

APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA DE ANÁLISE COMBINATÓRIA USANDO O TRIÂNGULO DE PASCAL PARA DESCREVER E CARACTERIZAR AS DIFERENÇAS DE VALORES MÉTRICOS PROGRESSIVOS DA ALTURA HUMANA

Mauro Osvaldo Medeiros¹

Sueli Maria Alves¹

Marcelo Teiji Kimura²

RESUMO: Os traços que possuem características quantitativas ou poligênicas são influenciados por diversos genes, sendo que cada um deles se separa conforme as “Leis de Mendel”. Ademais, ao analisar uma população em segregação, nota-se que os traços de hereditariedade quantitativa apresentam uma distribuição contínua de fenótipos. Isso indica que há muitos fenótipos que se torna complicado classificar em grupos distintos entre os indivíduos nas extremidades de uma população. Um exemplo evidente desse tipo de herança é a altura, que se refere à medida vertical de uma pessoa em relação ao seu corpo, e é uma propriedade física que apresenta ampla variação entre indivíduos de uma população. Diante disso, a meta deste estudo foi criar um modelo educacional voltado para aulas teóricas e/ou práticas sobre Genética, focando nos conceitos que envolvem a variação contínua de fenótipos e os métodos de herança ligados a características quantitativas ou poligênicas. Para isso, foi adotada uma abordagem de análise combinatória, utilizando o triângulo de Pascal, com o objetivo de descrever e caracterizar variações progressivas nos valores mensuráveis relacionados à altura humana. Chegamos à conclusão de que este modelo educacional possui um significativo potencial para auxiliar os professores a lidarem com conteúdo que costumam ser desafiadores para os alunos, especialmente na área de genética quantitativa. Em particular, a utilização da abordagem de análise combinatória com o Triângulo de Pascal se destaca na descrição e caracterização de variações métricas progressivas, como a altura humana.

Palavras-chave: Herança poligênica. Modelo didático. Ensino por investigação. Análise combinatória, Triângulo de Pascal

ABSTRACT: Traits with quantitative or polygenic characteristics are influenced by several genes, each of which separates according to Mendel's Laws. Furthermore, when analyzing a segregating population, it is noted that quantitatively inherited traits exhibit a continuous distribution of phenotypes. This indicates that there are many phenotypes, making it difficult to classify them into distinct groups among individuals at the extremes of a population. A clear example of this type of inheritance is height, which refers to a person's vertical measurement in relation to their body and is a physical property that shows wide variation among individuals in a population. Therefore, the goal of this study was to create an educational model for theoretical and/or practical classes on Genetics, focusing on the concepts involving the continuous variation of phenotypes and the inheritance methods linked to quantitative or polygenic characteristics. To this end, a combinatorial analysis approach was adopted, using Pascal's triangle, with the aim of describing and characterizing progressive variations in measurable values related to human height. We concluded that this educational model has significant potential to help teachers deal with content that is often challenging for students, especially in the area of quantitative genetics. In particular, the use of the combinatorial analysis approach with Pascal's Triangle stands out in the description and characterization of progressive metric variations, such as human height.

Keywords: Polygenic inheritance. Didactic model. Inquiry-based learning. Combinatorial analysis. Pascal's Triangle.

¹ Professor Associado do Dep. Biologia ICEN/CUR/UFMT: maurosvaldo@bol.com.br; sumalves@yahoo.com.br;

² Biólogo/UFMT/CUR/UFMT - Rondonópolis, MT., marcelokimura99@gmail.com

INTRODUÇÃO

Vários estudos indicam que os conteúdos de genética geram dificuldades tanto para professores quanto para alunos, devido à sua natureza complicada e à necessidade de entender ideias abstratas, o que difere dos outros conteúdos de biologia em que os alunos geralmente possuem maior aproximação. Além disso, os alunos frequentemente encontram dificuldades ao tentar relacionar a Genética com outras disciplinas. Entretanto, diversas abordagens pedagógicas foram sugeridas para aprimorar o ensino de Genética. Dentre elas, estão o uso de modelos representativos criados a partir de dados em temas de aulas organizados de forma didática como recurso de estímulo pedagógico tem se mostrado uma ferramenta eficaz para transmitir o conhecimento de maneira interativa e dinâmica, proporcionando aos estudantes informações sobre tópicos essenciais para o ensino da Genética (MENDONÇA & SANTOS, 2011; DUSO, 2012; 2013; KLAUBERG, 2015; MEDEIROS et al., 2021 e 2022; MEDEIROS, ALVES, KIMURA, 2022; 2023; 2024; 2025; 2026).

A genética é um campo que utiliza muitos termos técnicos que os estudantes costumam ter dificuldade em compreender. Assim, os professores devem empregar uma variedade de metodologias para melhorar a compreensão dos alunos, visando otimizar o processo de ensino-aprendizagem (MEDEIROS, ALVES; KIMURA 2022; 2023; 2024; 2025; 2026). E de acordo com Krasilchik (2004) o ensino de genética envolve a interligação de conteúdos e a associação de cálculos com acontecimentos cotidianos. Para essa finalidade, o professor necessita lançar mão de diferentes metodologias para que sua exposição seja compreendida.

Os traços quantitativos ou poligênicos são aqueles que são determinados por vários genes, com cada um desses genes se segregando de acordo com as “Leis de Mendel”. Além disso, quando se estuda uma população que está em segregação, percebe-se que os traços de herança quantitativa possuem uma distribuição contínua de fenótipos. Isso significa que existem muitos fenótipos que são difíceis de classificar em categorias distintas entre os indivíduos extremos de uma população. Outra particularidade dos caracteres poligênicos é que eles são afetados pelas variações ambientais, o que torna ainda mais desafiador distinguir os genótipos apenas observando o fenótipo. Um exemplo claro desse tipo de herança é a altura, que diz respeito à medida vertical de uma pessoa em relação ao seu corpo, e é uma característica física que varia amplamente entre os indivíduos de uma população. Embora não haja uma altura "normal" amplamente reconhecida, existem intervalos de altura considerados habituais para diferentes faixas etárias, sexos e grupos étnicos. Conforme citado pelos autores Griffiths et al. (2016) e Pierce (2016), a genética quantitativa estuda a variação de características herdadas que se manifestam como traços contínuos como altura, peso, tamanho e forma, entre outros. Nesse âmbito, a análise estatística é essencial, pois facilita o trabalho dos cientistas em identificar características significativas e atribuir a elas valores, levando em conta sua importância e colocação nas distribuições. Para abordar questões relacionadas a características numéricas ou poligênicas, é recomendado que os alunos utilizem o Triângulo de Pascal de forma estratégica como um recurso importante na análise combinatória, entendendo que cada linha desse triângulo corresponde aos coeficientes binomiais. Essa abordagem torna a avaliação de parâmetros estatísticos que definem e descrevem as diferentes alturas em uma população mais simples, permitindo, assim, o cálculo das variadas combinações genotípicas e fenotípicas possíveis. Essas informações são valiosas para compreender a diversidade humana e podem ser aplicadas em pesquisas nas áreas de saúde, sociologia e antropologia.

Desse modo, os estudantes enfrentam várias dificuldades ao tentar compreender tópicos de genética quantitativa. A utilização de abordagens diferentes, como o uso de modelos de ensino, é uma forma eficiente de facilitar a aprendizagem de assuntos mais complexos e abstratos. A capacidade de criar modelos educacionais em sala de aula pode ser percebida como uma maneira de incentivar o envolvimento, o raciocínio e a criatividade em relação à abstração.

É crucial que os estudantes assimilem essas ideias para que consigam utilizá-las em contextos do dia a dia e em diferentes disciplinas. Possui esse nome quantitativa porque o fenótipo é determinado, entre outros aspectos, pela quantidade que um indivíduo apresenta de um determinado gene expressivo. O aspecto que diferencia este tipo de herança é a variação contínua ou gradual, o que significa que entre os extremos existem diversos fenótipos intermediários (VENTURIERI & ROSA, 2010). Portanto, o domínio dos conceitos relacionados às características poligênicas é essencial para entender a complexidade da herança genética e a diversidade fenotípica nas populações. A habilidade de analisar e interpretar esses traços é uma competência importante que pode ser decisivo para o sucesso de estudantes na compreensão de temas mais amplos dentro da biologia como até suas aplicações em biotecnologia e conservação da biodiversidade.

Além de analisar o triângulo de Pascal de uma perspectiva matemática, exploramos como sua aplicação pode representar combinações genéticas, investigando sua utilização na determinação de probabilidades em experimentos básicos. Também buscamos situações do cotidiano onde o conceito de combinações pode ser aplicado, como na configuração de fórmulas genéticas e na análise das possibilidades fenotípicas, que, além de seu valor didático, desempenha uma função prática que pode ser vista como um conjunto de métodos e estratégias que permitem modelar e entender a realidade. Assim, diversas pesquisas têm sido realizadas com esse mesmo objetivo (PREDEBON & DEL PINO, 2009; SETÚVAL & BEJARANO, 2009; BORGES & ALENCAR, 2014; SOARES & BAIOTTO, 2015; PAIXÃO et al., 2018; SILVA & SARAIVA, 2020).

Segundo Mascarenhas et al., (2016), apesar da importância da genética em diversas áreas atualmente, o ensino desse conteúdo continua sendo desafiador para a maioria dos educadores, pois é um assunto de difícil absorção e exige um alto nível de abstração dos alunos. Assim, nesse contexto, a metodologia ativa entra no processo de ensino e aprendizagem como uma importante ferramenta de facilitação. Justina & Ferla (2006) relataram que integração de modelos didáticos no procedimento de ensino e aprendizagem pode ser uma das formas de produzir a ressignificação das concepções e dos conteúdos. Pavan (1998) salienta que é necessário a utilização de instrumentos para possibilitar o processo de aprendizagem do conteúdo de maneira mais efetiva e dinâmica, pois empregar esses meios propicia uma melhora na assimilação do conteúdo pelo estudante.

Nesse cenário, uma abordagem ativa no ensino é a aplicação de modelos didáticos, que são vistos como instrumentos extremamente estimulantes e eficientes para a prática educacional. Esses modelos não apenas facilitam a aquisição de conhecimento, mas também permitem que o educador desperte o interesse dos alunos, tornando as aulas mais agradáveis e incentivando a participação e o engajamento deles no processo de ensino-aprendizagem.

Dessa forma, o emprego de métodos didáticos diversificados nas aulas teóricas e práticas de Genética, aliado ao uso de materiais didáticos manipuláveis, pode contribuir para tornar essas aulas mais envolventes e agradáveis para os alunos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo didático voltado para as aulas teóricas e/ou práticas sobre Genética, com foco nos conceitos relacionados à variação contínua de fenótipos e aos mecanismos de herança que envolvem características quantitativas ou poligênicas. Para isso, foi utilizada a metodologia de análise combinatória, valendo-se do triângulo de Pascal, com o intuito de descrever e caracterizar variações progressivas nos valores métricos associados à altura humana.

MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo didático foi desenvolvido (Figura 1) com o objetivo de simular uma análise comparativa entre diferentes classes fenotípicas relacionadas à altura humana. Nesse modelo, cada alelo contribui com uma quantidade específica de múltiplos genes que afetam o crescimento ósseo e a proporção corporal, gerando fenótipos distintamente variados. Para facilitar a compreensão dessas variações, foi utilizada uma abordagem baseada na aplicação da análise combinatória empregando o Triângulo de Pascal.

O estudo envolveu 28 alunos do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, pertencente ao Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Entre os participantes, 36,0% eram do sexo masculino e 64,0% do sexo feminino, com idades variando entre 18 e 36 anos.

A atividade seguiu uma sequência didática e foi dividida em duas aulas de 50 minutos cada. A metodologia foi estruturada em duas etapas:

Na primeira aula (50 minutos), houve a introdução e contextualização do tema para que os estudantes pudessem situar-se, compreender e engajar-se com o assunto abordado. O foco esteve na aprendizagem de aspectos da genética que envolvem heranças poligênicas ou quantitativas. Essa área explora como métodos estatísticos podem ser utilizados para estimar as contribuições de genes aditivos na variação fenotípica. Foi abordada a forma como esses métodos avaliam distribuições contínuas de fenótipos e estimam o número de genótipos esperados conforme a quantidade de genes envolvidos na definição de uma característica.

Na segunda aula, também com duração de 50 minutos, realizou-se um experimento prático. Ele simulou, por meio de figuras ilustrativas, diversos perfis genéticos de estaturas humanas em centímetros. Onde o experimento buscou demonstrar como genes com efeitos aditivos podem influenciar a característica em questão, permitindo uma distinção gradativa entre fenótipos conforme se aproximam ou se afastam dos extremos genotípicos.

O conteúdo histórico apresentado aos alunos

Em um mundo onde as necessidades sociais, culturais e profissionais adquirem novos contornos, todas as áreas requerem alguma competência em Matemática, e a possibilidade de compreender conceitos e procedimentos matemáticos é necessária tanto para tirar conclusões e fazer argumentações, quanto para o cidadão agir com prudência ou tomar decisões em sua vida pessoal e profissional.

Estatísticas sobre a diferença de altura entre pessoas revelam informações interessantes sobre a população global. A estatura média varia significativamente entre países e regiões, refletindo as influências genéticas, nutricionais e ambientais. Esses dados são essenciais para entender a diversidade humana e podem ser utilizados em pesquisas de saúde, sociologia e antropologia.

Embora existam faixas de estatura consideradas normais, é importante lembrar que a estatura é apenas uma das muitas características físicas que compõem uma pessoa. A aceitação e a celebração da diversidade são cruciais para promover a autoestima e o bem-estar. Em vez de nos concentrarmos em atingir uma estatura “normal”, devemos nos esforçar para manter uma dieta saudável, praticar exercícios regularmente e buscar atendimento médico quando necessário para garantir o crescimento e o desenvolvimento ideais. Logo a altura é determinada por uma combinação de genética e fatores externos.

