Paradigmas de Linguagens de Programação

Tipos de Dados

Cristiano Lehrer, M.Sc.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Introdução (1/2)

- 1956:
  - FORTRAN I
    - INTEGER, REAL, arrays.
- 1983:
  - ADA
    - Usuário pode criar um único tipo para cada categoria de variáveis no espaço de problemas e deixar o sistema verificar os tipos.
- É conveniente pensar nas variáveis em termos de descritores:
  - Um **descritor** é o conjunto dos atributos de uma variável.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Introdução (2/2)

- Questões de projeto para todos os tipos de dados:
  - Qual é a sintaxe de referência a variáveis?
  - Que operadores são definidos e como eles são especificados?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos de Dados Primitivos

- Tipos de dados não definidos em termos de outros do mesmo nome são chamados **tipos de dados primitivos**:
  - Tipo numérico:
    - Inteiro.
    - Ponto flutuante.
    - Decimal.
  - Tipo lógico.
  - Tipo caractere.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Numérico – Inteiro

- Quase sempre uma reflexão exata do *hardware*, de modo que o mapeamento é trivial:
  - C → seis tipos diferentes de inteiros:
    - int, short int, long int, unsigned int, unsigned short int, unsigned long int
  - Java → quatro tipos diferentes de inteiros:
    - byte, short, int e long
- Representação de números negativos:
  - Complemento de dois:
    - Conveniente para as operações de adição e subtração.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

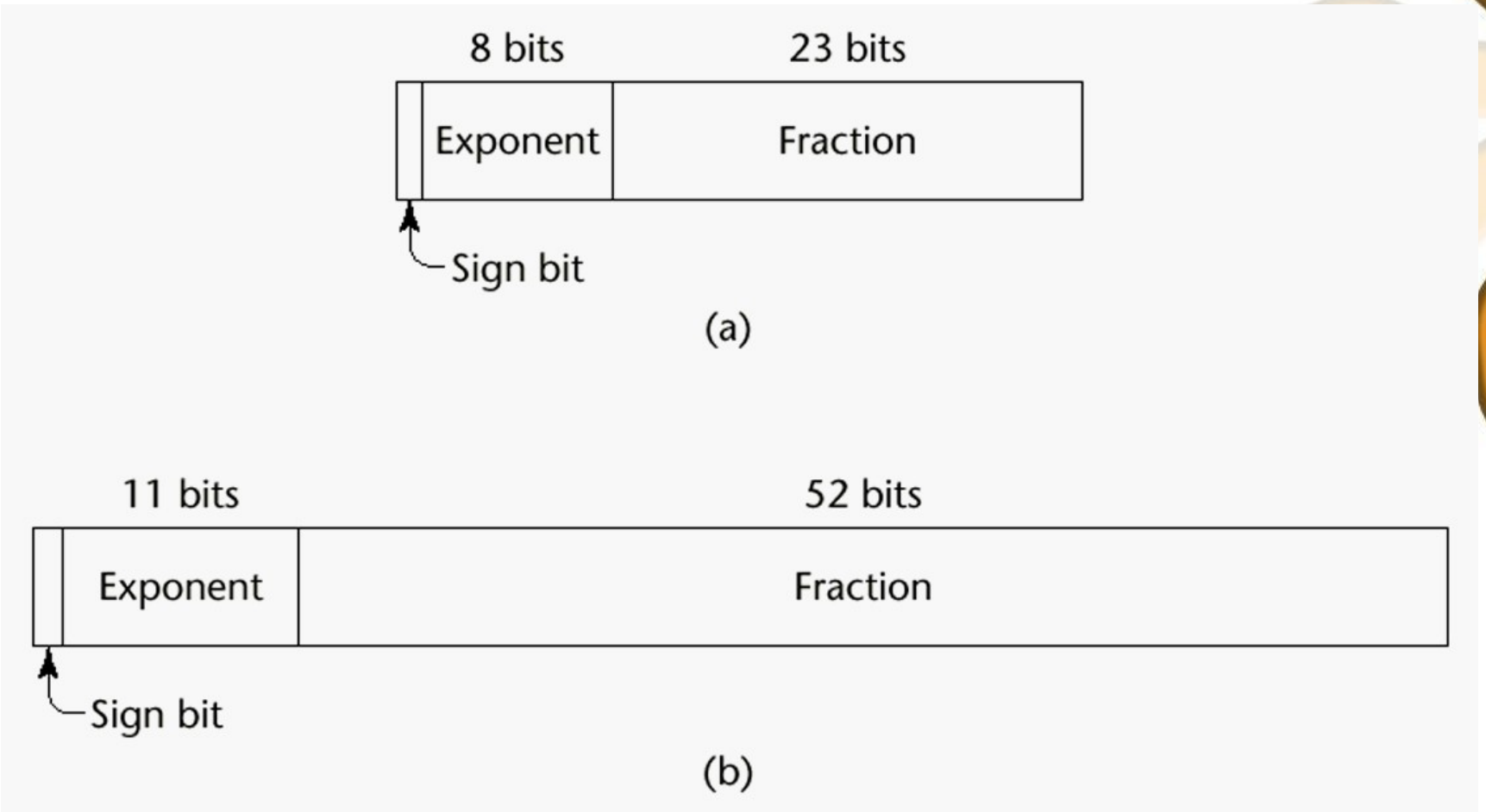
Tipo Numérico – Ponto Flutuante (1/2)

