

Domesticação De Novo



**Rewysson Alves Ribeiro da Silva¹, Priscilla Anunciada Alves Moreira Ramalho²,
Yorhan Hansley da Silva de Medeiros³, Jaime Corbiniano dos Santos Neto¹,
Daniel Henrique Feitosa e Silva⁴, Ana Paula Medeiros dos Santos Rodrigues Mendonça⁵**

¹Graduado(a) em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

²Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Melhoramento Genético de Plantas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, PE

³Mestrando no Programa de Pós-graduação em Melhoramento Genético de Plantas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, PE

⁴Graduando em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

⁵Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Autor para correspondência – rewysson.alves@gmail.com

Palavras-chave: seleção, evolução, melhoramento genético

A domesticação de plantas permitiu que o homem realizasse seleção de espécies vegetais, passando a cultivá-las conforme suas necessidades, ao passo que elas se adaptaram ao cultivo em novos ambientes, o que deu origem à agricultura que conhecemos. As características modificadas, presentes nas plantas cultivadas, compõem a chamada síndrome da domesticação. Na natureza, no decorrer da evolução os principais eventos foram a seleção, a poliploidia e a hibridação interespecífica. No melhoramento genético realizado atualmente, são utilizados métodos cada vez mais precisos, como é o caso da domesticação *de novo*.

A origem da domesticação

A domesticação de plantas constitui um processo de interação entre homens e plantas, que ocasiona mudanças em espécies vegetais selvagens, por meio de seleção gradativa de características desejáveis, tornando-as úteis ao homem e permitindo o cultivo agrícola. Sua origem remonta a eras primitivas, notadamente quando as primeiras populações humanas mudaram seus hábitos de caça e coleta e passaram a cultivar os vegetais, dando origem à agricultura.

Esse fenômeno possibilitou ao homem selecionar espécies em seu ambiente natural e cultivá-las conforme as julgasse importantes para seu próprio consumo. É considerado um dos processos mais importantes relacionados à história dos seres humanos no planeta, pois transformou o comportamento do homem de caçador, explorador e nômade, para agricultor estabelecido, caracterizando-se como um pré-requisito para o surgimento das civilizações.

A domesticação pode ser entendida como um processo evolutivo, resultado de inúmeras mudanças genéticas e morfológicas das plantas e que levou a modificações comportamentais humanas relacionadas com o desenvolvimento da agricultura de subsistência (cultivo), efetuada, primariamente, pelo grupo dos caçadores-coletores. Assim, os povos antigos iniciaram um programa de melhoramento de plantas e transformaram

inúmeras espécies vegetais selvagens em domesticadas como, por exemplo, o arroz (*Oryza sativa*), o trigo (*Triticum spp.*) e o milho (*Zea mays L.*).

Com o passar do tempo, o manejo adotado pelo homem nas espécies vegetais facilitou o aparecimento de características que propiciaram a adaptação das plantas submetidas à seleção, tornando algumas delas indispensáveis às necessidades humanas. Simultaneamente, o ser humano modificou seu comportamento para se moldar à nova realidade sedentária e ao conseqüente estabelecimento da agricultura.

A síndrome da domesticação

A síndrome da domesticação é o conjunto de modificações das características originais das espécies vegetais, consequência do processo de domesticação. Essas mudanças são as diferenças existentes entre as plantas selvagens e as domesticadas, podendo-se incluir espécies cultivadas que apresentam características similares às de seus ancestrais silvestres, bem como espécies que perderam totalmente a conexão entre as duas linhagens. Esses conjuntos de caracteres distintos podem ser evidenciados, por exemplo, ao comparar o milho (*Zea mays L.*) com o seu ancestral selvagem, o teosinto [*Zea mays L. subsp. mexicana* (Schrad.)], que apresenta características morfológicas distintas, tais como arquitetura da planta, tamanho das folhas, tamanho e número de flores por planta (Figura 1).