Pesquisas revelam que mais de 12 mil variações genéticas estão ligadas à altura. Assim, diversos fatores como a alimentação, doenças, problemas como obesidade, exercícios físicos, poluição, padrões de sono, clima e até mesmo o estado emocional do indivíduo podem afetar o crescimento. Isso quer dizer que, embora uma pessoa tenha um perfil genético para alcançar 2 metros de altura, se na infância não tiver uma nutrição adequada ou não se engajar em atividades

físicas intensas, ao atingir a idade adulta, pode acabar sendo de estatura baixa. Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a média de altura para homens é 1,73m, no Brasil, ou seja, a maior parte da população de homens possui uma altura semelhante à apresentada pelo IBGE. Contudo, encontramos algumas pessoas com alturas abaixo de 1,55m e acima de 1,95m. No entanto, essas são apenas médias e não refletem a diversidade de alturas dentro da população.

Como medir a Estatura

A altura diz respeito à medida entre dois planos que tocam o vértice na parte mais alta da cabeça e a base dos pés. Essa mensuração pode ser feita com o indivíduo em pé ou deitado de costas.

Portanto, a altura pode ser avaliada de diversas formas, levando em conta a idade e a presença de ferramentas apropriadas. O método mais frequente para medir a altura é através de uma fita métrica ou de um Estadiômetro, que é um instrumento criado especificamente para esse fim.

Para efetuar a medição da altura de forma precisa, é necessário que a pessoa fique em pé, com os pés unidos e a postura ereta. A fita métrica ou o Estadiômetro deve ser posicionado na parte mais alta da cabeça, exercendo uma leve pressão para baixo, até que esteja alinhado com a parte superior da cabeça. A leitura da medida deve ser feita no local onde a fita ou Estadiômetro toca a parte superior da cabeça.

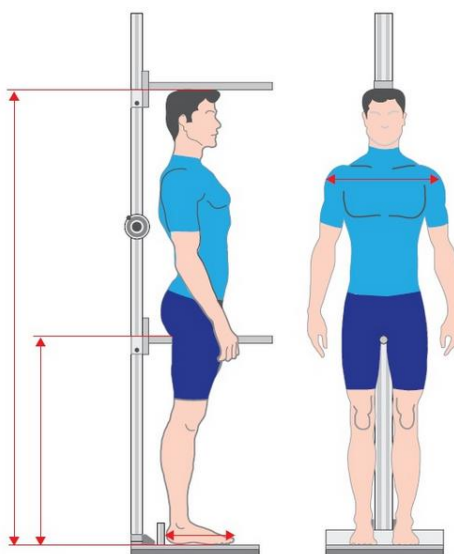


Figura 1. Representação do Estadiômetro, um equipamento criado para determinar a altura verificada do ponto mais elevado da cabeça até a base dos pés.

Sequência de ensino simulada

De acordo com o objetivo definido, as sequências de ensino (Figuras 1 e 2; Tabelas 1 a 13) foram desenvolvidas após várias pesquisas, servindo como representações educacionais e fontes de dados que devem ser acessíveis, manipuláveis, criadas e aplicadas de maneira simples aos alunos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. Essa abordagem permitirá que eles cultivem uma consciência crítica, senso de responsabilidade e apreço pela pesquisa, aspectos essenciais para a formação de um profissional qualificado. O método utilizado incluiu a observação (Figura 2) e a coleta de dados em uma pesquisa (Tabelas 1 a 13), empregando o

Triângulo de Pascal (Tabelas 2 a 13), um conceito matemático com diversas aplicações em genética. Isso facilita a avaliação das probabilidades de encontrar um indivíduo com diferentes características fenotípicas e genotípicas, de acordo com a altura, conforme mostrado na Figura 1.

Modelo didático proposto simulando 11 graus de variação da estatura humana

O modelo educacional mostrado (Figura 1) foi elaborado com base em investigações que incorporaram exemplos práticos e fontes de informação disponíveis. O principal intuito é oferecer aos educadores de biologia ferramentas acessíveis para manipulação, criação e aplicação, promovendo o desenvolvimento de competências como análise crítica, responsabilidade e curiosidade pela pesquisa, características fundamentais para a formação de estudantes competentes. A estratégia utilizada para a investigação incluiu a coleta de informações através de um levantamento (Figuras 1 e 2) que analisou variações fenotípicas graduais ligadas a distintas alturas humanas. Foram reconhecidos dois fenótipos extremos: baixa estatura e alta estatura. Com a inclusão de diferentes alelos no genótipo, as estaturas tanto dos homens quanto das mulheres aparecem gradualmente, organizadas nas seguintes medidas: 161 cm, 164 cm, 167 cm, 170 cm, 173 cm, 176 cm, 179 cm, 182 cm, 185 cm, 188 cm e 191 cm. É crucial observar que os genes que regulam essas características não seguem um padrão convencional de dominância ou recessividade, permitindo uma mudança fluida dos fenótipos à medida que se aproximam ou se afastam dos extremos genotípicos. Para facilitar a compreensão, foi fornecido a cada aluno um material impresso em formato A4 contendo a Figura 2 e a Tabela 1. Essas ilustrações mostravam figuras de homens e mulheres com várias alturas em centímetros.

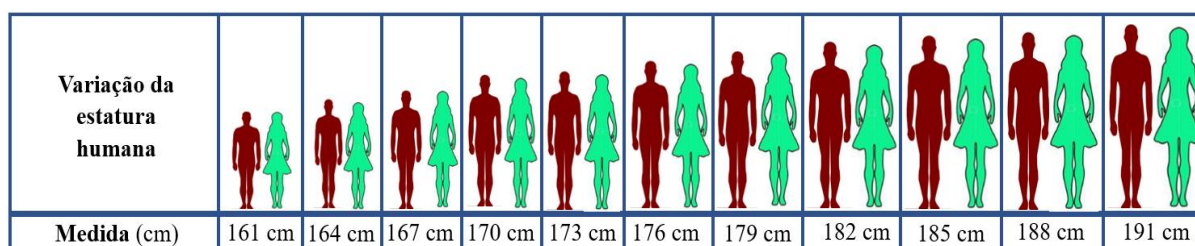

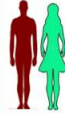











Figura 2. Modelo didático confectionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética quantitativa, ilustrando onze graus de estatura que apresentam distribuição contínua das variações de fenótipos atribuída a fatores genéticos, incluindo genes aditivos. (Fonte: Os autores, 2026).

A Tabela 1 foi elaborada para demonstrar os níveis de estaturas, exibindo uma distribuição contínua das variações fenotípicas atribuídas a fatores genéticos, incluindo os genes aditivos, complementada pelas imagens mostradas na Figura 1. Com o auxílio das imagens exibidas na Figura 1, esta tabela foi empregada como instrumento para a coleta de dados referentes às características hereditárias. Por meio da visualização das imagens dos diversos fenótipos, ela permite o armazenamento da totalidade dos genes aditivos e não aditivos envolvidos, além da análise genética das combinações possíveis de classes de genótipos geradas para cada atributo físico.

Tabela 1. Utilizada para a organização das possíveis combinações de classes de genótipos obtidos a partir da aplicação da Figura 1. (Fonte: Os autores, 2026).

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Classes Fenotípicas |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Medida (cm) | 161 cm | 164 cm | 167 cm | 170 cm | 173 cm | 176 cm | 179 cm | 182 cm | 185 cm | 188 cm | 191 cm |
| Nº Genes aditivos | | | | | | | | | | | |
| Nº Genes não aditivos | | | | | | | | | | | |
| Nº total de genes | | | | | | | | | | | |
| Nº classes genotípicas | | | | | | | | | | | |
| Proporção fenotípica | | | | | | | | | | | |

Anteriormente, a Tabela 1, junto com a Figura 2, foram entregues a todos os alunos em cópias impressas em papel A4. Nesta tabela, os alunos devem, através dos diferentes fenótipos representados, reconhecer as combinações de genes aditivos e não aditivos presentes em cada atributo físico, além de anotar o total de genes aditivos e não aditivos e a proporção fenotípica que estão envolvidos.

Cálculo do número de pares de genes envolvidos em cada Classes Fenotípicas e Genotípicas

Para determinar a quantidade de pares de genes alelos envolvidos em uma herança quantitativa, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Nº Pares genes} = \frac{\text{Nº Classes fenotípicas} - 1}{2}$$

Fórmula para calcular um número binomial

A definição de número binomial é equivalente à combinação simples ($C_{n,p}$).

$$\binom{n}{p} = C_{n,p}$$

Assim, a fórmula para o cálculo é:

$$\binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!}$$

Onde:

- n é o numerador;
- p a classe.

Na fórmula, n! (lê-se n fatorial), assim como p! (p fatorial).

Eles representam o produto entre os naturais decrescentes, do próprio número até 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aprendizado de Herança poligênica, ou quantitativa, que é aquela influenciada pela ação de vários genes que interagem entre si para que uma determinada característica seja transmitida para a próxima geração é um assunto relevante nas aulas de genética, já que abrange princípios essenciais para entender a herança e a variação da vida. É crucial que os estudantes assimilem essas ideias para que consigam utilizá-las em contextos do dia a dia e em diferentes disciplinas.

Analisar um exemplo concreto de uma característica humana poligênica pode ser complexo, principalmente porque seria necessário monitorar dezenas ou até centenas de pares de alelos diferentes. Entretanto, é possível considerar a estatura humana como exemplo, visto que diversos genes com alelos que se combinam contribuem para essa característica. Esses alelos atuam conjuntamente para formar um espectro variado de fenótipos, como ilustrado na Figura 2. Nesse contexto, é crucial examinar a distribuição da variação fenotípica para compreender melhor o comportamento dos genes e alelos envolvidos. Há situações em que um alelo apresenta dominância sobre outro, e outras em que ambos se manifestam de maneira equilibrada nos indivíduos. Esses diferentes padrões ajudam a explicar a diversidade no resultado final da característica poligênica.

A estatura é uma medida que se refere à altura de uma pessoa em relação ao seu corpo. É uma característica física que varia de indivíduo para indivíduo e é determinada por fatores genéticos, ambientais e nutricionais. A estatura é geralmente medida em centímetros ou metros e é uma das principais características que contribuem para a aparência física de uma pessoa.

Fatores genéticos desempenham um papel fundamental na determinação da estatura de um indivíduo, com características hereditárias passadas dos pais para os filhos. Além disso, o ambiente em que uma pessoa cresce e se desenvolve também pode influenciar sua estatura. A nutrição adequada durante a infância e adolescência é essencial para o desenvolvimento ótimo da estatura, e a desnutrição durante esses períodos críticos pode resultar em estatura reduzida.

Estudos antropológicos mostram que existem variações significativas na estatura média entre diferentes grupos étnicos e geográficos. Por exemplo, algumas populações asiáticas tendem a ter uma estatura média menor em comparação com populações europeias ou africanas. Essas diferenças podem ser atribuídas a uma combinação de fatores genéticos, históricos, ambientais e nutricionais.

É importante notar que a estatura média é apenas um ponto de referência e não reflete a diversidade natural dentro de uma população. Pessoas podem variar amplamente em altura, e a altura de uma pessoa não deve ser vista como um indicador definitivo de sua saúde, valor ou habilidade.

Além disso, a estatura média pode mudar ao longo do tempo devido a uma variedade de fatores, incluindo mudanças nas condições de vida, avanços na medicina e nutrição, migração populacional e outros fatores socioeconômicos.

No contexto apresentado na Figura 2, a estatura entre os homens e as mulheres varia principalmente entre as medidas de 161 cm e 191 cm, embora existam diferentes nuances de estatura que dependem de cada indivíduo. Essa interação genética, determinada por herança poligênica, ocorre de maneira gradual, abrangendo dois fenótipos extremos: baixo (161 cm) e alto (191 cm). À medida que diferentes alelos se incorporam ao genótipo, as estaturas variam progressivamente de valor métrico entre 164 cm, 167 cm, 170 cm, 173 cm, 176 cm, 179 cm, 182 cm, 185 cm e 188 cm conforme mostrado na Figura 2. Vale destacar que os genes envolvidos não demonstram uma relação de dominância ou recessividade entre si, permitindo a transição suave dos fenótipos conforme eles se aproximam ou se distanciam dos determinados extremos genotípicos. Conforme Baiotto et al. (2016), isso ajuda o aluno a entender que a ampla

diversidade de estaturas entre os homens e as mulheres é fruto de uma determinação poligênica, onde diversos genes contribuem simultaneamente para a característica observada.

Aplicando a fórmula para calcular o número de pares de genes alelos que influenciam as diferenças nas alturas mostradas na Figura 1, tem-se:

$$\text{Nº Pares genes} = \frac{11 \text{ classes fenóticas} - 1}{2} = 5 \text{ Pares genes}$$

Assim, cinco pares de genes correspondem a um total de 10 genes. Isso indica que, à medida que distintos alelos são adicionados ao genótipo, as alturas se alteram de forma gradual nos seguintes valores: 161 cm, 164 cm, 167 cm, 170 cm, 173 cm, 176 cm, 179 cm, 182 cm, 185 cm, 188 cm e 191 cm, conforme ilustrado na Figura 2.

A Tabela 2 exibida traz dados relativos à característica fenotípica de indivíduos com 161 cm de altura. Há também uma seção que detalha, para cada atributo associado à característica, o total de alelos genéticos, a quantidade de genes aditivos e não aditivos, o número de sequências genotípicas produzidas, o número de variações possíveis, bem como a probabilidade e a porcentagem da proporção fenotípica.