- Modela números reais, mas somente como aproximações:
  - Linguagens para uso científico suportam ao menos dois tipos de ponto flutuante, algumas vezes mais:
    - float e double.
  - Em geral, uma reflexão exata do *hardware*, mas não sempre.
  - Algumas linguagens permitem a especificação da precisão no código:
    - ADA.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Numérico – Ponto Flutuante (2/2)



Formatos de ponto flutuante IEEE: (a) precisão simples, (b) precisão dupla.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

Tipo Numérico – Decimal

- Para aplicações de sistemas comerciais:
  - Armazena um número fixo de dígitos decimais, com o ponto decimal em uma posição fixa no valor.
  - Vantagem:
    - Capacidade de armazenar, com precisão, valores decimais.
  - Desvantagens:
    - Faixa de valores é restrita porque não se permite nenhum expoente.
    - Representação dos mesmos na memória é um desperdício:
      - *Binary Coded Decimal* (BCD) – strings de dígitos decimais.
  - Exemplos de linguagens:
    - COBOL.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Lógico

- Sua faixa de valores tem somente dois elementos:
  - Um para verdadeiro e um para falso.
- Foram introduzidos no ALGOL 60 e têm sido incluídos na maioria das linguagens a partir de então.
  - Exceção popular é o C, que utiliza expressões numéricas.
- Poderia ser implementada como *bits*, mas usualmente como *bytes*.
- Vantagem:
  - Legibilidade.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Caractere

- Armazenados como codificações numéricas:
  - ASCII:
    - *American Standard Code for Information Interchange*.
    - Codificação em oito *bits*.
  - UNICODE:
    - Codificação em dezesseis *bits*.
    - Suporte para a maioria das linguagens naturais internacionais.
    - O Java foi a primeira linguagem a introduzir o conjunto de caracteres UNICODE.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos String de Caracteres (1/6)

- Um **tipo string de caracteres** é aquele cujos valores consistem em seqüencias de caracteres:
  - Questões de projeto:
    - É um tipo primitivo ou apenas um tipo especial de *array*?
    - O tamanho dos objetos é estático ou dinâmico?
  - Operações:
    - Atribuição.
    - Comparação.
    - Concatenação.
    - Referência a *substrings*.
    - Casamento de padrões (*pattern matching*).

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos String de Caracteres (2/6)

- Exemplos em linguagens de programação:
  - ADA:
    - STRING é um tipo que é predefinido como um *array* unidimensional de elementos CHARACTER.
    - Referência a *substrings*, concatenação, operadores relacionais e atribuição são oferecidos aos tipos STRING.
  - C e C++:
    - Usam *arrays* de char para armazenar *strings* de caracteres.
    - Biblioteca string.h fornece uma coleção de operações sobre *strings*.
  - Java:
    - String é um objeto responsável pela representação e operações sobre *strings*.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos String de Caracteres (3/6)