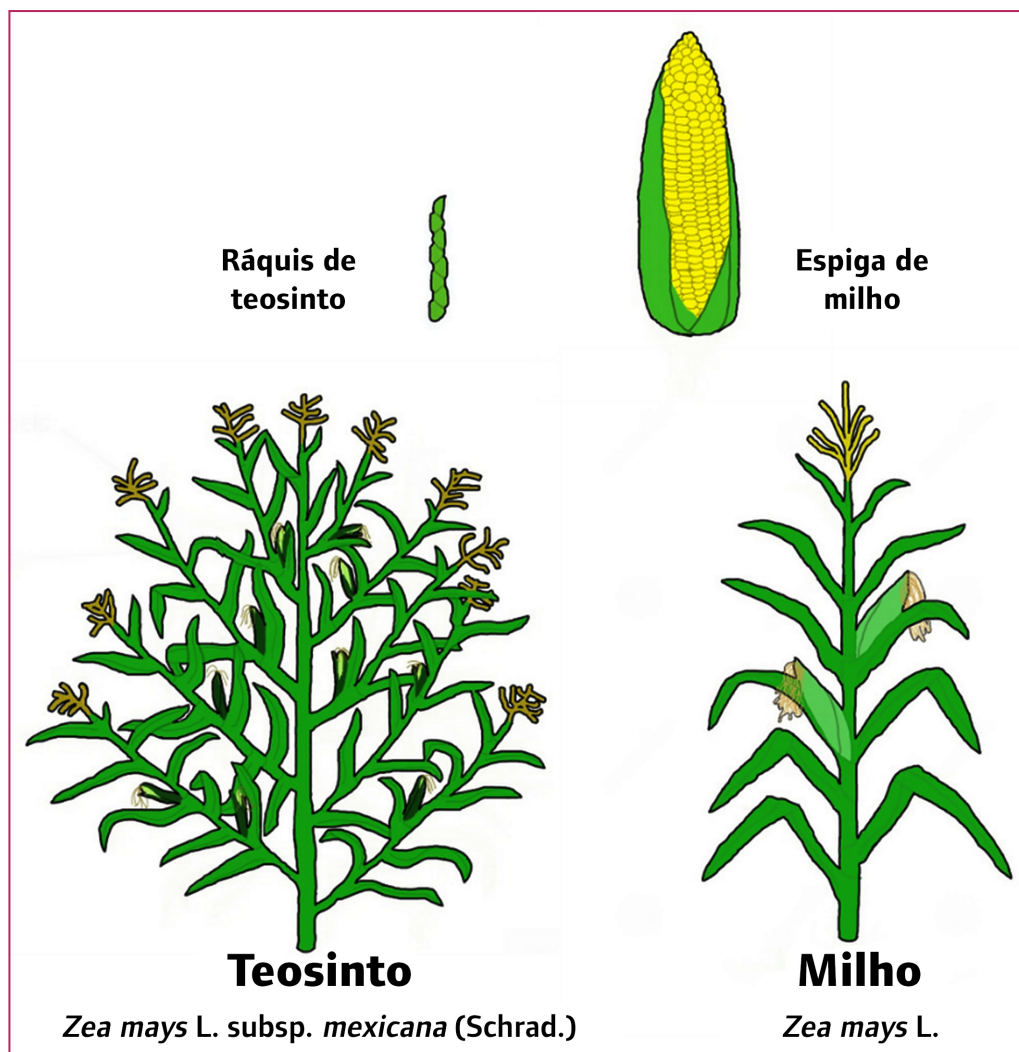


Figura 1. Diferenças fenotípicas existentes entre o milho e seu ancestral.

A evolução de espécies pode se dar ao longo de milhares de gerações ou em um curto espaço de tempo, dependendo da planta, à medida que as características desejáveis são selecionadas pelo homem no ambiente agrícola e fixadas no **genoma** da espécie vegetal.