Compreendendo a quantidade de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na formação genética, é viável estimar o número de combinações possíveis de configurações genotípicas. Assim, para calcular quantas sequências ou opções genotípicas podem ser geradas com zero genes aditivos e 10 genes não aditivos, utilizamos a fórmula: $C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!}$. Nesta fórmula, $C_{n,p}$ representa a combinação de dois números, com n sendo o total de genes alelos na categoria genotípica e p indicando a quantidade de genes aditivos escolhidos entre os disponíveis. O objetivo desta fórmula é identificar as diversas arrumações possíveis de configurações genéticas que consistem em nenhum gene aditivo e 10 genes não aditivos. O resultado revela que existe apenas uma combinação viável.

Pretendendo identificar as configurações que podem ser criadas a partir de qualquer sequência de genes que não contém gene aditivo e 10 genes não aditivos, ao aplicar a fórmula, geramos uma única opção de combinação de sequência ou de classe genotípica que envolve a ausência de genes aditivos e a presença de 10 genes não aditivos.

O Triângulo de Pascal oferece uma representação visual para o cálculo de combinações e a resolução de questões ligadas à probabilidade. Ele ilustra quantas formas existem para combinar genes aditivos e não aditivos na criação de uma classe genotípica. Assim, pode nos indicar a probabilidade de qualquer combinação genotípica. Os elementos dentro deste triângulo são conhecidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser utilizados para facilitar a contagem de probabilidades relacionadas a diferentes fenótipos de altura que apresentam variações em medidas. Portanto, para determinar a probabilidade fenotípica de interesse, é necessário analisar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que contém 11 variações genéticas associadas às alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, as quais representam a distribuição fenotípica em relação à altura na amostra analisada. Ao calcular as medidas de altura em humanos, temos $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1$, totalizando 1024 combinações ou opções de classes genotípicas. Portanto, pode-se concluir que, ao cruzar indivíduos de 176 cm do tipo $AaBbCcDdEe \times AaBbCcDdEe$, que possuem 5 loci heterozigotos em pares de cromossomos homólogos distintos, espera-se que, em uma amostra de 1024 indivíduos, somente 1 tenha 161 cm de altura (destaque em vermelho), resultando em uma probabilidade de 0,097%.

Dentro deste modelo, para analisar a classe genotípica de indivíduos com 161 cm, é fundamental perceber que os alelos não aditivos, representados por letras minúsculas (a, b, c,

d, e), não afetam a determinação do fenótipo final. Assim, o genótipo destes indivíduos, levando em consideração a ausência de genes aditivos e a presença de 10 não aditivos, pode ser descrito pela fórmula genotípica: aabbccdde, todos apresentando a altura de 161 cm, que seria a altura mínima possível, 30 cm inferior à de um indivíduo com o genótipo AABBCCDDEE, que mede 191 cm.

Tabela 2. Característica fenotípica de pessoas com de 161 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|----|--|--|--|------|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|-----|-----|----|----|--|--|--|--|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|--|--|--|------|
| | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 0 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 10 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de seqüências genotípicas com 0 genes aditivos e 10 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{N}^\circ \text{ total de genes} \\ p = \text{N}^\circ \text{ de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{0} = C_{10,0} = \frac{10!}{0!(10-0)!} = \frac{10!}{0!(10!)} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{40 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 1 \text{ seqüência}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 161 cm = 1 possibilidade | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td></td><td></td><td></td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | | | | | | | | | | | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | | | | | | | | | | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | | | | | | | | | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | | | | | | | | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | | | | | | | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | | | | | | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | | | | | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | | | | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | | | | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | | | | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | | | | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | | | | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | | | | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | | | | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 161 cm = 1/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 161 cm = 1,024 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A Tabela 3 foi criada para reunir dados sobre a característica fenotípica de pessoas com 164 cm de altura. Ela também contém um espaço onde se registrou, para cada item relacionado à característica, a quantidade total de genes alelos existentes, o número de genes aditivos e não aditivos, a quantidade de seqüências genotípicas formadas, o número de possíveis variações, a probabilidade e a proporção fenotípica em percentagem.

Nesse cenário, ao entender a quantidade de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na formação genética, é possível estimar a quantidade de combinações de configurações genotípicas que podem ser formadas. Portanto, para determinar quantas seqüências ou opções genotípicas podem ser geradas a partir de 1 gene aditivo e 9 genes não aditivos, aplicamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p!(n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois valores, onde n indica a soma total de genes alelos dentro da categoria genotípica e p se refere ao número de genes aditivos selecionados entre os disponíveis. Esta fórmula tem a finalidade de descobrir as diferentes arrumações possíveis de fórmulas genéticas compostas por um gene aditivo e nove genes não aditivos. O resultado é que há a possibilidade de obter dez combinações diferentes.

Como temos o objetivo de descobrir as configurações que podem ser formadas em qualquer seqüência de genes que incluem 1 gene aditivo e 9 genes não aditivos, ao utilizarmos a fórmula, conseguimos gerar 10 diferentes combinações de seqüências ou opções de classes genotípicas que estão disponíveis.

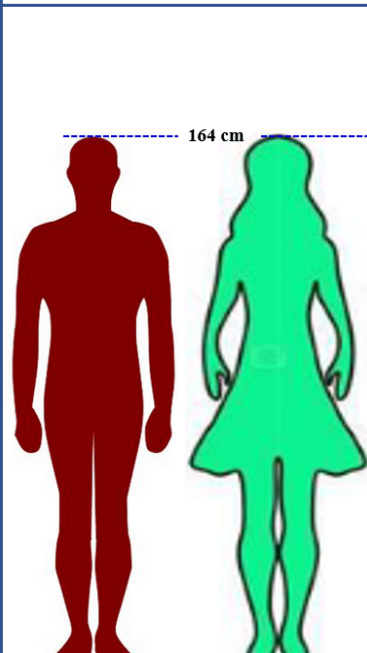
O Triângulo de Pascal é uma estrutura em forma de triângulo composta por números, onde cada número é obtido pela soma dos dois números que estão diretamente acima dele. Este

triângulo oferece uma representação visual para calcular valores de combinações e resolver questões relacionadas à probabilidade. Os elementos do triângulo de Pascal são conhecidos como números binomiais ou coeficientes binomiais e podem ser utilizados para facilitar a contagem das probabilidades associadas a cada fenótipo de altura que apresenta variações métricas. Portanto, quando se busca determinar a probabilidade fenotípica desejada, deve-se consultar a décima linha do triângulo de Pascal destacado em verde, onde a amostra abrange as 11 variações genéticas vinculadas às alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, que ilustram a distribuição da proporção fenotípica de estatura na população estudada. Considerando os valores métricos de altura em humanos, contamos um total de $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou alternativas de classes genotípicas.

Portanto, é correto afirmar que, em cruzamentos entre indivíduos com altura de 176 cm do tipo AaBbCcDdEe X AaBbCcDdEe, que apresenta 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que, em uma amostra de 1024 indivíduos, 10 sejam de altura 164 cm (destaque em vermelho), o que resulta em uma taxa de 1,024%.

Para determinar as classes genotípicas de indivíduos com 164 cm, não é importante saber qual alelo é aditivo, pois todos eles desempenham um papel igual na determinação do fenótipo final. Assim, o genótipo dos dez indivíduos, considerando um gene com efeito aditivo e nove com efeito não aditivo, poderá ser representado pelas fórmulas genotípicas: Aabbccdde, aaBbccdde, aabbCcdee, aabbccDdee ou aabbccddEe, todos apresentando a altura de 164 cm, que é ligeiramente superior em 3 cm em relação a uma pessoa com o genótipo aabbccdde, que mede 161 cm.

Tabela 3. Característica fenotípica de pessoas com de 164 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|----|----|------|---|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|---|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|---|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|---|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|----|---|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|-----|-----|----|----|---|--|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 1 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 9 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de seqüências genotípicas com 1 genes aditivos e 9 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{1} = C_{10,1} = \frac{10!}{1!(10-1)!} = \frac{10!}{1!(9)!} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{1 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 10 \text{ seqüências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 164 cm = 10 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 164 cm = 10/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 164 cm = 1,024 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 4 apresentada, demonstra-se informações acerca da característica fenotípica de indivíduos que medem 167 cm. Além disso, inclui uma seção onde foi anotado, para cada aspecto relacionado à característica, o total de genes alelos presentes, a contagem de genes aditivos e não aditivos, o número de seqüências genotípicas geradas, a quantidade de variações possíveis, a probabilidade e a proporção fenotípica em porcentagem.

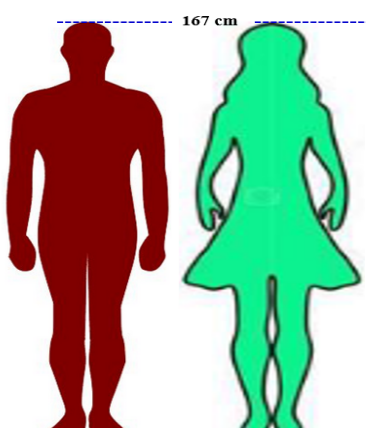
Nesse cenário, ao entender a quantidade de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na formação genética, é possível estimar a quantidade de combinações de configurações genotípicas que podem ser formadas. Portanto, para determinar quantas sequências ou opções genotípicas podem ser geradas a partir de 2 genes aditivos e 8 genes não aditivos, aplicamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p! (n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois valores, onde n indica a soma total de genes alelos dentro da categoria genotípica e p se refere ao número de genes aditivos selecionados entre os disponíveis. Esta fórmula tem a finalidade de descobrir as diferentes arrumações possíveis de fórmulas genéticas compostas por 2 genes aditivos e 8 genes não aditivos. O resultado é que há a possibilidade de obter 45 combinações.

Como temos o objetivo de descobrir as configurações que podem ser formadas em qualquer sequência de genes que incluem 2 genes aditivos e 8 genes não aditivos, ao utilizarmos a fórmula, conseguimos gerar 45 opções de combinações de sequência ou de classes genotípicas que incluem 2 genes aditivos e 8 não aditivos.

O Triângulo de Pascal fornece uma maneira visual para calcular combinações e abordar problemas relacionados à probabilidade. Os elementos desse triângulo são referidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser empregados para simplificar a contagem de probabilidades ligadas a diferentes fenótipos de altura que variem em medidas. Assim, para identificar a probabilidade fenotípica desejada, deve-se olhar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que inclui 11 variações genéticas que são associadas as alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, representando a distribuição de proporções fenotípicas de estatura na amostra considerada. Ao calcular os valores de altura em seres humanos, temos ao todo $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou opções de classes genotípicas. Portanto, pode-se afirmar que, ao cruzar indivíduos com altura de 176 cm do tipo $AaBbCcDdEe \times AaBbCcDdEe$, que apresentam 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que, entre uma amostra de 1024 indivíduos, 45 tenha altura de 167 cm (destaque em vermelho), resultando em uma taxa de 4,394%.

Nesse modelo, para avaliar a classe genotípica de pessoas com 167 cm, é essencial entender que os alelos não aditivos, representado por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não influenciam na definição do fenótipo final enquanto, os dominantes ou aditivos A, B, C, D, E contribuem igualmente no fator tamanho. Portanto, o genótipo desses indivíduos, levando em conta a presença de 2 genes com efeito aditivo e 8 com efeito não aditivo, pode ser expresso pela fórmula genotípica: $AAbbccdde$, $AaBbccdde$, $AabbCcdde$, $AabbccDde$, $AabbccddDe$, etc. todos os 45 genótipos que dão origem a estatura de 167 cm contém exatamente 2 genes com efeito aditivo e 8 com efeito não aditivo, mostrando a altura de 167 cm, é superior em 6 cm em relação a uma pessoa com o genótipo $aabbccdde$, que mede 161 cm.

Tabela 4. Característica fenotípica de pessoas com de 167 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---------------------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----------------------|---|----------------------|---|--|--|--|------|---|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|---|---|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|---|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|--|--|--|--|--|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 2 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 8 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de seqüências genotípicas com 2 genes aditivos e 8 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{N}^\circ \text{ total de genes} \\ p = \text{N}^\circ \text{ de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{2} = C_{10,2} = \frac{10!}{2!(10-2)!} = \frac{10!}{2!(8!)} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 45 \text{ seqüências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 167 cm = 45 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>28</td><td>21</td><td>7</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>36</td><td>28</td><td>8</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>45</td><td>36</td><td>9</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>54</td><td>36</td><td>10</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | 8 | 4 | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 16 | 5 | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | | | | | | | | | 32 | 6 | | | | 1 | 7 | 21 | 28 | 21 | 7 | 1 | | | | | | | | | 64 | 7 | | | | 1 | 8 | 28 | 36 | 28 | 8 | 1 | | | | | | | | | 128 | 8 | | | | 1 | 9 | 36 | 45 | 36 | 9 | 1 | | | | | | | | | 256 | 9 | | | | 1 | 10 | 45 | 54 | 36 | 10 | 1 | | | | | | | | | 512 | 10 | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 120 | 45 | 10 | 1 | | | | | | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 1 | 7 | 21 | 28 | 21 | 7 | 1 | | | | | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | 1 | 8 | 28 | 36 | 28 | 8 | 1 | | | | | | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | 1 | 9 | 36 | 45 | 36 | 9 | 1 | | | | | | | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | 1 | 10 | 45 | 54 | 36 | 10 | 1 | | | | | | | | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 120 | 45 | 10 | 1 | | | | | | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 167 cm = 45/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 167 cm = 4,394 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 5 apresentada, demonstra-se informações acerca da característica fenotípica de indivíduos que medem 170 cm. Além disso, inclui uma seção onde foi anotado, para cada aspecto relacionado à característica, o total de genes alelos presentes, a contagem de genes aditivos e não aditivos, o número de seqüências genotípicas geradas, a quantidade de variações possíveis, a probabilidade e a proporção fenotípica em porcentagem.

