacidade de hibridação, o fenômeno tecnológico tem percorrido uma trajetória hiperbólica ascendente desde o período Paleolítico, há cerca de 2,5 milhões de anos, com uma expressividade ligeiramente maior a partir da evolução do *Homo sapiens*, há aproximadamente 50 mil anos. O desenvolvimento tecnológico intensificou-se na Idade Moderna, sobretudo a partir da primeira Revolução Industrial, e na Idade Contemporânea, principalmente com a segunda e a terceira Revoluções Industriais (esta última também chamada de “Revolução Digital”). Entretanto, toda a trajetória do ser humano moderno representa cerca de 0,03% (200 mil anos) do percurso da vida multicelular na Terra e, se considerarmos apenas a presença do *Homo sapiens*, esse percentual cai para 0,0008%.

Ainda que a pluralidade tecnológica tenha atingido um índice espantosamente alto, ela é fruto de uma presença relativamente curta do homem na Terra e está restrita a um método projetual (tecnológico) que opera através da criatividade humana. A natureza, por outro lado, gerou ao longo de quase 4 bilhões de anos uma quantidade aproximada de 8,7 milhões de espécies a partir de simples organismos unicelulares, as primeiras formas de vida existentes (Figura 8). Nesse percurso, um número muito maior de espécies foi colocado à prova por diversos fatores, resultando em registros fósseis de seres já extintos em nossa fauna terrestre atual.





**Figura 8:** Linha do tempo da vida na Terra

Acima: linha do tempo do planeta Terra; a vida surgiu há mais de 4 bilhões de anos, enquanto os homens anatomicamente modernos surgiram há cerca de 200 mil anos.

Abaixo: linha do tempo desde o surgimento dos organismos multicelulares até os dias de hoje; a presença do gênero *Homo* se deu em apenas 0,03% deste percurso.

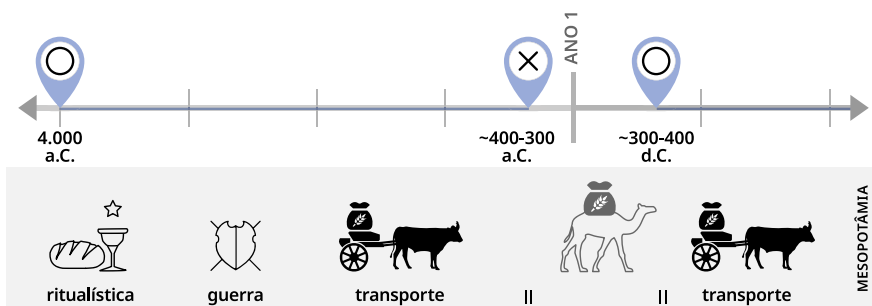
Fonte: elaborado pela autora.

## 2.5 Acumulação e repertório

Durante o processo evolutivo é possível que as espécies percam uma ou outra característica que carregavam em seu código genético. A partir desse ponto, somente se

perpetuam as características que permaneceram em seu genótipo. Dessa forma, mesmo tendo evoluído a partir de homínidos *Australopithecus*, seria impossível que nossa espécie gerasse, hoje, um exemplar desse gênero, pois diversas características se perderam durante o percurso evolutivo do gênero *Homo* até o *Homo sapiens*, e outras surgiram. Assim, as características genéticas são indissociáveis dos indivíduos e grupos e somente através deles podem se perpetuar.

Em contraponto, a perpetuação das tecnologias pode se dar através de formas como a linguagem oral e escrita, a cultura e o comportamento dos indivíduos. Ou seja, é possível que sejam aprendidas ou resgatadas quando se faz necessário.



**Figura 9:** Linha do tempo de invenção e uso da roda na Mesopotâmia

Fonte: elaborado pela autora.

A roda, por exemplo, tida pela cultura ocidental como uma das principais e mais importantes invenções do homem e um dos principais indicadores de progresso tecnológico na concepção das civilizações ocidentais, passou por ciclos de uso e desuso (Figura 9). Índícios arqueológicos apontam

para a invenção da roda por volta do quarto milênio a.C. na Mesopotâmia, região localizada entre os rios Tigre e Eufrates, e em pouco tempo a tecnologia se difundiu até o noroeste da Europa. Em um primeiro momento, os veículos com rodas foram utilizados com fins ritualísticos e, posteriormente, em guerras, para só então adquirir a função de transporte de suprimentos. Entre o terceiro e o sétimo século a.C., no entanto, as civilizações do norte, oriente médio e oriente da África substituíram o transporte feito por veículos com rodas por camelos, considerados mais eficientes que carroças e charretes no transporte de carga. Esses animais eram capazes de carregar mais peso, se locomover mais depressa e ir mais longe com uma quantidade menor de água e comida quando comparados aos animais tradicionalmente utilizados, como os bois. Ainda em comparação aos veículos de carga com rodas, os camelos não demandavam a construção de estradas ou pontes. Com isso, o uso dos camelos perdurou por cerca de mil anos, até que a roda voltou a ser utilizada (Basalla, 2002).