Em alguns casos, as transformações que as plantas sofreram ao longo do processo de domesticação foram tão intensas que elas perderam a capacidade de sobrevivência sem a interferência do homem. Dentre as características mais comuns da síndrome de domesticação estão combinações de várias características distintas, tais como alterações nos metabólitos secundários (ou especializados), retenção de sementes (não quebra), alterações na morfologia das partes vegetativas aéreas e alterações nos frutos, tais como au-

mento no tamanho do fruto ou das sementes, mudanças na ramificação e estatura, seguidas por mudança na estratégia reprodutiva.

A distribuição da frequência das características da síndrome da domesticação ocorreu de forma variada nas diferentes regiões e culturas. De modo geral, as mudanças verificadas em relação aos metabólitos secundários, frutos, partes aéreas vegetativas e morfologia das sementes foram comuns em todas as regiões, enquanto caracteres intimamente ligados aos ciclos de vida das plantas geralmente diferiam com a influência do clima e da ecologia nas respectivas floras regionais. Demais diferenças que podem caracterizar a síndrome da domesticação podem estar relacionadas à técnica de colheita, tecnologias e preferências específicas das regiões geográficas.

Genoma - Conjunto cromossômico que inclui todo o material genético de uma espécie. O termo é utilizado para se referir ao lote cromossômico **haploide** da espécie.

Haploide - Organismo que possui um único conjunto de cromossomos, um cromossomo de cada par.

Processos de domesticação

Estima-se que mais de 2.500 espécies de plantas tiveram algum grau de domesticação e aproximadamente 300 espécies foram totalmente domesticadas. O processo de domesticação envolve várias etapas e está diretamente ligado ao estilo de vida do homem. Ele foi iniciado com a formação das primeiras populações de plantas cultivadas, selecionadas segundo critérios visuais e que resultaram em um aumento na frequência de alguns alelos e desaparecimento de outros, dando início aos primórdios do melhoramento. Porém, o processo de domesticação não é algo simples e muitas espécies sofreram múltiplos eventos de domesticação. Hoje em dia, algumas vezes há necessidade de um cruzamento pós-domesticação com espécies an-

cestrais, a fim de buscar alelos desaparecidos no processo de domesticação.

Na criação de novas espécies cultivadas atuaram: seleção, **poliploidia** e **hibridação** interespecífica. Por exemplo, na família Brassicaceae, a mostarda selvagem (*Brassica oleracea* L.), através de mutações e recombinações genéticas, deu origem a diversas variedades e espécies por meio da seleção de linhagens que apresentavam desenvolvimento diferenciado de órgãos específicos como plantas com predominância nos botões terminais, resultando no repolho (*B. oleracea* L. var. *capitata*), plantas com aumento de flores, resultando no brócolis (*B. oleracea* L. var. *italia*), e plantas com caule diferenciado, o couve-rábano (*B. oleracea* L. var. *gongylodes*) (Figura 2). A hibridização seguida de **alopoliploidia** da mostarda selvagem com repolho chinês (*B. campestris* L. var. *chinensis*) originou a canola (*B. napus* L. var. *oleifera*) (Figura 2).

Poliploides - Organismos que possuem mais que dois genomas.

Hibridação - Cruzamento entre indivíduos (plantas) de espécies diferentes.

Alopoliploide - Planta originada de um cruzamento entre duas plantas de espécies diferentes, que sofreu duplicação no número cromossômico.