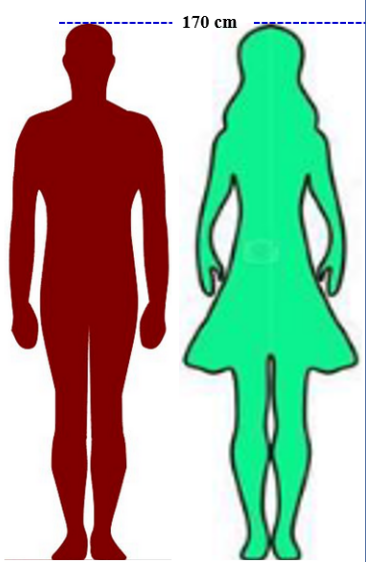
Nesse cenário, ao entender a quantidade de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na formação genética, é possível estimar a quantidade de combinações de configurações genotípicas que podem ser formadas. Portanto, para determinar quantas seqüências ou opções genotípicas podem ser geradas a partir de 3 genes aditivos e 7 genes não aditivos, aplicamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p! (n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois valores, onde n indica a soma total de genes alelos dentro da categoria genotípica e p se refere ao número de genes aditivos selecionados entre os disponíveis. Esta fórmula tem a finalidade de descobrir as diferentes arrumações possíveis de fórmulas genéticas compostas por 3 genes aditivos e 7 genes não aditivos. O resultado é que há a possibilidade de obter 120 combinações.

Como temos o objetivo de descobrir as configurações que podem ser formadas em qualquer seqüência de genes que incluem 3 genes aditivos e 7 genes não aditivos, ao utilizarmos a fórmula, conseguimos gerar 120 opções de combinações de seqüência ou de classes genotípicas que incluem 3 genes aditivos e 7 não aditivos.

O Triângulo de Pascal fornece uma maneira visual para calcular combinações e abordar problemas relacionados à probabilidade. Os elementos desse triângulo são referidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser empregados para simplificar a contagem de probabilidades ligadas a diferentes fenótipos de altura que variem em medidas. Assim, para identificar a probabilidade fenotípica desejada, deve-se olhar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que inclui 11 variações genéticas que são associadas as alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, representando a distribuição de proporções fenotípicas de estatura na amostra considerada. Ao calcular os valores de altura em seres humanos, temos ao todo $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou opções de classes genotípicas. Portanto, se procurássemos centenas de casais com altura média parental de 176 cm do tipo $AaBbCcDdEe \times AaBbCcDdEe$, que apresentam 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que, entre uma amostra de 1024 indivíduos, 120 tenha altura de 170 cm (destaque em vermelho), resultando em uma taxa de 11,718%.

Nesse modelo, para avaliar a classe genotípica de pessoas com 170 cm, é essencial entender que os alelos não aditivos, representado por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não influenciam na definição do fenótipo final enquanto, os dominantes ou aditivos A, B, C, D, E contribuem igualmente no fator tamanho. Portanto, o genótipo desses indivíduos, levando em conta a presença de 3 genes com efeito aditivo e 7 com efeito não aditivo, pode ser expresso pela fórmula genotípica: aabbccdDEE, aAbBcCddee, AabbCcDDee, AabbccDdEe, AAbbcccdddE, AABbccdddE, AAbbCdddE, aaBBccddDe, etc., todos os 120 genótipos que dão origem a estatura de 170 cm contém exatamente 3 genes com efeito aditivo e 7 com efeito não aditivo, mostrando que a altura de 170 cm, é superior em 9 cm em relação a uma pessoa com o genótipo aabbccdee, que mede 161 cm.

Tabela 5. Característica fenotípica de pessoas com de 170 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---------------------|---|----|----|--|-----|-----|-----|---|----------------------|--|----------------------|---|--|--|--|--|--|--|------|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|---|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|---|---|--|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|---|---|----|--|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|---|---|----|--|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|---|---|----|--|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|---|---|----|--|----|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|--|--|--|---|----|----|--|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 3 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 7 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de sequências genotípicas com 4 genes aditivos e 6 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{3} = C_{10,3} = \frac{10!}{3!(10-3)!} = \frac{10!}{3!(7!)} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 120 \text{ sequências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 170 cm = 120 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td></td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td></td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td></td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td></td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td></td><td>84</td><td>126</td><td>84</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td></td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | 8 | 4 | | | | | | 1 | | 4 | 6 | 4 | | | | | | | | | | | | 16 | 5 | | | | | 1 | 5 | | 10 | 10 | 5 | | | | | | | | | | | | 32 | 6 | | | | 1 | 6 | 15 | | 20 | 15 | 6 | | | | | | | | | | | | 64 | 7 | | | | 1 | 7 | 21 | | 35 | 35 | 21 | | | | | | | | | | | | 128 | 8 | | | | 1 | 8 | 28 | | 56 | 70 | 56 | | | | | | | | | | | | 256 | 9 | | | | 1 | 9 | 36 | | 84 | 126 | 84 | | | | | | | | | | | | 512 | 10 | | | | 1 | 10 | 45 | | 120 | 210 | 252 | | | | | | | | | | | | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | 1 | | 4 | 6 | 4 | | | | | | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | 5 | | 10 | 10 | 5 | | | | | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 1 | 6 | 15 | | 20 | 15 | 6 | | | | | | | | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | 1 | 7 | 21 | | 35 | 35 | 21 | | | | | | | | | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | 1 | 8 | 28 | | 56 | 70 | 56 | | | | | | | | | | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | 1 | 9 | 36 | | 84 | 126 | 84 | | | | | | | | | | | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | 1 | 10 | 45 | | 120 | 210 | 252 | | | | | | | | | | | | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 170 cm = 120/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 170 cm = 11,718 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 6 apresentada, demonstra-se informações acerca da característica fenotípica de indivíduos que medem 173 cm. Além disso, inclui uma seção onde foi anotado, para cada aspecto relacionado à característica, o total de genes alelos presentes, a contagem de genes aditivos e não aditivos, o número de sequências genotípicas geradas, a quantidade de variações possíveis, a probabilidade e a proporção fenotípica em porcentagem.

Nesse cenário, ao entender a quantidade de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na formação genética, é possível estimar a quantidade de combinações de configurações genotípicas que podem ser formadas. Portanto, para determinar quantas sequências ou opções genotípicas podem ser geradas a partir de 4 genes aditivos e 6 genes não aditivos, aplicamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p!(n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois valores, onde n indica a soma total de genes alelos dentro da categoria genotípica e p se refere ao número de genes aditivos selecionados entre os disponíveis. Esta fórmula tem a finalidade de descobrir as diferentes arrumações possíveis de fórmulas genéticas compostas por 4 genes aditivos e 6 genes não aditivos. O resultado é que há a possibilidade de obter 210 combinações.

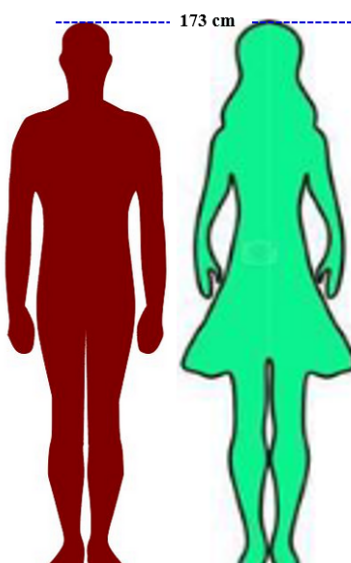
Como temos o objetivo de descobrir as configurações que podem ser formadas em qualquer sequência de genes que incluem 4 genes aditivos e 6 genes não aditivos, ao utilizarmos

a fórmula, conseguimos gerar 210 opções de combinações de sequência ou de classes genóticas que incluem 4 genes aditivos e 6 não aditivos.

O Triângulo de Pascal fornece uma maneira visual para calcular combinações e abordar problemas relacionados à probabilidade. Os elementos desse triângulo são referidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser empregados para simplificar a contagem de probabilidades ligadas a diferentes fenótipos de altura que variem em medidas. Assim, para identificar a probabilidade fenotípica desejada, deve-se olhar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que inclui 11 variações genéticas que são associadas as alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, representando a distribuição de proporções fenotípicas de estatura na amostra considerada. Ao calcular os valores de altura em seres humanos, temos ao todo $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou opções de classes genóticas. Portanto, se procurássemos centenas de casais com altura média parental de 176 cm do tipo AaBbCcDdEe X AaBbCcDdEe, que apresentam 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que, entre uma amostra de 1024 indivíduos, 210 tenha altura de 173 cm (destacado em vermelho), resultando em uma taxa de 20,507%.

Nesse modelo, para avaliar a classe genotípica de pessoas com 173 cm, é essencial entender que os alelos não aditivos, representado por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não influenciam na definição do fenótipo final enquanto, os dominantes ou aditivos A, B, C, D, E contribuem igualmente no fator tamanho. Portanto, o genótipo desses indivíduos, levando em conta a presença de 4 genes com efeito aditivo e 6 com efeito não aditivo, pode ser expresso pela fórmula genotípica: aabbccDDEE, AaBbCcDdee, aaBBccDdee, aaBbCCDdee, aabbCCDDee, aabbCcDdEE, aaBBccDdEe, AAbbCcDdee, AABBccdee, etc., todos os 120 genótipos que dão origem a estatura de 173 cm contém exatamente 4 genes com efeito aditivo e 6 com efeito não aditivo, mostrando que a altura de 173 cm, é superior em 12 cm em relação a uma pessoa com o genótipo aabbccdde, que mede 161 cm.

Tabela 6. Característica fenotípica de pessoas com de 173 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|---|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|---|---|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|----|---|---|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|-----|-----|----|----|---|---|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 4 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 6 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de sequências genóticas com 4 genes aditivos e 6 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{4} = C_{10,4} = \frac{10!}{4!(10-4)!} = \frac{10!}{4!(6)!} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 210 \text{ sequências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genóticas para homem e mulher com estatura de 173 cm = 210 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td>1</td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td>1</td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td>1</td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td>1</td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td>1</td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1 | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 173 cm = 210/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 173 cm = 20,507 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 7 exibida, são apresentadas informações sobre as características fenotípicas de indivíduos com altura de 176 cm. Além disso, há uma seção que anota, para cada aspecto relacionado a essa característica, o total de alelos presentes, a quantidade de genes aditivos e não aditivos, o número de sequências genotípicas obtidas, a quantidade de variações possíveis, bem como a probabilidade e a proporção fenotípica em porcentagem.

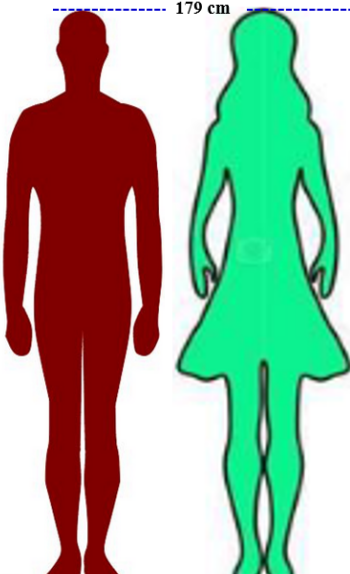
Diante disso, ao compreender a quantidade de genes que atuam de maneira aditiva e não aditiva na herança genética, é factível estimar as possíveis combinações de arranjos genotípicos que podem surgir. Assim, para calcular quantas sequências ou alternativas genotípicas podem emergir de 5 genes aditivos e 5 genes não aditivos, utilizamos a seguinte fórmula: $C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!}$. Nesse contexto, $C_{n,p}$ refere-se à combinação dos dois valores, em que n representa a soma total de alelos na categoria genotípica e p diz respeito ao número de genes aditivos escolhidos dentre os disponíveis. O propósito desta fórmula é descobrir as diversas disposições que podem ser formadas a partir de 5 genes aditivos e 5 genes não aditivos. O resultado obtido é a possibilidade de gerar 252 combinações.

Com o intuito de identificar as configurações que podem ser criadas em qualquer arranjo de genes que abranja 5 genes aditivos e 5 genes não aditivos, ao aplicarmos a fórmula, conseguimos criar 252 opções de combinações de sequência ou classes genotípicas que incorporam 5 genes aditivos e 5 não aditivos. O Triângulo de Pascal fornece uma maneira visual para calcular combinações e abordar problemas relacionados à probabilidade. Os elementos desse triângulo são referidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser empregados para simplificar a contagem de probabilidades ligadas a diferentes fenótipos de altura que variem em medidas. Assim, para identificar a probabilidade fenotípica desejada, deve-se olhar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que inclui 11 variações genéticas que são associadas as alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, representando a distribuição de proporções fenotípicas de estatura na amostra considerada. Ao calcular os valores de altura em seres humanos, temos ao todo $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou opções de classes genotípicas. Portanto, se procurássemos centenas de casais com altura média parental de 176 cm do tipo $AaBbCcDdEe \times AaBbCcDdEe$, que apresentam 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que, entre uma amostra de 1024 indivíduos, 252 tenha altura de 176 cm (destacado em vermelho), resultando em uma taxa de 24,609%.

‘Nesse modelo, para determinar a classe genotípica de indivíduos com altura de 176 cm, é fundamental compreender que os alelos que não são aditivos, simbolizados por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não têm impacto na formação do fenótipo final. Por outro lado, os alelos dominantes ou aditivos, representados por A, B, C, D e E, desempenham um papel igual na variável de tamanho. Assim, os genótipos que definem cada fenótipo indicam que a altura de 176 cm para essas pessoas resulta da presença de 5 genes com efeito aditivo e 5 genes com efeito não aditivo, podendo ser expressos nas seguintes fórmulas genotípicas: $aabbCcDDEE$, $AaBBCcDdee$, $aaBBCCDdee$, $aaBbCCDDee$, $aabbCCDDEe$, $aabbCCDdEE$, $aaBBccDdEE$, $AAAbCCDdee$, $AABBCcddee$, $AaBbCcDdEe$, entre outros. Todos os 252 genótipos que levam a uma altura de 176 cm possuem exatamente 5 genes aditivos e 5 não aditivos. Isso demonstra que a altura de 176 cm ultrapassa em 15 cm a de um indivíduo com o genótipo $aabbccdde$, que mede 161 cm.

