

Princípio Multiplicativo I

De quantos modos podemos nos vestir? Quantos números menores que 1000 possuem todos os algarismos pares? Contar coisas é algo tão antigo quanto a própria humanidade. Porém, ao longo do tempo as idéias evoluíram e novas técnicas surgiram.

Existem várias formas de contar coisas, a mais simples delas é a contagem caso a caso. Este é o processo que mais usamos em nosso cotidiado. Mas, é uma forma primitiva de resolver os problemas. Vamos aprender uma técnica mais prática pensando no seguinte exemplo:

Problema 1. Uma porta só é aberta quando usamos simultaneamente a chave e o cartão corretos. Se você possui duas chaves e três cartões, quantos testes devemos fazer para garantir que a porta irá abrir?

Solução. Podemos montar um diagrama (figura 1) para auxiliar na solução do problema.

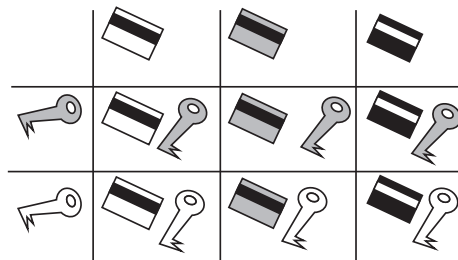


Figura 1: Abrindo uma Porta.

No diagrama acima podemos ver todas as combinações possíveis de uma chave com um cartão. Assim, a solução é visual e igual a 6. Por outro lado, poderíamos ter resolvido o problema da seguinte forma:

Note que para cada escolha de chave existem três maneiras para escolher o cartão. Como temos duas chaves, o total de combinações é $2 \times 3 = 6$. Nesse caso, seriam necessários 6

testes para achar a combinação correta. $\square$

Assim, se houvesse 30 chaves e 5 cartões não seria necessário fazer um diagrama para contar as combinações uma por uma, o resultado seria simplesmente $30 \times 5 = 150$. O método que acabamos de usar é conhecido como *princípio multiplicativo*. Nos próximos problemas vamos usá-lo de uma forma mais geral.

Problema 2. Teddy possui 5 blusas, 3 calções e 2 pares sapatos. De quantas maneiras diferentes ele pode se vestir?

Solução. Vamos primeiro contar o número de maneiras que Teddy pode escolher a blusa e a calça. Bem, para cada calça que Teddy escolhe, ele tem ainda cinco maneiras de escolher a blusa. Como ele possui três calças, o número total de modo de escolher o par (calça e blusa) é $5 \times 3 = 15$. Agora, para cada maneira de escolher esse par, ele ainda tem duas maneiras de escolher os sapatos. Daí, é fácil concluir que Teddy pode se vestir de $5 \times 3 \times 2 = 30$ maneiras diferentes. $\square$

Problema 3. De quantos modos podemos pintar um tabuleiro 1×4 usando apenas três cores, sem pintar casas vizinhas da mesma cor?

Solução. Podemos pintar a primeira casa de três maneiras diferentes, a segunda de duas maneiras (não podemos usar a cor da primeira casa), a terceira casa pode ser pintada de duas maneiras (não podemos usar a cor da segunda casa), o mesmo ocorre com a quarta casa. Assim, o total de maneiras de pintar o tabuleiro é $3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24$. $\square$

Suponha que Carlos, Felipe, Marina e Ana estejam em uma fila. Se trocarmos a posição de alguns deles dizemos que fizemos uma *permutação*. A pergunta é: Quantas permutações podemos ter usando quatro pessoas? Antes de resolver o problema vamos introduzir uma notação muito usada em problemas de contagem por simplificar algumas contas.

Notação. Dado um número natural n , seja $n!$ (leia n fatorial) o produto $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots (n-1) \cdot n$.

Observe que o conceito de fatorial está fortemente ligado à noção de permutação. Para fixar essa notação, vamos resolver alguns exercícios simples:

1. Calcule $4!$, $5!$ e $6!$
2. Calcule $\frac{100!}{98!}$ e $\frac{47!}{44!3!}$
3. Resolva a equação $(m+2)! = 72 \cdot m!$
4. Prove que

(a)
$$\frac{1}{n!} - \frac{1}{(n+1)!} = \frac{n}{(n+1)!}$$

$$(b) \ 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdots (2n) = 2^n \cdot n!$$

Problema 4. De quantas maneiras podemos formar uma fila com Carlos, Felipe, Marina e Ana?