- Opções de tamanho da *string*:
  - **string de tamanho estático**:
    - O tamanho da *string* é especificado na declaração.
    - FORTRAN 77, COBOL, PASCAL e ADA.
  - **string de tamanho dinâmico limitado**:
    - O tamanho máximo da *string* é especificado na declaração.
    - C e C++.
  - **string de tamanho dinâmico**:
    - Exige o *overhead* da alocação e desalocação dinâmica do armazenamento.
    - SNOBOL4 e PERL.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos String de Caracteres (4/6)

- Avaliação:
  - Ajudam a redigibilidade.
  - Como um tipo primitivo com tamanho estático, eles são fáceis de implementar – então porque não?
  - Tamanho dinâmico é bom, mas vale a pena (custo)?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

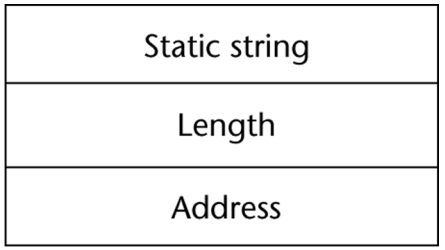
Tipos String de Caracteres (5/6)

- Implementação:
  - Tamanho estático:
    - Descrição em tempo de compilação.
  - Tamanho dinâmico limitado:
    - Pode necessitar uma descrição em tempo de execução para tamanho:
      - Não em C e C++, onde o final de um *string* é marcado com o caractere nulo.
  - Tamanho dinâmico:
    - Necessita de uma descrição em tempo de execução.
    - Alocação é o maior problema da implementação.

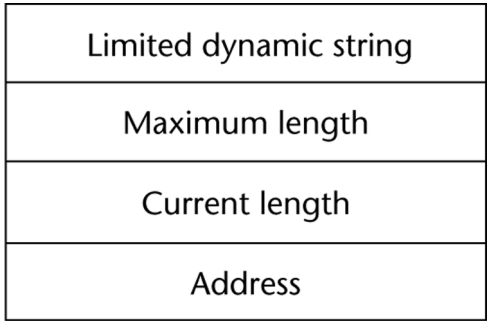
Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos String de Caracteres (6/6)



Descritor em tempo de compilação (*compile-time*) para *strings* estáticas.



Descritor em tempo de compilação (*compile-time*) para *strings* dinâmicas limitadas.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

Tipos Ordinais

- Um **tipo ordinal** é aquele cuja faixa de valores possíveis pode ser facilmente associada ao conjunto dos números inteiros positivos:
  - Tipo enumeração.
  - Tipo subfaixa.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Enumeração (1/2)

- Um **tipo enumeração** é aquele em que todos os valores possíveis, os quais se tornam constantes simbólicas, são enumerados na definição:
  - Questão de projeto:
    - Uma constante simbólica deveria ser possível estar em mais de uma definição de tipo?
  - Exemplo em ADA:
    - `type DIAS is (Seg, Ter, Qua, Qui, Sex, Sab, Dom);`
  - C e C++:
    - Podem ser usadas como índices de *arrays*, como variáveis num for, seletores em um case.
  - Java:
    - Os tipos enum foram adicionados na versão 5 em 2004.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

Tipo Enumeração (2/2)

- Avaliação:
  - Auxiliam a legibilidade:
    - Não é necessário codificar uma cor como um número.
  - Auxiliam a confiabilidade:
    - Compilador pode verificar operações e faixa de valores.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Subfaixa

- Um **tipo subfaixa** é uma subsequencia de um ordinal:
  - Exemplo em Pascal:
    - `type maiuscula = 'A'..'Z';`
    - `type indice = 1..100;`
  - Avaliação de tipo sub-faixa:
    - Auxilia a legibilidade.
    - Confiabilidade:
      - Aumenta pois atribuição de valores fora da faixa é detectada como erro de execução.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ordinais

- Implementação de tipos ordinais:
  - Tipos enumerados são implementados como inteiros (positivos).
  - Tipos sub-faixa são implementados da mesma forma que seus tipos pai, com código inserido (pelo compilador) para restringir atribuições a variáveis sub-faixa.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (1/12)

- Um **array** é um agregado de elementos de dados homogêneos no qual um indivíduo é identificado por sua posição no agregado, relativo ao primeiro elemento:
  - Questões de projeto:
    - Quais tipos são legais (legítimos) para índices?
    - As expressões nos índices de uma faixa de elementos são verificadas?
    - Em que momento os índices sofrem vinculações?
    - Quando a alocação se dá?
    - Qual é o número máximo de índices?
    - Um objeto *array* pode ser inicializado?
    - O fatiamento de um *array* é permitido?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (2/12)