176 cm do tipo AaBbCcDdEe X AaBbCcDdEe, que apresentam 5 loci heterozigotos em distintos pares de cromossomos homólogos, esperar-se-ia que, entre uma amostra de 1024 indivíduos, 210 apresentassem altura de 179 cm (destacado em vermelho), resultando em uma taxa de 20,507%. Nesse modelo, para avaliar a categoria genotípica de pessoas com 179 cm, é vital compreender que os alelos não aditivos, representados por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não influenciam na definição do fenótipo final, enquanto os dominantes ou aditivos A, B, C, D, E contribuem igualmente para o fator tamanho. Portanto, o genótipo desses indivíduos, considerando a presença de 6 genes com efeito aditivo e 4 com efeito não aditivo, pode ser expresso pela fórmula genotípica: AABbCCddee, AaBbCcDdEE, AaBBcCcDdEe, aaBBCCDdEe, aaBbCCDDEe, aaBbCcDDEE, aaBBcCcDdEE, AAbbCCDDee, etc., todos os 120 genótipos que resultam em estatura de 179 cm contêm exatamente 6 genes com efeito aditivo e 4 com efeito não aditivo, demonstrando que a altura de 179 cm é superior em 18 cm em comparação a uma pessoa com o genótipo aabbccdde, que mede 161 cm.

Tabela 8. Característica fenotípica de pessoas com de 179 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|------|----------------------|--|----------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|----|---|--|--|--|--|---|---|----|----|---|---|----|---|--|--|--|---|---|----|----|----|---|---|----|---|--|--|---|---|----|----|----|----|---|---|-----|---|--|---|---|----|----|----|----|----|---|---|-----|---|---|---|----|----|-----|-----|----|----|---|---|-----|----|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 6 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 4 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de sequências genotípicas com 6 genes aditivos e 4 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{4} = C_{10,4} = \frac{10!}{4!(10-4)!} = \frac{10!}{4!(6)!} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 210 \text{ sequências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 179 cm = 210 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td>1</td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td>1</td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td>1</td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td>1</td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td>1</td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | 8 | 4 | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | 16 | 5 | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | 32 | 6 | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | 64 | 7 | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | 128 | 8 | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | 9 | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | 10 | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 179 cm = 210/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 179 cm = 20,507 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 9 apresentada, são fornecidas informações sobre as características fenotípicas de indivíduos com 182 cm de altura. Adicionalmente, há uma seção que registra, para cada aspecto relacionado à característica, o número total de alelos presentes, a contagem de genes aditivos e não aditivos, a quantidade de sequências genotípicas formadas, a diversidade de variações possíveis, a probabilidade e a porcentagem correspondente à proporção fenotípica.

Nesse contexto, ao compreender quantos genes atuam de maneira aditiva e não aditiva na formação genética, é viável estimar o número de combinações de arranjos genotípicos que podem ser criadas. Assim, para calcular o número de sequências ou opções genotípicas que podem ser obtidas a partir de 7 genes aditivos e 3 genes não aditivos, utilizamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p! (n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois números, onde n representa o total de genes alelos na categoria genotípica e p indica a quantidade de genes aditivos escolhidos entre os disponíveis. O intuito dessa fórmula é identificar as diversas disposições possíveis de

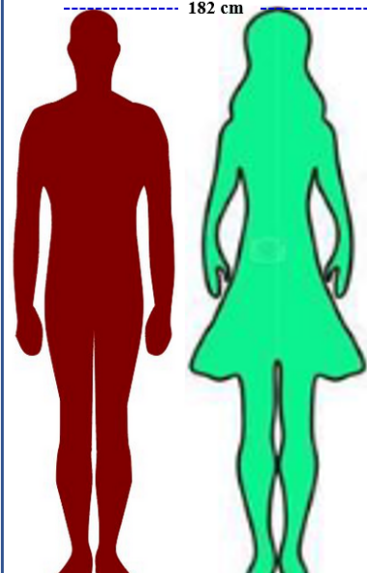
composições genéticas formadas por 7 genes aditivos e 3 genes não aditivos. O resultado indica que é possível obter 120 combinações.

Dado que o nosso objetivo é descobrir as arrumações que podem ser geradas em qualquer sequenciamento de genes que englobem 7 genes aditivos e 3 genes não aditivos, ao aplicarmos a fórmula, conseguimos criar 120 alternativas de combinações de sequência ou de classes genóticas que incluem 7 genes aditivos e 3 não aditivos.

O Triângulo de Pascal oferece uma representação visual para o cálculo de combinações e para resolver questões relacionadas à probabilidade. Os componentes desse triângulo são conhecidos como números ou coeficientes binomiais e podem ser usados para facilitar a contagem de probabilidades conectadas a diversas variações de altura que apresentam diferentes medições. Portanto, para determinar a probabilidade fenotípica que se deseja, é necessário analisar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que contém 11 variantes genéticas ligadas à altura: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, o que reflete a distribuição das proporções fenotípicas de altura na amostra em questão. Ao calcular os valores de altura em humanos, o total é $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou alternativas de classes genóticas. Assim, ao analisarmos centenas de casais com uma altura média dos pais de 176 cm do tipo AaBbCcDdEe, que têm 5 loci heterozigotos localizados em distintos pares de cromossomos homólogos, pode-se esperar que, em uma amostra de 1024 indivíduos, 120 apresentem uma altura de 182 cm (destacado em vermelho), resultando em uma taxa de 11,718%.

Nesse esquema, para analisar a classe genotípica de indivíduos que medem 182 cm, é fundamental ter em mente que os alelos não aditivos, representados por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não afetam a definição do fenótipo final, enquanto os alelos dominantes ou aditivos A, B, C, D, E têm uma contribuição igual no tamanho. Assim, o genótipo dessas pessoas, considerando a presença de 7 genes com efeito aditivo e 3 com efeito não aditivo, pode ser descrito pela fórmula genotípica: AABBCCDdee, AaBbCcDDEE, AaBBCcDdEE, AaBBCcDdEe, aaBBCCDDDe, aaBbCCDDDE, aaBBCcDDDE, AAbbCCDDDe, etc. Todos os 120 genótipos que resultam em uma altura de 182 cm possuem precisamente 7 genes com efeito aditivo e 3 com efeito não aditivo, demonstrando que a altura de 182 cm excede em 21 cm a de uma pessoa com o genótipo aabbccdee, que tem uma altura de 161 cm.

Tabela 9. Característica fenotípica de pessoas com de 182 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|----|----|--|--|------|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|-----|-----|----|----|---|--|--|--|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|--|--|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 7 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 3 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de sequências genotípicas com 7 genes aditivos e 3 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{3} = C_{10,3} = \frac{10!}{3!(10-3)!} = \frac{10!}{3!(7!)} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 120 \text{ sequências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 182 cm = 120 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="11">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td></td><td></td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | | | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | | | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | | | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | | | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | | | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | | | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | | | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | | | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 182 cm = 120/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 182 cm = 11,718 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 10 apresentada, são reveladas informações sobre as características fenotípicas de indivíduos com 185 cm de altura. Adicionalmente, há uma seção na qual foi registrado o total de alelos presentes para cada aspecto relacionado à característica, além de detalhes sobre a contagem de genes aditivos e não aditivos, o número total de sequências genotípicas, a quantidade de variações possíveis, a probabilidade e a porcentagem da proporção fenotípica.

Nesse contexto, ao compreender a quantidade de genes que influenciam de maneira aditiva e não aditiva na formação genética, torna-se viável estimar o número de combinações de configurações genotípicas que podem surgir. Assim, para identificar quantas sequências ou alternativas genotípicas podem emergir a partir de 8 genes aditivos e 2 não aditivos, utilizamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p!(n-p)!$. Aqui, $C_{n,p}$ refere-se à combinação de dois valores, onde n representa o total de genes alelos na categoria genotípica e p indica a quantidade de genes aditivos escolhidos dentre os disponíveis. O objetivo dessa fórmula é determinar as diversas arrumações possíveis de composições genéticas formadas por 8 genes aditivos e 2 genes não aditivos. O resultado sugere que é possível obter 45 combinações.

Tendo como meta descobrir as possíveis configurações que podem ser formadas em qualquer sequência de genes, que inclua 8 genes aditivos e 2 não aditivos, ao aplicar a fórmula, conseguimos gerar 45 opções de combinações de sequências ou classes genotípicas envolvendo esses 8 genes aditivos e 2 não aditivos.

O Triângulo de Pascal oferece uma representação gráfica para a determinação de combinações e para a resolução de questões ligadas à probabilidade. As partes que compõem esse triângulo são conhecidas como números ou coeficientes binomiais e podem ser utilizados para facilitar a contabilização de chances relacionadas a diferentes fenótipos de altura que variam em diferentes medições. Para descobrir a probabilidade fenotípica desejada, é necessário consultar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que contém 11 variações genéticas associadas às alturas: 1: 10: 45: 120: 210: 252: 120: 45: 10: 1, que representam a distribuição das proporções fenotípicas de estatura na amostra analisada. Quando se calculam os valores de altura em humanos, obtemos um total de 1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 +

45 + 10 + 1, totalizando 1024 combinações de classes genotípicas. Assim, pode-se concluir que, ao cruzar indivíduos com 176 cm de altura do tipo AaBbCcDdEe X AaBbCcDdEe, que apresentam 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, espera-se que em uma amostra de 1024 indivíduos, 45 tenham uma altura de 185 cm (destacado em vermelho), resultando em uma taxa de 4,394%.

Dentro desse modelo, para examinar a classe genotípica das pessoas com 185 cm de altura, é fundamental compreender que os alelos não aditivos, representados por letras minúsculas (a, b, c, d, e), não afetam a determinação do fenótipo final, enquanto os dominantes ou aditivos A, B, C, D, E contribuem de forma igual ao fator de tamanho. Assim, o genótipo desses indivíduos, considerando a presença de 8 genes com efeito aditivo e 2 com efeito não aditivo, pode ser representado pela fórmula genotípica: AABBCcDDee, AaBbCCDDEE, AaBBCcDDEE, AaBBCCDdEE, AaBBCCDDDe, entre outros. Todos os 45 genótipos associados à altura de 185 cm possuem exatamente 8 genes com efeito aditivo e 2 com efeito não aditivo, demonstrando que a altura de 185 cm é 24 cm maior em comparação com uma pessoa que apresenta o genótipo aabbccdde, que mede 161 cm.

Tabela 10. Característica fenotípica de pessoas com de 185 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|---|---------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|----------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|----|----|------|---|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|---|--|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|---|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|---|--|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|----|----|----|---|--|--|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|----|----|-----|-----|----|----|---|--|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|
| | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 8 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 2 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de seqüências genotípicas com 8 genes aditivos e 2 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{2} = C_{10,2} = \frac{10!}{2!(10-2)!} = \frac{10!}{2!(8!)} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 45 \text{ seqüências}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 185 cm = 45 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td></td><td></td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td></td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | | | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | | | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | | | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 126 | 84 | 36 | 9 | | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 185 cm = 45/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 185 cm = 4,394 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A Tabela 11 foi elaborada para compilar informações sobre a característica fenotípica de indivíduos que medem 188 cm. Nesse documento, também há um espaço onde foi registrado, para cada aspecto relacionado à característica, o total de alelos presentes, a quantidade de genes aditivos e não aditivos, o número de seqüências genotípicas produzidas, as possíveis variações, a probabilidade e a proporção fenotípica em porcentagem.

Neste contexto, ao analisar quantos genes contribuem de forma aditiva e não aditiva para a formação genética, é possível calcular o número de combinações de arranjos genotípicos que podem surgir. Assim, para descobrir quantas seqüências ou opções genotípicas podem ser formadas a partir de 9 genes aditivos e 1 gene não aditivo, usamos a equação: $C_{n,p} = n! / p!(n-p)!$. Nesta equação, $C_{n,p}$ representa a combinação de dois números, onde n é o total de alelos na categoria genotípica e p é a quantidade de genes aditivos selecionados entre os disponíveis. Esse cálculo tem o objetivo de identificar as distintas disposições possíveis de fórmulas

genéticas compostas por 9 genes aditivos e 1 gene não aditivo. O desfecho é que podem ser alcançadas 10 combinações diferentes.

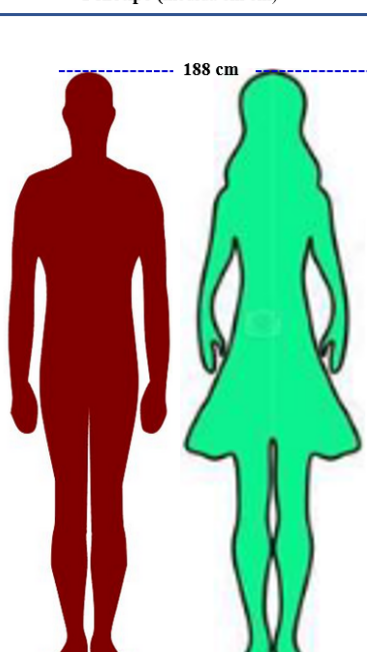
Com a intenção de descobrir as diferentes configurações que podem ser criadas com qualquer arranjo de genes que inclua 9 genes aditivos e 1 não aditivo, ao aplicar a fórmula, conseguimos gerar 10 combinações distintas de sequências ou opções de classes genótípicas disponíveis.

O Triângulo de Pascal fornece uma forma visual para calcular combinações e abordar problemas de probabilidade. Os componentes desse triângulo são chamados de números binomiais ou coeficientes binomiais, e eles podem ser utilizados para facilitar o cálculo das chances ligadas a cada fenótipo de altura que tem variações métricas. Assim, ao tentar identificar a probabilidade fenotípica procurada, é necessário verificar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, onde estão as 11 variações genéticas relacionadas às alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, representando a distribuição da proporção fenotípica de altura na população analisada. Ao considerar as medidas de altura em humanos, totalizamos $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ combinações ou opções de classes genótípicas.