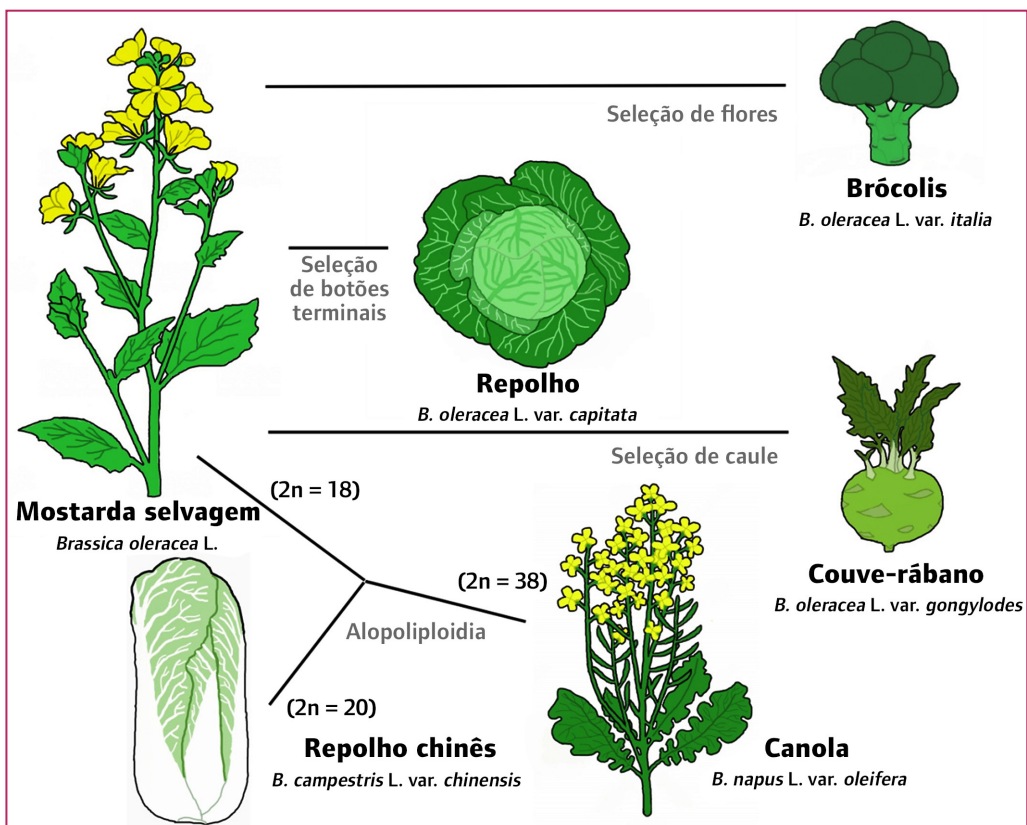


Figura 2. Criação de espécies a partir da mostarda selvagem.

Observa-se que alterações na morfologia e fisiologia indicam a presença de alterações genéticas, mutações que podem ser passadas para gerações seguintes, além de recombina-

ção através de cruzamentos, aumentando a diversidade genética. Dessa forma, a seleção natural e artificial de uma espécie ocorrem a partir da existência de diferenças vantajosas,

que fazem indivíduos se sobressaírem em relação a outros da mesma espécie. No entanto, a maioria das mutações gênicas que ocorrem são **deletérias** e recessivas. Nesse processo, o homem às vezes pode atuar contra a seleção natural, a fim de preservar as variantes de interesse. Culturas importantes como o centeio, a cevada, o feijão, o milho e o tomate foram originadas de mutações seguidas por seleção.

No momento da divisão celular para a produção de gametas femininos e masculinos podem ocorrer erros na separação dos cromossomos e estes gametas podem gerar indivíduos haploides, **triploides**, **tetraploides** e **poliploides**. Para um aprofundamento maior no assunto de poliploidia, recomendamos a leitura do artigo *Genética na Escola* v. 15, n. 2, p.128-141, 2020. O processo de alteração de número de cromossomos ocorre naturalmente, mas isso não garante que as características geradas sejam sempre desejáveis. A poliploidia foi um processo importante para a domesticação de algumas culturas como o algodão, o café, o fumo e o trigo. No caso do café, a espécie *Coffea arabica* L. é alotetraploide, possuindo 44 cromossomos, predominantemente **autógama** e autocompatível, enquanto outras espécies do gênero *Coffea* são **diploides**, **alógamas** e autoincompatíveis. No processo de domesticação das plantas, a alopoliploidia foi muito importante, consistindo na duplicação do número cromossômico, normalmente após um evento de hibridação, diferindo da autoploidia, que resulta da união de gametas contendo genoma idêntico, duplicado e oriundo de uma única espécie.