- Elementos específicos de um *array* são referenciados por meio de um mecanismo sintático de dois níveis, cuja primeira parte é o nome do agregado e a segunda é um seletor possivelmente dinâmico que consiste em um ou mais itens conhecido como **subscritos** ou **índices**:
  - Sintaxe:
    - FORTRAN, PL/I, ADA usam parênteses.
    - Maioria das outras linguagens usa colchetes.
  - Tipos de índices:
    - FORTRAN, C e Java – somente inteiros.
    - Pascal – qualquer tipo ordinal (integer, boolean, char ou enum).
    - ADA – int ou enum (incluindo boolean e char).

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (3/12)

- A vinculação do tipo subscrito a uma variável de *array* normalmente é estática, mas as faixas de valor de subscrito, às vezes, são vinculadas dinamicamente:
  - O limite inferior da faixa do subscrito é implícito:
    - C, C++ e Java → fixado em zero.
    - FORTRAN e PASCAL → fixado em um.
  - Os *arrays* ocorrem em quatro categorias:
    - Baseiam-se na vinculação às faixas de valor de subscritos e nas vinculações ao armazenamento.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (4/12)

- Um **array estático** é aquele em que as faixas de subscritos estão estaticamente vinculadas e a alocação de armazenamento é estática:
  - Vantagem:
    - Eficiência, pois nenhuma alocação ou desalocação dinâmica é exigida.
  - Linguagens de Programação:
    - FORTRAN 77.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (5/12)

- Um **array stack-dinâmico fixo** é aquele em que as faixas de subscritos estão estaticamente vinculadas, mas a alocação é feita no momento de elaboração da declaração durante a execução:
  - Vantagens:
    - Eficiência de espaço.
  - Linguagens de Programação:
    - Arrays locais em Pascal.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (6/12)

- Um **array stack-dinâmico** é aquele em que as faixas de subscrito estão dinamicamente vinculadas e a alocação de armazenamento é dinâmica:
  - Porém permanecem fixos durante o tempo de vida da variável.
  - Vantagem:
    - Flexibilidade, pois o tamanho do *array* não precisa ser conhecido até que ele esteja prestes a ser usado.
  - Linguagens de Programação:
    - C e C++.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (7/12)

- Um **array heap-dinâmico** é aquele em que a vinculação das faixas de subscrito e de alocação de armazenamento é dinâmica e pode mudar qualquer número de vezes durante o seu tempo de vida:
  - Vantagem:
    - Flexibilidade, pois os *arrays* podem crescer ou reduzir durante a execução do programa.
  - Linguagens de Programação:
    - C e C++ → utilização dos operadores new e delete para gerenciar o armazenamento do *heap*.
    - Java → todos os arrays são dinâmicos.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (8/12)

- Número de índices:
  - FORTRAN I permitia até 3.
  - FORTRAN 77 permite até 7.
  - C, C++ e Java permite apenas um, mas os elementos podem também ser *arrays.*
  - Outras – sem limite.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (9/12)

- Inicialização de *arrays*:
  - Usualmente só uma lista de valores que são colocados no *array* na ordem na qual os elementos do *array* estão armazenados (dispostos) na memória.
  - Exemplos:
    - FORTRAN – usa o comando DATA, ou coloca os valores entre / .... / na declaração.
    - C, C++ e Java – coloca os valores entre chaves. Pode-se deixar o compilador contá-lo:
      - `int stuff [] = {2, 4, 6, 8};`
    - ADA – posições para os valores podem ser especificados:
      - `SCORE : ARRAY (1..14, 1..2) := (1 => (24, 10), 2 => (10, 7), 3 => (12, 30), others => (0, 0));`
    - Pascal e Modula-2 não permitem inicialização.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (10/12)

- Operações com arrays:
  - APL – muitas.
  - ADA:
    - Atribuição (assinalamento).
    - Concatenação – para todos os *arrays* unidimensionais.
    - Operadores relacionais (apenas = e !=).
  - FORTRAN 90
    - Intrínsecos (subprogramas) para uma grande variedade de operações com *arrays.*
    - Ex.: multiplicação de matrizes, produto escalar.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (11/12)