Portanto, é possível afirmar que, em cruzamentos entre indivíduos com altura de 176 cm do tipo AaBbCcDdEe X AaBbCcDdEe, que possuem 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, em uma amostra de 1024 indivíduos, espera-se que 10 apresentem altura de 188 cm (destacado em vermelho), resultando em uma proporção de 1,024%.

Para identificar as classes genótípicas dos indivíduos com 188 cm, não é necessário determinar qual alelo é aditivo, uma vez que todos têm impacto igual na definição do fenótipo final. Assim, o genótipo dos dez indivíduos, considerando 10 genes com efeito aditivo e 1 gene com efeito não aditivo, pode ser expresso nas seguintes fórmulas genótípicas: AaBbCCDDEE, AABbCCDDEE, AABBCcDDEE, AABBCCDdEE, ou AABBCCDDEe, todos com altura de 188 cm, que é 27 cm maior do que uma pessoa com o genótipo aabbccdde, que mede 161 cm.

Tabela 11. Característica fenotípica de pessoas com de 188 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|------|----------------------|--|----------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|---|---|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|---|---|--|--|--|---|---|---|---|---|--|--|----|---|--|--|---|---|----|----|---|---|--|--|----|---|--|---|---|----|----|----|---|---|--|--|----|---|--|---|---|----|----|----|----|---|---|--|-----|---|--|---|---|----|----|----|----|----|---|---|-----|---|--|---|---|----|----|-----|----|----|---|---|-----|----|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|
|  | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 9 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 1 gene | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de sequências genótípicas com 9 genes aditivos e 1 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{Nº total de genes} \\ p = \text{Nº de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{1} = C_{10,1} = \frac{10!}{1!(10-1)!} = \frac{10!}{1!(9)!} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{1 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 10$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genótípicas para homem e mulher com estatura de 188 cm = 10 possibilidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td></td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td>1</td><td></td><td></td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td>1</td><td>6</td><td>15</td><td>20</td><td>15</td><td>6</td><td>1</td><td></td><td></td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td>1</td><td>7</td><td>21</td><td>35</td><td>35</td><td>21</td><td>7</td><td>1</td><td></td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td>1</td><td>8</td><td>28</td><td>56</td><td>70</td><td>56</td><td>28</td><td>8</td><td>1</td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td>1</td><td>9</td><td>36</td><td>84</td><td>126</td><td>84</td><td>36</td><td>9</td><td>1</td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td>1</td><td>10</td><td>45</td><td>120</td><td>210</td><td>252</td><td>210</td><td>120</td><td>45</td><td>10</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | 1 | 2 | 1 | | | 4 | 3 | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | | | 8 | 4 | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | | | 16 | 5 | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | | | 32 | 6 | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | | | 64 | 7 | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | | 128 | 8 | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | 9 | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | 10 | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 |
| | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | 1 | 2 | 1 | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | 1 | 3 | 3 | 1 | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | | | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | | | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | 1 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | 1 | 9 | 36 | 84 | 126 | 84 | 36 | 9 | 1 | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 cm | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 188 cm = 10/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 cm | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 188 cm = 1,024 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 12 mostrada, são apresentadas informações sobre a característica fenotípica de indivíduos com altura de 191 cm. Adicionalmente, há uma seção onde é registrado o total de genes alelos associados a cada aspecto da característica, incluindo a contagem de genes aditivos e não aditivos, o total de sequências genotípicas criadas, o número de variações possíveis, a probabilidade e a proporção fenotípica em percentual.

Nesse contexto, ao analisar o número de genes que atuam de forma aditiva e não aditiva na composição genética, é possível calcular quantas combinações de configuração genotípica podem surgir. Portanto, para averiguar o número de sequências ou opções genotípicas geradas a partir de 10 genes aditivos e nenhum gene não aditivo, utilizamos a fórmula: $C_{n,p} = n! / p!(n-p)!$. Nesta fórmula, $C_{n,p}$ representa a combinação de dois valores, com n correspondendo ao total de genes alelos dentro da categoria genotípica e p ao número de genes aditivos escolhidos dentre os disponíveis. Esta equação visa descobrir as diversas possibilidades de arranjos de fórmulas genéticas compostas por 10 genes aditivos e nenhuma presença de gene não aditivo. O resultado indica que existe apenas uma combinação viável.

Com a intenção de identificar as possíveis configurações formadas em qualquer sequência de genes que conte com 10 genes aditivos e sem genes não aditivos, ao aplicar a fórmula, geramos apenas uma única opção de combinação de sequência ou classe genotípica que envolve 10 genes aditivos e nenhum gene não aditivo.

O Triângulo de Pascal é uma ferramenta visual que auxilia no cálculo de combinações e na solução de questões associadas à probabilidade. Os números presentes nesse triângulo são conhecidos como coeficientes binomiais e servem para facilitar a contagem de probabilidades ligadas a diferentes fenótipos de altura que apresentam variações em suas medidas. Para determinar a probabilidade fenotípica desejada, devemos observar a décima linha do Triângulo de Pascal destacado em verde, que contém 11 combinações genéticas ligadas a alturas: 1 : 10 : 45 : 120 : 210 : 252 : 120 : 45 : 10 : 1, ilustrando a distribuição de proporções fenotípicas de estatura na amostra em questão. Quando analisamos os valores de altura em humanos, temos um total de $1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 120 + 45 + 10 + 1 = 1024$ possibilidades ou classes genotípicas. Dessa forma, ao cruzar indivíduos com altura de 176 cm do genótipo $AaBbCcDdEe \times AaBbCcDdEe$, que possuem 5 loci heterozigotos em diferentes pares de cromossomos homólogos, é esperado que, em uma amostra de 1024 indivíduos, apenas 1 alcance a altura de 191 cm (destacado em vermelho), o que resulta em uma taxa de 0,097%.

Nesse contexto, para analisar a classe genotípica das pessoas que medem 191 cm, é fundamental compreender que os alelos que se somam, simbolizados por letras maiúsculas (A, B, C, D, E), têm uma contribuição igual para o aumento do fenótipo final. Assim, o genótipo desses indivíduos, considerando a ausência de genes com efeitos não aditivos e a presença de dez com efeito aditivo, pode ser representado pela fórmula genotípica: $AABBCCDDEE$, todos evidenciando a altura de 191 cm, que seria a estatura máxima, superando em 30 cm a altura de uma pessoa com o genótipo $aabbccddee$, que mede 161 cm.

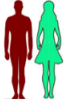










Tabela 12. Característica fenotípica de pessoas com de 191 cm de altura conforme ação aditiva de genes.

| Fenótipo (medida em cm) | Estadiômetro | Previsão das características quantitativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|--|---|--|--|--|--|--|--|---|----------------------|----|----------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|----|------|--|
| | 200 cm | Nº total de genes = 10 genes (5 pares) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 cm | Nº Genes aditivos = 0 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 cm | Nº Genes não aditivos = 10 genes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 cm | Nº de seqüências genotípicas com 10 genes aditivos e 0 não aditivos = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 cm | $\binom{n}{p} = C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} = \begin{cases} n = \text{N}^\circ \text{ total de genes} \\ p = \text{N}^\circ \text{ de genes aditivos} \end{cases}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 cm | $\binom{10}{0} = C_{10,0} = \frac{10!}{0!(10-0)!} = \frac{10!}{10!} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 1$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 cm | Nº Classes genotípicas para homem e mulher com estatura de 191 cm = 1 possibilidade | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 120 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 110 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Total de Poligênese</th> <th colspan="10">Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais)</th> <th>Total de Combinações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>4</td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>5</td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>6</td><td>64</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>7</td><td>128</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>8</td><td>256</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>9</td><td>512</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>10</td><td>1024</td></tr> </tbody> </table> | Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | 0 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1 | | 2 | 4 | 3 | | | | | | | | | | 1 | | 3 | 8 | 4 | | | | | | | | | | 1 | | 4 | 16 | 5 | | | | | | | | | | 1 | | 5 | 32 | 6 | | | | | | | | | | 1 | | 6 | 64 | 7 | | | | | | | | | | 1 | | 7 | 128 | 8 | | | | | | | | | | 1 | | 8 | 256 | 9 | | | | | | | | | | 1 | | 9 | 512 | 10 | | | | | | | | | | 1 | | 10 | 1024 | |
| Total de Poligênese | Representação das combinações até a linha 10 (Coeficientes Binomiais) | | | | | | | | | | Total de Combinações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | 1 | | 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 1 | | 3 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | 1 | | 4 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | 1 | | 5 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | 1 | | 6 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | 1 | | 7 | 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | 1 | | 8 | 256 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | | 9 | 512 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | | 10 | 1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Probabilidade de ocorrer fenótipo de homem e mulher com estatura de 191 cm = 1/1024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Proporção fenotípica (%) de homens e mulheres com estatura de 191 cm = 0,097 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Na Tabela 13, estão apresentadas as proporções de 11 categorias fenotípicas relacionadas a alturas que se alteram de maneira progressiva (161 cm, 164 cm, 167 cm, 170 cm, 173 cm, 176 cm, 179 cm, 182 cm, 185 cm, 188 cm e 191 cm), levando em conta tanto os genes aditivos quanto os não aditivos. Para descobrir o total de classes genotípicas, é necessário apenas somar as combinações de cada elemento do binômio que se encontra na décima linha do Triângulo de Pascal, que representa 11 variantes genéticas ligadas às alturas: 1: 10: 45: 120: 210: 252: 120: 45: 10: 1, que ilustra a distribuição das proporções fenotípicas de altura na amostra em questão. Essas combinações revelam as proporções fenotípicas, resultando em: 1/1024 para altura de 161 cm, 10/1024 para altura de 164 cm, 45/1024 para altura de 167 cm, 120/1024 para altura de 170 cm, 210/1024 para altura de 173 cm, 252/1024 para altura de 176 cm, 210/1024 para altura de 179 cm, 120/1024 para altura de 182 cm, 45/1024 para altura de 185 cm, 10/1024 para altura de 188 cm e 1/1024 para altura de 191 cm.

Isso significa que a maior parte dessa população possui um perfil genético compatível com a altura de 176 cm, e poucas pessoas possuem um perfil genético compatível com a altura de 161 cm e 191 cm.

Tabela 13. Valor individual dos alelos que contribuem para a variação contínua dos fenótipos conforme ação aditiva de genes.

| Classes Fenotípicas |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
| Estatura (cm) | 161 cm | 164 cm | 167 cm | 170 cm | 173 cm | 176 cm | 179 cm | 182 cm | 185 cm | 188 cm | 191 cm |
| Nº Genes aditivos | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Nº Genes não aditivos | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Nº total de genes | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Nº classes genotípicas | 1 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 | 10 | 1 |
| Proporção fenotípica | 1/1024 | 10/1024 | 45/1024 | 120/1024 | 210/1024 | 252/1024 | 210/1024 | 120/1024 | 45/1024 | 10/1024 | 1/1024 |
| % fenotípica | 0,097 | 1,024 | 4,394 | 11,718 | 20,507 | 24,609 | 20,507 | 11,718 | 4,394 | 1,024 | 0,097 |

A análise cuidadosa das alturas de homens e mulheres (Tabelas 2 a 13) resultou na suposição de que as estaturas humanas mudam de forma gradual, sendo influenciadas por um componente hereditário que se relaciona com diversos outros fatores mendelianos por meio de um efeito acumulativo.

Neste contexto, foram considerados cinco pares de genes para a altura de 191 cm: AABBCCDDEE; para a altura de 161 cm: aabbccdde. Os híbridos que surgem da combinação de um homem com altura de 191 cm: AABBCCDDEE e uma mulher de 161 cm: aabbccdde, terão todos a configuração genética AaBbCcDdEe, resultando em uma estatura média de 176 cm, sendo todos iguais. Quando esses híbridos se cruzam entre si nas mesmas condições, cada descendente receberá um gene de cada par: A ou a; B ou b; C ou c; D ou d; E ou e. Alguns filhos poderão herdar de ambos os pais uma maior quantidade de genes para a altura de 191 cm — A, B, C, D, E, e nesse cenário, serão mais altos do que seus pais. Outros poderão herdar uma predominância dos genes para a altura de 161 cm — a, b, c,... e, assim, terão uma altura inferior à dos pais. Alguns receberão quantidades iguais de genes dos dois pais. É possível que uma criança desse casal com altura média (176 cm) possua o genótipo aabbccdde (161 cm) ou AABBCCDDEE (191 cm). Isso é viável, porém raro. A probabilidade de isso ocorrer é extremamente baixa, pois, em uma polihibridação com cinco pares de fatores, a chance de se obter os genótipos aabbccdde (161 cm) ou AABBCCDDEE (191 cm) é de apenas 1 em 1.024. A teoria dos fatores acumulativos pode explicar a bem conhecida ocorrência de filhos de pais com alturas médias que são, muitas vezes, diferentes dos pais, apresentando-se mais baixos ou mais altos. Segundo essa teoria, observa-se que, no cruzamento de um indivíduo com altura média de 176 cm: AaBbCcDdEe, com um de altura de 191 cm: AABBCCDDEE, os filhos não podem ser mais baixos que o genitor de 176 cm: AaBbCcDdEe, mas devem ser iguais ou mais altos. No caso do cruzamento de um indivíduo de altura média de 176 cm: AaBbCcDdEe com aabbccdde (161 cm), os filhos não podem ter altura superior ao genitor de 176 cm: AaBbCcDdEe, mas devem ser iguais ou menores.

Assim, este estudo propôs uma sequência didática mais dinâmica e envolvente para ajudar os alunos a entenderem a relação entre probabilidade e genética quantitativa.

O objetivo do estudo foi habilitar o estudante a investigar a interseção entre Biologia e Matemática, explorando a conexão entre genética quantitativa e probabilidade e fomentando uma abordagem interdisciplinar. Empregar esse tema para que os alunos adquiram conhecimentos aplicáveis no futuro, aprendam a relacionar os riscos com seus descendentes e promovam a relevância do aconselhamento genético.