A hibridação, ou cruzamento entre diferentes espécies correlatas, pode proporcionar a troca e transferência de genes. Esse tipo de processo pode resultar em uma grande e complexa diversidade genética **segregante** e diferentes arranjos cromossômicos. Entretanto, a maioria das hibridações interespecíficas não resultam em combinações equilibradas, sendo mais difícil encontrar uma espécie que tenha se originado de duas ou mais espécies por esse processo, exceto quando multiplicadas assexuadamente. Entre os exemplos naturais estão os lírios e as rosas, além de cultivares de videira.

Nos casos em que a hibridação é seguida de sucessivos cruzamentos com o ancestral principal, caracterizando o processo de introgressão, alguns genes da outra espécie são introduzidos à descendência do genitor, sem que haja perda de identidade taxonômica, enriquecendo o genoma da espécie e aumentando a variabilidade genética. A introgressão pode ser confundida com **transgenia**, porém, a transgenia é uma técnica que insere um gene de um indivíduo em outro de espécie não relacionada e até de reino distinto, através de meios que não sejam o cruzamento convencional.

Domesticação de novo

A domesticação *de novo* consiste na transferência de genes de interesse, presentes em uma espécie cultivada, para uma espécie selvagem relacionada. Inicia-se com a seleção de alguns genótipos presentes em espécies selvagens ou semi-domesticadas que apresentem características promissoras para o melhoramento da espécie aos novos objetivos de produção, seguida pela rápida introdução de características relacionadas à domesticação. A domesticação de novo diferencia-se da introgressão por conta do indivíduo receptor dos genes de interesse, que é um indivíduo selvagem na domesticação de novo. No caso da introgressão, uma planta cultivada e de importância econômica recebe genes de interesse, geralmente relacionados à resistência a patógenos e pragas, com o objetivo de melhorar uma característica indesejada de uma planta de importância agrícola. É realizada por meio de ferramentas de **edição genômica** e de melhoramento convencional, a fim de obter novas culturas que apresentem características de interesse agrônomo associadas às características nutricionais e de resistência da espécie selvagem.

A domesticação *de novo* também não se trata de transgenia. Com a utilização deste método é possível realizar o processo de domesticação de uma espécie em algumas dezenas de gerações, quando, historicamente, esse processo durava milhares de anos. A massiva diminuição de tempo utilizado nes-

Deletéria - Que possui efeitos danosos.

Transgenia - É um processo de engenharia genética que consiste na transferência artificial de um gene de uma espécie para outra, sendo que esse gene não seria transferido naturalmente.

Triploides - Organismos que possuem três conjuntos cromossômicos.

Tetraploides - Organismos que possuem quatro conjuntos cromossômicos.

Poliploidia - Condição na qual o número de conjuntos de cromossomos é maior do que dois. Ela pode se originar pela fecundação de gametas que não sofreram redução do número de cromossomos durante a meiose.

Autógamas - Plantas que se reproduzem por autofecundação.

Diploides - Organismos que possuem dois conjuntos cromossômicos.

Alógamas - Plantas que se reproduzem preferencialmente de forma cruzada com outras plantas da mesma espécie e como consequência têm na sua descendência elevada frequência de heterozigotos.

Edição Genômica - Processo de engenharia genética que se baseia na inserção, deleção ou modificação de um segmento de material genético em um sítio específico do genoma do indivíduo a ser editado.

Segregante - Que resulta da segregação (separação) aleatória do material genético entre os descendentes de um cruzamento.

te processo de domesticação deve-se ao emprego de técnicas de edição genômica, como **CRISPR/Cas-9**, aliadas a métodos de melhoria genética de plantas. Além do tempo reduzido para a obtenção de novas culturas, existem outras vantagens para sua utilização, como a manutenção da diversidade genética da espécie a ser domesticada, obtenção de culturas de maior resistência a fatores bióticos, como pragas e doenças, e fatores abióticos, como condições de excesso de salinidade e baixa precipitação.