- Fatiamento:
  - Uma **fatia** é uma sub-estrutura de um array, nada mais que um mecanismo de referência.
  - Exemplo de fatiamento:
    - FORTRAN 90
      - `INTEGER MAT (1 : 4, 1 : 4)`
      - `MAT (1 : 4, 1)` – a primeira coluna
      - `MAT (2, 1 : 4)` – a segunda linha
    - ADA – Somente arrays unidimensionais
      - `LIST (4..10)`

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Array (12/12)

- Implementação de *arrays*:
  - Funções de acesso mapeiam expressões de índices para um endereço no *array*.
  - Ordem de armazenamento:
    - Ordenação por maior linha ou maior coluna.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Array Associativo (1/2)

- Um **array associativo** é uma coleção não ordenada de elementos de dados que são indexados por um número igual de valores chamados chaves:
  - Questão de projeto:
    - Qual é a forma de referência a elementos?
    - O tamanho é estático ou dinâmico?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Array Associativo (2/2)

- Estrutura e operações em Perl:
  - Nomes começam com %.
  - Literais são delimitados por parênteses:
    - `%salarios = ("Cedric" => 75000, "Perry" => 57000, "Mary" => 55750, "Gary" => 47850);`
  - Indexação é feita usando {} e chaves:
    - `$salarios{"Perry"} = 58850;`
  - Elementos podem ser removidos com delete:
    - `delete $salarios{"Gary"};`

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Registro (1/5)

- Um **registro** é um agregado possivelmente heterogêneo de elementos cujos elementos individuais são identificados por nomes:
  - Questão de projeto:
    - Qual a forma das referências?
    - Quais operadores unitários são definidos?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Registro (2/5)

- Sintaxe da definição de um registro:
  - COBOL usa números de nível para mostrar registros aninhados.
  - Outras usam definições recursivas:
    - Exemplo em ADA:

```
REGISTRO_EMPREGADO: record
  NOME_EMPREGADO: record
    PRIMEIRO: STRING(1..20);
    MEIO    : STRING(1..10);
    ULTIMO  : STRING(1..20);
  end record;
  TAXA_HORARIA: FLOAT;
end record;
```


Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

Tipo Registro (3/5)

- Referência a campos de um registro:
  - COBOL:
    - `nome_do_campo OF nome_do_registro_1 OF … OF nome_do_registro_n`
  - Outras (notação com ponto):
    - `nome_registro_1.nome_registro_2.....nome_registro_n.nome_do_campo`
  - Referências a campos amplamente qualificadas (*fully qualitied*) devem incluir todos os nomes de registro.
  - Pascal e Modula-2 possuem uma cláusula with para abreviar referências.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Registro (4/5)

- Operadores de registro:
  - Atribuição (assinalamento):
    - Pascal, ADA e C permitem-no se as variáveis são idênticas.
  - Inicialização:
    - Permitida em ADA, usando um agregado constante.
  - Comparação:
    - Em ADA, = e /=, sendo que um dos operandos pode ser um agregado constante.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipo Registro (5/5)

- Comparando *records* e *arrays*:
  - Acesso a elementos de um *array* é muito mais lento que acesso a campos de um registro, pois índices são dinâmicos (nomes de campos são estáticos).
  - Índices dinâmicos poderiam ser usados com acesso a campos de registros, mas isso poderia desativar a verificação de tipos e seria muito mais lento.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos União (1/2)

- Uma **união** é um tipo que pode armazenar diferentes valores de tipo durante a execução do programa:
  - Questões de projeto para uniões:
    - Que tipo de verificação de tipo (se é que há alguma), deve ser feita?
    - Uniões deveriam ser integradas a registros?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos União (2/2)

- C e C++ - uniões livres com a construção union:
  - Não pode ser parte dos registros.
  - Não existe verificação de tipos de referência.
- Java não possui registros nem uniões.
- Avaliação:
  - Potencialmente insegura na maioria das linguagens.

```
union Job {
    float salary;
    int workerNo;
}
```


Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Conjuntos (1/3)

- Um tipo **conjunto** é aquele cujas variáveis podem armazenar coleções não-ordenadas de valores distintos de algum tipo ordinal chamado de seu **tipo básico**:
  - Questões de projeto:
    - Qual o número máximo de elementos em qualquer tipo básico de conjunto?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Conjuntos (2/3)