## **2.6 Evolução, progresso e o mito da teleologia**

Segundo a corrente funcionalista da antropologia (abordagem adotada no senso comum), a tecnologia, assim como traços culturais e comportamentais, teria a função de responder a uma necessidade do ser humano. Esses argumentos são combatidos por Basalla (2002), que afirma que até mesmo invenções como a roda e os veículos automotores não foram criadas para satisfazer a demanda de transporte, ganhando essa função apenas alguns séculos depois. Do mesmo modo, a agricultura e a arquitetura não resultaram das necessidades

biológicas de nutrição e abrigo, mas encontraram sentido posteriormente à sua invenção. A invenção do fonógrafo por Thomas Edison em 1877 é outro exemplo notável. Ao divulgar sua invenção, Edison escreveu um artigo propondo dez usos para o fonógrafo, que incluíam: preservar as últimas palavras de pessoas que estavam próximas de morrer; gravar livros em áudio para cegos; e ensinar como soletrar. A reprodução musical figurava apenas em quarto lugar da lista de prioridades do inventor; registra-se também que anos depois Edison teria dito ao seu assistente que a invenção não tinha valor comercial (Diamond, 1998).

O curso das invenções e descobertas tecnológicas não é, portanto, necessariamente teleológico – “orientado por finalidades”. De modo semelhante, com frequência é aplicada a expressão “tentativa e erro” para se referir às evoluções adaptativas surgidas na natureza, inclusive por autores da área de biomimética como Bar-Cohen (2005, 2012). Essa interpretação da evolução das espécies também foi aplicada pelo filósofo Karl Popper no livro *Objective Knowledge* (Conhecimento Objetivo, em tradução livre) (1972), na ocasião em que se retratava após atacar a teoria darwinista. No entanto, “tentativa e erro” denota intencionalidade e, conseqüentemente, a presença de uma entidade racional (explicitada pela presença de um objetivo) representada pela natureza. Se aplicável, a forma mais aproximada do considerado correto sob o ponto de vista da teoria darwinista seria entendendo “erro” como algo que escapa a um padrão<sup>19</sup> e “tentativa” como a verificação prática de uma matriz finita de possibilidades: sobreviver ou não; perpetuar seu genoma ou não.

---

19 Nesse caso, o “padrão” morfológico, mental ou gênico de um indivíduo.

## 2.7 Diversidade, variabilidade e evolução natural

As mutações, a variabilidade genética (provida pela reprodução sexuada) e os fenômenos epigenéticos deram origem a uma incrível diversidade de espécies – vivas ou já extintas. Cada pequena alteração orgânica, mesmo que a nível molecular, é capaz de alterar significativamente o desempenho individual de cada ser vivo, dando-lhe ligeira vantagem (ou desvantagem) e permitindo (ou não) que enfrente os desafios ambientais propostos até que seja capaz de se reproduzir.<sup>20</sup> Esse fenômeno, embora pareça pouco relevante a curto prazo, é capaz de cumulativamente propiciar grandes e sensíveis mudanças no panorama das espécies.

É crucial, no entanto, analisar outro componente desse cenário: além de seres vivos em constante mudança, as transformações geológicas, ambientais e ecológicas deram origem a constantes e mutáveis desafios ambientais. Quando se trata de “sobrevivência dos mais aptos”, portanto, a aptidão deve ser avaliada em função do contexto ambiental, ecológico e geológico em questão.

Diversos seres já extintos poderiam encontrar algum sucesso no presente, tal como espécies invasoras se adaptam em outros habitats que não o seu natural. O processo de evolução biológica não deve então ser tomado como um caminho em direção ao progresso.<sup>21</sup> O caráter cumulativo do processo evolutivo é capaz de gerar estruturas mais complexas, mas no que se refere ao preparo em relação às pressões seletivas,

---

20 Este é resumidamente o conceito de sobrevivência evolucionária.

21 Ao menos as evidências científicas não apoiam essa afirmação.

a simples continuidade da existência de bactérias e algas nos dias atuais evidencia a não relação entre complexidade e aptidão. Logo, seres já extintos podem exibir sistemas e soluções consistentes para problemas projetuais, pois em algum momento geológico foram capazes de existir e se perpetuar.

Finalmente, pode-se levantar a última questão: além dos fatores bióticos, quais variáveis e limitações permeiam os projetos da natureza?