Com base no exposto, pode-se afirmar que os modelos didáticos possuem um potencial relevante para auxiliar os educadores, especialmente ao abordarem conteúdos considerados desafiadores pelos alunos, como os relacionados à genética quantitativa no âmbito da Biologia. Nesse sentido, segundo Medeiros, Alves, Kimura (2022; 2023; 2024; 2025; 2026) cabe ao educador, ao decidir pela utilização de um modelo didático, criar oportunidades para desenvolver esse recurso a partir de uma pesquisa conceitual aprofundada. Essa prática visa enriquecer a abordagem pedagógica, permitindo que o modelo seja utilizado para esclarecer fenômenos ou processos específicos, promovendo a construção do conhecimento ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Baptista (2003) destaca a importância de conduzir futuros professores de ciências biológicas a partir de suas experiências e concepções prévias, com o objetivo de ampliar suas estratégias pedagógicas e aprimorar os recursos didáticos utilizados. De acordo com essa perspectiva, é pertinente concordar com Carvalho & Gil-Pérez (2001), que reforçam a necessidade de os docentes desenvolverem atividades voltadas para uma aprendizagem significativa. Essas atividades devem estar centradas na resolução de situações-problema e no fortalecimento do entendimento do processo educativo, favorecendo assim a construção do conhecimento científico.

Compreende-se, portanto, a relevância de buscar novas alternativas que enriqueçam o processo de ensino e aprendizagem no contexto das metodologias de análise combinatória, utilizando o triângulo de Pascal para descrever e identificar as variações de valores métricos progressivos relacionados à altura humana. Essa abordagem visa possibilitar ao aluno o desenvolvimento de suas habilidades por meio da leitura e interpretação de situações-problema reais e do cotidiano. Assim, o estudante estará ativando recursos cognitivos e definindo conhecimentos essenciais em cada contexto, promovendo um pensamento mais produtivo.

Ao analisar o resultado da proposta didática (Figuras 1), percebeu-se que os estudantes se tornaram protagonistas do processo de ensino e aprendizagem. Ao coletarem os dados (Tabelas 2 a 13), acessaram e valorizaram conhecimentos do cotidiano, apresentaram aumento na capacidade de registrar informações de forma diferenciada, de argumentar e de analisar dados, obtendo dessa maneira ganhos pessoais e cognitivos.

O modelo didático desenvolvido neste estudo ofereceu aos estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas uma ferramenta metodológica adicional para ser utilizada nas aulas de Genética, especificamente na abordagem de temas relacionados à variabilidade genética entre espécies. O foco esteve no estudo da variação contínua progressiva da altura humana, aplicando conceitos de análise combinatória com o uso do triângulo de Pascal, utilizando informações fenotípicas apresentadas na Figura 1.

Para a elaboração do modelo, levou-se em consideração a necessidade de utilizar materiais acessíveis, econômicos e de fácil construção. Nesse contexto, conforme indicado por Guimarães & Ferreira (2006), Justina & Ferla (2006), Cavalcante & Silva (2008), Temp & Bartholomei-Santos (2014; 2018), Medeiros et al. (2021) e Medeiros, Alves e Kimura (2023; 2024; 2025; 2026), esses recursos didáticos destacam-se como ferramentas pedagógicas importantes, capazes de tornar as aulas mais diversificadas, interativas e atrativas. Além disso, oferecem suporte ao professor para a implementação de diferentes conteúdos de maneira dinâmica no processo de ensino-aprendizagem.

Assim é importante o uso de ferramentas metodológicas que permitam um ensino mais adequado e que sejam capazes de chamar a atenção dos alunos e promover uma participação ativa na construção do saber (VYGOTSKY, 2003; MARCONI & LAKATOS, 2003; SETÚVAL & BEJARANO, 2009; AMABIS & MARTHO, 2010; GIL, 2010; AINSWORTH, PRAIN & TYTLER 2011; SOUZA et al., 2013; TEMP 2011; 2014; MADUREIRA et al. (2016); MORAIS & MARQUES, 2017; PAIXÃO et al., 2018; LUZ et al., 2019; LIMA et al., 2020; MEDEIROS, ALVES e KIMURA (2023; 2024; 2025; 2026).

Numerosos estudos têm sido conduzidos sobre o uso de modelos representativos no ensino fundamental, médio e superior. Além de pesquisas voltadas para incrementar o interesse e a aprendizagem dos alunos, também existem investigações que se propuseram a criar modelos alternativos para apoiar professores dispostos a implementá-los em suas aulas. Outros trabalhos focaram na criação e utilização de modelos com estudantes de Licenciatura em Biologia, para que esses futuros educadores possam empregá-los como recurso didático após a conclusão do curso. Entre as pesquisas que apresentam modelos representativos em ambientes de aprendizagem estão Matos et al. (2009); Orlando et al. (2009); Mendonça & Santos (2011); Souza & Faria (2011); Temp (2011); Duso (2012); Krause (2012); Oliveira et al. (2012); Duso et al. (2013); Ferreira et al. (2013); Reis et al. (2013); Olmo et al. (2014); Vinholi Júnior & Princival (2014); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves e Kimura (2023; 2024; 2025; 2026), que relataram, de maneira geral, o envolvimento dos alunos durante toda a atividade; uma facilidade maior na reflexão sobre o conteúdo; a facilitação de um aprendizado significativo em referência a conceitos que apresentavam grande dificuldade para os **discentes**; além de curiosidade, entusiasmo, interesse, interação e uma maior facilidade no desenvolvimento de competências e habilidades pelos alunos; também foi notado o fomento à criatividade e ao trabalho em equipe entre os estudantes.

As ilustrações da atividade proposta, que apresentaram uma diversidade de padrões de altura associados a imagens de homens e mulheres (Figura 1), foram eficazes para investigar a ocorrência de alelos aditivos e não aditivos relacionados à altura. Além disso, permitiram observar um desempenho semelhante ao registrado em aulas práticas, indicando que esse modelo alternativo utilizado pode servir como substituto. Por meio dessa metodologia, foi possível perceber que os licenciandos desenvolveram uma postura mais científica. Durante a coleta de dados (Figura 1 e Tabelas 1 a 13), eles conseguiram integrar conhecimentos do cotidiano, demonstrando habilidades para registrar informações de maneira diferenciada, argumentar com propriedade e analisar dados. Esse processo proporcionou não apenas avanços pessoais como também ganhos cognitivos relevantes.

Segundo Mendonça & Santos (2011), os modelos didáticos, além de oferecerem aos alunos a competência necessária para criar e recriar, também permitem associar o conhecimento científico transmitido a uma abordagem mais investigativa. Essa metodologia promove o desenvolvimento de habilidades como compreensão, associação temática, trabalho em grupo, organização e concentração, facilitando a elaboração dos modelos. Os benefícios dessa prática são amplamente reconhecidos, com diversos autores destacando sua contribuição para a melhoria do aprendizado (GARDNER, 1995; WATERMAN, 2001; MIRANDA, 2001; BLUMKE, 2002; OLIVEIRA, 2005; BASSANEZI, 2006; BARBOSA, 2008; PEDROSO, 2009; MELO, 2010; MENDONÇA & SANTOS, 2011; DUSO, 2012; GUILHERME et al., 2012; HERMANN & ARAÚJO, 2013; CALDERANO et al., 2014; KLAUBERG, 2015; LIMA & CAMAROTTI, 2015; PEREIRA et al., 2015; BATISTA; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2016; MEDEIROS et al., 2021 e 2022; MEDEIROS, ALVES, KIMURA, 2022; 2023; 2024; 2025; 2026).

Medeiros, Alves e Kimura (2025) afirmam que a variedade dos alunos no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas é importante e mencionam que cada indivíduo tem uma forma distinta de aprender, com seu próprio tempo e modo. Com isso, propõem que a aplicação de diferentes metodologias pode ser uma forma eficaz de aprimorar a compreensão dos temas relacionados à genética.

A educação contemporânea está passando por profundas transformações e inovações, enfrentando, em certos casos, desafios relacionados ao acesso aos recursos que podem ser utilizados em sala de aula. Nesse cenário, a tecnologia emerge como uma ferramenta estratégica para o ensino e a aprendizagem, auxiliando na construção de novos e diversos conhecimentos. Mais do que atrair o interesse dos alunos para fomentar seu desenvolvimento escolar ou

estimular a curiosidade pelos estudos, trata-se de proporcionar um mecanismo que facilite seu aprendizado e os apoie na busca pelo conhecimento, promovendo um crescimento educacional positivo.

No cenário apresentado, os pesquisadores Medeiros, Alves e Kimura (2025; 2026) mencionaram que os modelos pedagógicos desempenham uma função crucial no auxílio ao aprendizado dos alunos. Ao se depararem com metodologias que despertam seu interesse e permitem a exploração de conteúdos de forma interativa e fácil, os estudantes conseguem aprender de uma forma mais prazerosa e eficaz. Isso ajuda a elevar o ânimo e a atenção nos estudos, além de possibilitar o desenvolvimento de habilidades que podem ser diretamente utilizadas no contexto escolar.

O uso de modelos didáticos dentro do ambiente escolar contribui para tornar as aulas mais envolventes e agradáveis, promovendo uma integração entre aprendizado e lazer. Esse equilíbrio transforma a escola em um espaço mais acolhedor e estimulante para os alunos. Nesse contexto, os estudantes passam a sentir maior satisfação em frequentar a escola, ao mesmo tempo que aprendem e compartilham seus conhecimentos com o grupo. Tal ambiente favorece sua expressão pessoal e o desenvolvimento de habilidades, utilizando recursos visuais que facilitam o processo de aprendizagem.

Para que esse processo seja eficaz, o professor desempenha um papel fundamental ao oferecer estratégias e metodologias diversificadas, considerando as dificuldades individuais dos alunos. Ao implementar essas práticas, ele busca criar caminhos que ajudem os estudantes a superar barreiras de aprendizado, promovendo uma experiência mais motivadora e agradável. Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de disponibilizar ferramentas úteis para educadores e professores, visando orientar e apoiar os alunos na conquista de êxitos ao longo de sua trajetória escolar.

CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados apresentados, concluímos que esse modelo didático possui um grande potencial para apoiar os educadores ao trabalharem com conteúdo frequentemente desafiadores para os alunos, especialmente no campo da genética quantitativa. Em particular, destaca-se a aplicação da metodologia de análise combinatória utilizando o Triângulo de Pascal para descrever e caracterizar variações métricas progressivas, como a altura humana. Essa abordagem oferece perspectivas promissoras sobre a importância de, enquanto docentes, investirmos em metodologias de ensino que contribuam para superar as dificuldades enfrentadas no ensino de Probabilidade, acrescentando uma ferramenta eficiente e prática às aulas.

Reconhecemos que há muito trabalho a ser realizado para superar esses desafios em diferentes contextos. Entretanto, a persistência em desenvolver estudos, reflexões e aplicar métodos eficientes pode ser de grande valia na formação tanto de quem conduz quanto de quem participa desse processo. Dentro dessa perspectiva, novas perguntas e questionamentos certamente surgirão no desafio de ensinar sobre a aplicação da herança poligênica ou quantitativa, uma missão que está em constante transformação dependendo do contexto. Por isso, redefinir os rótulos é essencial para os alunos, e abordagens como essas desempenham um papel importante, direta ou indiretamente, na desconstrução desses estigmas, neste caso, no combate à ideia de que aprender probabilidade em um contexto introdutório, incluindo o Princípio Fundamental da Contagem e o Triângulo de Pascal, é sempre uma tarefa difícil e complexa. Assim, é possível contribuir significativamente para superar esse paradigma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINSWORTH, S.; PRAIN, V.; TYTLER, R. Drawing to Learn. *Science Education*, v. 333, n. 26, p. 1096-1097, 2011.

AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. *Biologia das populações*. (3ª ed., Vol.3) São Paulo: Moderna. (2010).

ANTUNES, A.M.; SABÓIA-MORAIS, S.M.T. O jogo Educação e Saúde: uma proposta de mediação pedagógica no ensino de Ciências. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.5, n.2, p. 55-70, 2010.

BAIOTTO, C. R.; SEPEL, L. M. N.; LORETO, E. L. S. Para ensinar genética mendeliana: ervilhas ou lóbulos de orelha? *Genética na Escola*, v. 11, n.2, p. 283-296, (2016).

BARBOSA, M. V. Oficinas práticas de genética molecular para estudantes do ensino fundamental e médio no município de Garanhuns. In 54º Congresso Brasileiro de Genética, p.2 Salvador, 2008.

BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem Matemática: uma nova estratégia*. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2006.

BAPTISTA, G. C. S. A Importância da Reflexão sobre a Prática de Ensino para a Formação Docente Inicial em Ciências Biológicas. In: *Ensaio: Pesquisa em educação em ciências*, Vol. 5, no 2. FaE, UFMG, Belo Horizonte, MG, outubro, 2003.

BATISTA, R. C; OLIVEIRA, J. E.; RODRIGUES, S. F. P. **Sequência Didática–Ponderações Teórico- Metodológicas**. Didática e Prática de Ensino no contexto político contemporâneo: cenas da Educação Brasileira. XVIII ENDIPE. 2016.

BEIGUELMAN, B. A *Interpretação Genética da Variabilidade Humana*. Ribeirão Preto, SP: Editora SBG (Sociedade Brasileira de Genética), 2008. 152 p.

BLUMKE, R. A. A experimentação no ensino de física. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Física, Estatística e Matemática. Ijuí. (2002).

BORGES, T. S.; ALENCAR, G. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior Cairu em Revista. Jul/Ago 2014, Ano 03, nº 04, p. 1 19-143.