Solução. Podemos escolher o primeiro da fila de quatro maneiras, a segunda de três, a terceira de duas e a última de apenas uma maneira (a pessoa que sobrar). Desse modo temos $4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 4!$ permutações. $\square$

Problema 5. (OBM 2005) Num relógio digital, as horas são exibidas por meio de quatro algarismos. O relógio varia das 00:00 às 23:00 horas. Quantas vezes por dia os quatro algarismos mostrados são todos pares?

Solução. Note que neste problema existe uma restrição nos dígitos que marcam as horas e no primeiro dígito que marca os minutos. Dessa forma, em vez de pensar em cada dígito separadamente, vamos pensar em três blocos de algarismos. O primeiro, que é formado pelos dois primeiros algarismos, pode assumir 7 valores diferentes (00, 02, 04, 06, 08, 20 ou 22); o segundo é formado apenas pelo terceiro dígito e pode assumir 3 valores (0, 2 ou 4); e o último dígito pode assumir 5 valores (0, 2, 4, 6 ou 8). Logo, o total de vezes em que todos aparecem pares é $7 \times 3 \times 5 = 105$.

Agora vamos nos preocupar com alguns problemas mais “clássicos”. Apesar de serem problemas bem conhecidos por todos, vamos abordá-los aqui, pois empregam idéias que são constantemente usadas em vários problemas.

Problema 6. (Quantidade de Subconjuntos) Quantos subconjuntos possui o conjunto $M = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$?

Solução. A cada subconjunto de M vamos associar uma sequência de 10 dígitos que podem ser 0 ou 1. Essa associação será dada através da seguinte regra: O primeiro termo dessa sequência será 1 se o elemento 1 estiver no subconjunto e 0 caso contrário; O segundo termo dessa sequência será 1 se o elemento 2 estiver no subconjunto e 0 caso contrário; O terceiro termo dessa sequência será 1 se o elemento 3 estiver no subconjunto e 0 caso contrário; e assim por diante.

Por exemplo, o subconjunto $\{1, 2, 5, 8, 10\}$ está associado à sequência 1100100101, o subconjunto $\{2, 3, 5, 8\}$ está associado à sequência 0110100100, enquanto o subconjunto vazio $\emptyset$ é representado por 0000000000. Note que a quantidade de subconjuntos de M é igual à quantidade destas sequências. Por outro lado, podemos escolher cada dígito de duas formas e, conseqüentemente, temos 2^{10} sequências (que é a mesma quantidade de subconjuntos). $\square$

Problema 7. (Quantidade de Divisores) Seja $n = p_1^{\alpha_1} \cdot p_2^{\alpha_2} \cdots p_k^{\alpha_k}$ um número natural na sua forma fatorada. Então, n possui exatamente

$$(\alpha_1 + 1)(\alpha_2 + 1) \cdots (\alpha_k + 1)$$

divisores inteiros positivos. Incluindo 1 e n .

Solução. Note que cada divisor positivo de n é da forma $n = p_1^{\beta_1} \cdot p_2^{\beta_2} \cdots p_k^{\beta_k}$, onde cada expoente β_i é um número entre 0 e α_i (inclusive). Dessa forma, temos $(\alpha_1 + 1)$ maneiras de escolher o expoente de p_1 ; $(\alpha_2 + 1)$ maneiras de escolher o expoente de p_2 ; assim por diante. Logo, segue o resultado do princípio multiplicativo. $\square$

Problemas Propostos

Problema 8. (OBM 2004) De quantos modos diferentes podemos pintar (usando apenas uma cor) as casas de um tabuleiro 4×4 de modo que cada linha e cada coluna possua exatamente uma casa pintada?

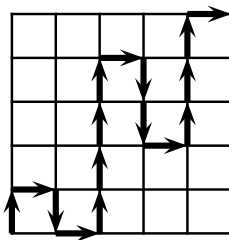
Problema 9. Quantos números naturais de três algarismos distintos existem?

Problema 10. De quantos modos podemos por três torres de três cores diferentes em um tabuleiro 8×8 de modo que nenhuma delas ataque outra?

Problema 11. Uma embarcação deve ser tripulada por oito homens, dois dos quais só remam do lado direito e um apenas do lado esquerdo. Determine de quantos modos esta tripulação pode ser formada, se de cada lado deve haver quatro homens.

Obs : A ordem dos homens deve ser considerada.

Problema 12. De quantas maneiras podemos ir de A até B sobre a seguinte grade sem passar duas vezes pelo mesmo local e sem mover-se para esquerda? A figura abaixo mostra um caminho possível.



Problema 13. (OBM 2005) Num tabuleiro quadrado 5×5 , serão colocados três botões idênticos, cada um no centro de uma casa, determinando um triângulo. De quantas maneiras podemos colocar os botões formando um triângulo retângulo com catetos paralelos às bordas do tabuleiro?