Exemplos de utilização da técnica foram realizados em diversas espécies. Um deles foi a recuperação de antigos **genes elite** por meio da domesticação de parentes selvagens de espécies cultivadas. Os antigos genes elite foram perdidos ao longo do tempo por meio de seleção artificial, por não apresentarem grande importância para o melhoramento dessas espécies em outras épocas. Logo, ocorre a intenção de melhoristas em recuperar alelos de interesse encontrados em espécies selvagens para aplicar no melhoramento das espécies, além de realizar a inserção de genes de interesse de espécies domesticadas em espécies selvagens relacionadas e, posteriormente, realizar a sua domesticação.

Há a problemática de que características poligênicas, que são controladas por múltiplos genes, têm sua transferência ineficiente por hibridização ou edição genômica. Contudo, usando CRISPR-Cas9, características relacionadas à domesticação foram introduzidas com sucesso em *Solanum pimpinellifolium*, espécie selvagem de tomate, atingindo parcialmente o objetivo de inserção de genes de interesse com alta eficiência.

Diversas espécies selvagens com benefícios únicos podem se encaixar nos critérios para materiais de partida apropriados para domesticação de novo, como quinoa (*Chenopodium quinoa*), parentes silvestres do kiwi (*Actinidia deliciosa*), batata (*Solanum tuberosum*), pimenta (*Capsicum* spp.) e outras culturas. Porém, ainda existe a necessidade de estudos da viabilidade de obtenção de **cultivar elite** a partir dessas espécies selvagens. A domes-

tação completa de plantas selvagens requer pelo menos dezenas de alelos/genes editados com modificações, já que muitos genes de domesticação e melhoramento são variantes de expressão.

Embora a domesticação *de novo* seja muito mais eficiente do que a reprodução tradicional, processos cruciais para a utilização da técnica, como triagem e avaliação fenotípica de diferentes alelos, edição genômica e a **genotipagem** de indivíduos, são trabalhosos e de alto custo. Além disso, o tempo necessário entre o processo de domesticação e o de obtenção de uma cultura com bom desempenho agrônomico em condições de campo pode variar de anos a décadas, dependendo do número de genes a serem editados e do **ciclo fenológico** das plantas selvagens.

Considerando o avanço nos estudos de biotecnologia e edição genômica, é esperado que essas limitações sejam superadas no futuro. Logo, com a viabilidade do uso desta técnica, será possível a obtenção de novas espécies cultivadas com características de interesse, como alta produtividade, resistência a fatores bióticos e abióticos e elevados fatores nutricionais encontrados nas espécies selvagens e semi-domesticadas, o que pode resultar em uma nova forma para o melhoramento genético de plantas e para a agricultura.

Para saber mais

FERNIE, R. D.; YAN, J. De Novo Domestication: An Alternative Route toward New Crops for the Future, *Molecular Plant*, Cambridge, v.12, p. 615-631, 2019.

MEYER, R. S.; DUVAL, A. E.; JENSEN, H. R. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist*, v. 196, ed. 1, p. 29-48, 2012.

SERENO, M.J.C.M.; WIETHÖLTER, P.; TERRA, T. F. Domesticação de plantas. In: Barbieri RL et al (eds.). *Origem e evolução de plantas cultivadas*. Embrapa Informação Tecnológica. 2008.

YU, H.; LI, J. Breeding Future Crops to feed the world through de novo domestication, *Nature Communications*, Londres, v.13, p. 1171- 1175, 2022.

CRISPR-Cas9 - Técnica de edição do material genético, que consiste em causar cortes no DNA, induzindo o organismo a reparar o dano, e estes reparos causam alterações nas sequências de bases nitrogenadas, podendo alterar a função do gene.

Genotipagem - Procedimento para identificar sequências de bases que sabidamente variam entre diferentes indivíduos da mesma espécie.

Genes elite - Genes associados a características de alta produtividade, precocidade e resistência às pragas e doenças.

Ciclo fenológico - ciclo de mudanças de morfologia e fisiologia que ocorrem durante as diferentes fases de vida de uma planta.

Cultivar elite - Variedade de planta, resultante de seleção e propagação realizada pelo homem, que possui qualidades superiores.