CALDERANO, C. M. et al. Confecção e utilização de modelos didáticos como ferramenta para o ensino de citologia. In: II CONGRESSO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E XII CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, 2., 12., 2014, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo, 2014. p. 10543-10553.

CARVALHO, A. M. P. de & GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de ciências*. 5ªed. Edit. Cortez, São Paulo, 2001.

CAVALCANTE, D. D. & SILVA, A. de F. A. de. **Modelos didáticos e professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentações.** In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, Curitiba, UFPR, Julho de 2008.

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de biologia. Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino, v. 16, p. 432-441, 2012. UNICAMP - Campinas – 2012.

DUSO, L.; CLEMENT, L.; PEREIRA, P. B.; FILHO, J. P. A. Modelização: Uma Possibilidade no Ensino de Biologia. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, 15(2), 29-44. (2013).

FERREIRA, J. C.; ALMEIDA, S. A. O pensar e o fazer modelos didáticos por alunos de licenciatura em Biologia. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, p. 1-8, 2013.

GARDNER, E. J.; SNUSTAD, D. P. Genética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 7.ed. 1986.

GARDNER, H. Inteligências Múltiplas: a teoria na prática. POA: Artes Médicas. (1995).

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo, Editora Atlas, Sétima edição. 2010.

GRIFFITHS, A. J. F; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. Introdução à Genética. 11ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

GUILHERME, B. C. et al. Análise de propostas de ensino de genética através do uso de modelos didáticos. In: VI CÓLOQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, 6., 2012, São Cristóvão. **Anais...** Sergipe: UFS, 2012.

GUIMARÃES, E. M.; FERREIRA, L. B. M. O uso de modelos na formação de professores de Ciências. 2º ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 3ª JORNADA DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS DA UFSC. Anais... Florianópolis, novembro de 2006.

HERMANN, F. B.; ARAÚJO, M. C. P de. Os jogos didáticos no ensino de genética como estratégias partilhadas nos artigos da revista genética na escola. In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 6., 2013, Santo Ângelo. **Anais...** Rio Grande do Sul: EREBIOSUL, 2013.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no Ensino de Genética: exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. Arquivos 83 do Museu Dinâmico Interdisciplinar, Maringá, v.10, n.2, p.35-40, 2006.

KLAUBERG, S. D. W. O Lúdico no Ensino da biologia uso de um modelo didático para ensino da divisão celular mitótica. 2015. 21 f. Monografia (Especialização em Genética para Professores do Ensino Médio) - Universidade Federal do Paraná, Nova Londrina, 2015.

KRAUSE, F. C. Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio. 186 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Brasília, Faculdade de Educação, Brasília, DF, 2012.

KRASILCHIK, M. *Práticas do ensino de biologia*. São Paulo: EDUSP, 2004.

LIMA, J. P. de; CAMAROTTI, M. F. Ensino de ciências e biologia: o uso de modelos didáticos em porcelana fria para o ensino, sensibilização e prevenção das parasitoses intestinais. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. *Anais...* Paraíba: CONEDU, 2015.

LIMA, M. M. O. et al. Practical Biology activities: an investigative teaching sequence about the cell cycle. *Research, Society and Development*, 9(9), 1-22. (2020).

LUZ, J. R. D. et al. O uso de desenhos no estilo mangá como Ferramenta didático-pedagógica para o Ensino de bioquímica. 2019. In: MONTEIRO, S. A. S. *Pensando as licenciaturas*. Atena Editora: Ponta Grossa, PR, 2019.

MADUREIRA, H. C. et al. O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da biologia molecular: entendendo a transcrição do DNA. *Revista Científica Interdisciplinar*. V. 3, n. 1, p. 17-25, jan/mar. 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MATOS, C. H. C.; OLIVEIRA, C. R. F.; SANTOS, M. P. F.; FERRAZ, C. S. Utilização de Modelos Didáticos no Ensino de Entomologia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 9, n. 1, 2009.

MASCARENHAS, M. J. O.; SILVA, V. C.; MARTINS, P. R. P.; FRAGA, E. C.; BARROS, M. C. Estratégias Metodológicas para o Ensino de Genética em Escola Pública. *Pesquisa em Foco*, v. 21, n.2, p.05-24. 2016

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Proposta de modelo didático como facilitador do ensino de genética de populações no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. *Biodiversidade* - v.20, n.2, 2021 - pág. 215 – 235.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Utilização prática de um modelo didático simulando uma técnica de bandas do DNA para estudo comparativo do vínculo genético humano aplicado aos estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. *Revista Biodiversidade* - v.20, n.3, 2021 - pág. 49 - 71.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. O uso de modelo representativo aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT de como a seleção natural age sobre as variações genéticas do inseto após o uso de inseticida. *Revista Biodiversidade* - v.21, n.1, 2022 - pág. 182 – 207.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. O uso de representações didáticas como suporte a aprendizagem de probabilidades aplicadas ao estudo da genética no curso de

Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. Revista Biodiversidade - v.21, n.2, 2022 - pág. 83 – 109.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para a compreensão da interação entre a análise combinatória e o estudo genético de uma ninhada de *Athene cunicularia* (coruja-buraqueira). Revista Biodiversidade - v.21, n.3, 2022 - pág. 2 – 25.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para o estudo de genética de populações ligado ao caso de alelismo múltiplo que envolve a cor da pelagem em coelhos – *Oryctolagus cuniculus*. Revista Biodiversidade - v.21, n.4, 2022 - pág. 2 – 23.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para interpretação genotípica do tipo sanguíneo deduzido pela sequência hipotética de DNA. Revista Biodiversidade - v.22, n.1, 2023 - pág. 33 – 52.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático para identificação genética do sexo em tucanos com a utilização de enzima de restrição na análise de sequenciamento de DNA. Revista Biodiversidade - v.22, n.2, 2023 - pág. 80 – 94.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização prática de um modelo didático simulando aplicações do sequenciamento de DNA e sua importância no reconhecimento das relações de parentesco entre bebês recém-nascidos e parturientes. Revista Biodiversidade - v.22, n.4, 2023 - pág. 65 – 86.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático simulando uma análise de DNA para Investigação da ocorrência da anemia falciforme em um grupo familiar. Revista Biodiversidade - v.23, n.1, 2024 - pág. 63 – 86.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Imagens de autorradiografias dos géis de agarose simulando diagnósticos clínico-moleculares que podem ser aplicados em forma de um modelo didático para contextualizar a influência genética nos fenótipos da visão. Revista Biodiversidade - v.23, n.2, 2024 - pág. 138 – 157.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de uma representação gráfica simulando um heredograma com recorrência da alopecia genética para entendimento da herança autossômica influenciada pelo sexo. Revista Biodiversidade - v.23, n.3, 2024 - pág. 119 – 145.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização prática de um modelo didático para estudo de polimorfismos da cor da pelagem de uma população de cães domésticos considerando dois loci. Revista Biodiversidade - v.23, n.4, 2024 - pág. 168 – 194.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de um modelo didático que reproduz a análise do DNA para avaliar a variação genética responsável pelas cores das plumas na população de pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.1, 2025 - pág. 197 – 219.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização de heredogramas que utilizam regiões polimórficas do DNA para identificar o sexo e a classe genotípica da cor da plumagem entre pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.2, 2025 - pág. 186 – 214.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático que simula imagens de autorradiografias dos géis de agarose para caracterização genética dos alelos responsáveis pelo padrão de plumagem nas asas em pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.3, pág. 122 –152. (2025).

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação do binômio de newton para o ensino de genética quantitativa, utilizando um modelo didático que considera a representação de cores da íris dos olhos na espécie humana. Revista Biodiversidade - v.24, n.3, pág. 274 –297. (2025).

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação prática do diagrama da árvore de possibilidades para definir as combinações genotípicas, considerando as tonalidades da íris do olho humano entre gerações familiares. Revista Biodiversidade - v.25, n.1, pág. 169 – 192. (2026)

MELO, J. F. R. **Desenvolvimento de atividades práticas experimentais no ensino de biologia:** um estudo de caso. Brasília: UnB, 2010. 75f. Dissertação (Mestrado em ensino de Ciências), 2010.

MENDONÇA, C. O.; SANTOS, M. W. O. Modelos didáticos para o ensino de Ciências e Biologia: aparelho reprodutor feminino da fecundação à nidação. Anais do V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade", v. 5, p. 1-11, 2011.

MIRANDA, S. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. Ciência Hoje, 28, 168, 64-66. (2001).

MORAIS G. H.; MARQUES, R. C. P. A IMPORTÂNCIA DO USO DE MODELOS DIDÁTICOS NO ENSINO DE CITOLOGIA IV CONEDU, João Pessoa, 2017.

OLIVEIRA, M. S.; KERBAUY, M. N.; FERREIRA, C. N. M; SCHIAVÃO, L. J. V; ANDRADE, R. F. A; SPADELLAI, M. A. Uso de material didático sobre Embriologia do Sistema Nervoso: Avaliação dos Estudantes. Revista Brasileira de Educação Médica, v. 36, n. 1, p. 83-92, 2012.

OLIVEIRA, S. S. Concepções alternativas e ensino de biologia: como utilizar estratégias diferenciadas na formação inicial de licenciados. **Educar em Revista**, v. 1, n. 26, p. 01-18, 2005.

OLMO, F. J. V.; MARINATO, C. S.; GADIOLI, A. O.; SILVA, R. V. Construção de modelo didático para o ensino de biologia: meiose e variabilidade genética. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 10, nº 18, 2014.

ORLANDO, T. C.; LIMA, A. R.; SILVA, A. M.; FUZISSAKI, C. N.; RAMOS, C. L.; MACHADO, D.; FERNANDES, F. F.; LORENZI, J. C. C.; LIMA, M. A.; GARDIM, S.; BARBOSA, V. C.; TRÉZ, T. A. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para

abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por graduandos de Ciências Biológicas. Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular, n. 1, p. 1 – 17, 2009.

PAIXÃO, B. S.; ABREU D. L.; SILVA J. A.; SOUSA L. O.; JUNIOR, J. M. L. S.; OLIVEIRA, C. G. Utilização de modelos didáticos como facilitador no ensino de biologia celular Revista de Extensão da UNIVASF, Petrolina, v. 6, n. 1, p. 124-127, 2018.

PAVAN, O. H. O. et al. Evoluindo genética: um jogo educativo. 1. ed. Campinas: Ed. Unicamp, 1998.

PEDROSO, C. V. **Jogos didáticos no ensino de biologia: uma proposta metodológica baseada em módulo didático.** In: Congresso Nacional de Educação- EDUCERE e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia- PUCRS, 9. Curitiba, 2009. In: Anais do IX 81 Congresso Nacional de Educação- EDUCERE e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia PUCRS. Curitiba, 2009.

PEREIRA, M. S. et al. Avaliação dos modelos didáticos no ensino de ciências da escola municipal Casimiro Gomes – Coronel Ezequiel/RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. **Anais...** Paraíba: CONEDU, 2015.

PIERCE, B. A. Genética: um enfoque conceitual / Benjamin A. Pierce; tradução Beatriz Araujo do Rosário. -5. ed. -Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, (2016).

PREDEBON; F; DEL PINO, J. C. Investigações em Ensino de Ciências uma análise evolutiva de modelos didáticos associados às concepções didáticas de futuros professores de química envolvidos em um processo de intervenção formativa – V14(2), pp. 237-254, 2009.

REIS, I. A.; NASCIMENTO, G. S. V.; GUIMARÃES, D. M.; BEZERRA, G. L. S.; NASCIMENTO, S. B. M.; ALENCAR, I. C. C. e AMADO, M. V. O ensino de Biologia sob uma perspectiva CTSA: análise de uma proposta pedagógica de uso de modelos didáticos da divisão celular. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, p. 1-8, 2013.

SETÚVAL, F. A. R.; BEJARANO, N. R. R. Modelos didáticos com conteúdo de genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e biologia. In: Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências, 7, 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

SOARES, R. M.; BAIOTTO, C. R. Aulas práticas de Biologia: suas aplicações e o contraponto desta prática. Revista Dialogus, v. 4, n.2, 2015.

SOUZA, P. F.; FARIA, J. C. N. M. A. Construção e avaliação de modelos didáticos para o ensino de ciências morfológicas - uma proposta inclusiva e interativa. Enciclopédia Biosfera, v.7, n.13, p.1550- 1561, 2011.

SOUSA, T. A.; SPÓSITO, R. C. A.; MARISCO, G. A importância de aulas experimentais no entendimento da genética: sistema sanguíneo ABO e fator RH. In: 4 EREBIONE, 2013, UFRN. Anais... Rio Grande do Norte, 2013.

TEMP, D. S. Facilitando a Aprendizagem de Genética: Uso de um Modelo Didático e Análise dos Recursos Presentes em Livros de Biologia. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Santa Maria -UFSM, Rio Grande do Sul -RS, 2011. 85 P.

TEMP, D. S. Genética e suas aplicações: identificando o tema em diferentes contextos educacionais. 2014, 165 p. Tese (Doutorado em Educação em Ciências-Química da Vida e Saúde) Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

TEMP, D. S.; BARTHOLOMEI-SANTOS M. L. Genética e suas aplicações: identificando o conhecimento presente entre concluintes do ensino médio. Ciência e Natura, v. 36, n. 2, p. 358 –372. 2014.

VENTURIERI, G. A.; ROSA, V. L. **Genética clássica**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis. BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2010. 116p.

VYGOTSKY, L. S. Psicologia pedagógica. Porto Alegre: Artmed, p.576, 2003.

VINHOLI JÚNIOR, A. J.; PRINCIVAL, G. C. Modelos Didáticos e Mapas Conceituais: Biologia Celular e as Interfaces com a Informática Em Cursos Técnicos do IFMS. HOLOS. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Ano 30, v. 2, p. 110-122, 2014.

WATERMAN, M. A. Caso investigativo como estratégia de estudo para a aprendizagem de Biologia. Julho, 2001.