Problema 14. De quantas maneiras é possível colocar em uma prateleira 5 livros de matemática, 3 de física e 2 de biologia, de modo que livros de um mesmo assunto permaneçam juntos?

Problema 15. De quantas formas podemos colocar 4 bolas verdes e 4 bolas amarelas em um tabuleiro 4×4 de modo que cada coluna e cada linha possua exatamente uma bola de cada cor.

Problema 16. (Maio 2006) Um calendário digital exibe a data: dia, mês e ano, com 2 dígitos para o dia, 2 dígitos para o mês e 2 dígitos para o ano. Por exemplo, 01-01-01 corresponde a primeiro de janeiro de 2001 e 25-05-23 corresponde a 25 de maio de 2023. Em frente ao calendário há um espelho. Os dígitos do calendário são como os da figura abaixo.

0 123456789

Se 0, 1, 2, 5 e 8 se refletem, respectivamente, em 0, 1, 5, 2 e 8, e os outros dígitos perdem sentido ao se refletirem, determine quantos dias do século, ao se refletirem no espelho, correspondem também a uma data.

Bibliografia Recomendada

Muitos dos exercícios propostos nesta aula foram retirados da página da Olimpíada Brasileira de Matemática (www.obm.org.br). Outros livros que também podem servir como apoio são:

1. **Mathematical Circles: Russian Experience** (Mathematical World, Vol. 7). Dmitri Fomin, Sergey Genkin, Ilia V. Itenberg.
2. **Análise Combinatória e Probabilidade**. Paulo Cezar Pinto Carvalho, Augusto Cezar de Oliveira Morgado, Pedro Fernandez, João Bosco Pitombeira. SBM
3. **Tópicos de Matemática Elementar - Volume 4 Combinatória**. Antonio Caminha Muniz Neto. SBM

Dicas e Soluções

8. Em cada coluna devemos escolher exatamente uma casa para pintar. Temos 4 possibilidades de escolher a da primeira coluna, 3 para a segunda, 2 para a terceira, e 1 para última. Dessa forma, temos $4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$ maneiras de pintar o tabuleiro.
9. O primeiro algarismo pode ser escolhido de 9 modos (não podemos escolher o zero), para o segundo temos 9 possibilidades (pois deve ser diferente do primeiro) e o terceiro de 8 modos (deve ser diferente dos outros dois). Desse modo, a quantidade de números é $9 \cdot 9 \cdot 8 = 648$.
10. Temos 64 maneiras de escolher a posição da primeira torre, 49 para a segundo e 36 para a terceira. Total de maneiras é $64 \cdot 49 \cdot 36 = 112896$.
11. $4 \times 3 \times 4 \times 5! = 5760$
12. A formiga deve ir para direita exatamente 5 vezes. Ao escolhermos esses movimentos, o resto do caminho estará bem definido. Como podemos escolher cada um destes cinco movimentos de seis maneiras, o total de caminhos será $6 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6 = 6^5$.
13. Podemos escolher o vértice oposto à hipotenusa do triângulo de 25 maneiras. E cada um dos demais vértices de 4 maneiras. Logo, o total de triângulos pedidos é : $25 \cdot 4 \cdot 4 = 400$.
17. Considere os três blocos formados por livros da mesma matéria. Podemos organizar esses blocos de $3!$ maneiras. Agora, em cada bloco ainda podemos permutar seus livros. Assim, o número correto de maneiras é $5! \cdot 3! \cdot 2! \cdot 3!$.
19. Existem $4!$ maneiras de colocar as bolas verdes. Depois disso, escolha uma das bolas verdes. Ponha uma bola amarela na sua linha e uma na sua coluna. Note que, ao fazermos isto, as posições das outras duas bolas amarelas estará bem definida. Dessa maneira, temos um total de $4! \cdot 3 \cdot 3 = 216$ configurações.
21. Como não podemos usar os dígitos 3, 4, 6, 7, 9 para formar uma data, os únicos valores possíveis para os dois primeiros dígitos (os que marcam o dia) são: 01, 02, 05, 08, 10, 11, 12, 15, 18, 20, 21, 22, 25, 28. Para os dois próximos dígitos temos as seguintes possibilidades: 01, 02, 05, 08, 10, 11, 12. Por outro lado, apenas os pares 01, 10 e 11 também correspondem a um mês quando são refletidos. Para os dois últimos as possibilidades são: 10, 20, 50, 80, 01, 11, 21, 51, 81, 02, 12, 22, 52, 82. Pois seus reflexos devem corresponder a um dia. Logo, o total de datas pedidas é $14 \times 3 \times 14 = 588$.