- Exemplo em Pascal:

```
type cores = (vermelho, azul, verde, amarelo, laranja, branco,
              preto);
     conjcores = set of cores;
var conj1, conj2 : conjcores;
begin
  conj1 := [vermelho, azul, verde, amarelo, branco];
  conj2 := [preto, azul];
end;
```


Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Conjuntos (3/3)

- Avaliação:
  - Se uma linguagem não possui conjuntos, eles podem ser simulados, seja como tipos enumerados ou como *arrays*.
  - *Arrays* são mais flexíveis que conjuntos, mas operações são muito mais lentas.
- Implementação:
  - Normalmente armazenados como pedaços de cadeias (strings) e usam operações lógicas para seu conjunto de operações.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (1/8)

- Um tipo **ponteiro** é aquele em que as variáveis têm uma faixa de valores que consiste em endereços de memória e um valor especial, nil ou null:
  - nil ou null não é um endereço válido e serve para indicar que um ponteiro não pode ser usado atualmente para referenciar qualquer célula de memória.
  - Usos:
    - Flexibilidade no endereçamento.
    - Gerenciamento do armazenamento dinâmico.
  - Operações fundamentais sobre ponteiros:
    - Atribuição de um endereço a um ponteiro.
    - Referências (explícita versus referência implícita).

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (2/8)

- Questão de projeto:
  - Quais são o escopo e o tempo de vida de uma variável de ponteiro?
  - Qual é o tempo de vida de uma variável heap-dinâmica?
  - Ponteiros são restritos a um tipo em particular?
  - Ponteiros são usados para gerenciamento do armazenamento dinâmico, endereçamento indireto, ou ambos?
  - Uma linguagem deve suportar tipos ponteiro, tipos referência ou ambos?

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (3/8)

- Problemas com ponteiros:
  - Ponteiros “soltos” (perigoso):
    - Um ponteiro aponta para uma variável heap-dinâmica que foi desalocada;
    - Criando um:
      - Alocar uma variável heap-dinâmica e “setar” um ponteiro apontando para ela.
      - Setando um segundo ponteiro para o valor do primeiro.
      - Desalocando a variável heap-dinâmica, usando o primeiro ponteiro.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

Tipos Ponteiros (4/8)

- Problemas com ponteiros:
  - Variáveis Heap-Dinâmicas perdidas (desperdício):
    - Uma variável heap-dinâmica que não é mais referenciada por qualquer ponteiro.
    - Criando uma:
      - O ponteiro p1 é setado para uma variável heap-dinâmica recém criada.
      - p1 é, posteriormente, levado a apontar para outra variável heap-dinâmica recém criada.
      - O processo de perder variável heap-dinâmica é chamado de vazamento de memória.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (5/8)

- Exemplos – C e C++:
  - Usados para gerenciamento de armazenamento dinâmico e endereçamento.
  - Deferência explícita e operador “endereço-de”.
  - Podem apontar para, virtualmente, qualquer variável em qualquer lugar da memória.
  - Pode fazer aritmética de endereços em formas restritas.

```
float stuff[100];

float *p;

p = stuff;
```

  - `*(p+5)` é equivalente a `stuff[5]` e `p[5]`;
  - `*(p+i)` é equivalente a `stuff[i]` e `p[i]`;

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (6/8)

- Tipos referência do C++:
  - Ponteiros constantes são implicitamente deferenciados.
  - Usados para parâmetros.
  - Vantagens da passagem por referência e da passagem por valor.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (7/8)

- Java – Somente referência:
  - Sem aritméticas de ponteiros.
  - Pode somente apontar a objetos (todos *heap*).
  - Sem desalocador explícito (*garbage collection* usado):
    - Significa que não há referências soltas.
  - Dereferencia é sempre implícita.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo

Tipos Ponteiros (8/8)

- Avaliação de ponteiros:
  - Ponteiros e objetos soltos são um problema, como também o gerenciamento do *heap.*
  - Ponteiros são como goto – aumentam a faixa de células que pode ser acessada por uma variável.
  - Ponteiros são necessários – para que possamos projetar uma linguagem sem eles.

Copyright © 2009/2026 • ybadoo.com.br

ybadoo