Ponteiros

Prof. John Lenon C. Gardenghi

13 de janeiro de 2020

Sumário

1 Introdução **1**

2 Aplicações de ponteiros **3**

2.1 Passagem de parâmetros 3

2.2 Alocação dinâmica de memória 4

2.3 Ponteiros e vetores 7

2.4 Ponteiros para funções 9

3 Exercícios **10**

1 Introdução

A memória RAM (= random access memory) de qualquer computador é uma sequência de bytes. A posição (0, 1, 2, 3, etc.) que um byte ocupa na sequência é o endereço do byte. Se e é o endereço de um byte então $e + 1$ é o endereço do byte seguinte.

As variáveis de um programa ocupam uma certa quantidade de bytes na memória, de acordo com seu tipo. Para saber o tamanho que um dado em C ocupa na memória, existe a função `sizeof`.

Exemplo 1. *Implemente o código a seguir, e observe os tamanhos que serão exibidos na tela. Será que todo computador possui os mesmos tamanho?*

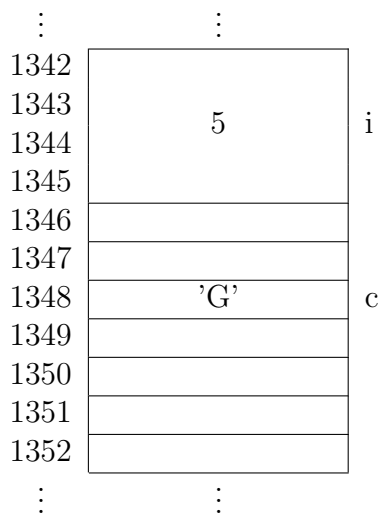
```c
#include <stdio.h>
int main() {
  int array[20];
  char string[20];
  printf ("TAMANHOS:\n"
          "\t char.........: %ld\n"
          "\t short........: %ld\n"
          "\t int..........: %ld\n"
          "\t long int.....: %ld\n"
          "\t long long int: %ld\n"
          "\t float........: %ld\n"
```

```
            "\t double.......: %ld\n"
            "\t long double..: %ld\n"
            "\t vetor int....: %ld\n"
            "\t string.......: %ld\n",
            sizeof(char), sizeof(short), sizeof(int), sizeof(long int),
            sizeof(long long int), sizeof(float), sizeof(double),
            sizeof(long double), sizeof(array), sizeof(string)
          );
    return 0;
}
```

Cada posição da memória tem um endereço. Na maioria dos computadores, o endereço de uma variável é o endereço de memória que ocupa seu primeiro byte. O compilador é que controla do local de armazenamento destas variáveis em memória. Por exemplo, após as declarações

```
int i = 5;
char c = 'G';
```

as variáveis podem assumir os seguintes endereços:



O operador unário `&` é o **operador de endereço**. Retorna o endereço que uma variável ocupa na memória. Em nosso exemplo,

```
&i;  /* Contém 1342 */
```

Todavia, os endereços de memória costumam ser representados em notação *hexadecimal*.

Exemplo 2. *Implemente o código a seguir e observe os endereços de memória.*

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int i = 5;
  printf( "&i (dec.): %ld\n", (long int) &i );
  printf( "&i (hexa.): %p\n", (void *) &i );
  return 0;
}
```

Ponteiros são variáveis que armazenam endereços de memória. Uma variável contém um valor, um ponteiro, por sua vez, contém o endereço de uma variável, que contém um valor. Diz-se que uma variável referencia um valor *diretamente*, enquanto um ponteiro referencia um valor *indiretamente*. Por isso, chama-se o uso do ponteiro, muitas vezes, de **indireção**.

Como qualquer outra variável, um ponteiro deve ser declarado. O formato de declaração de ponteiros é:

```
tipo *ptr;
```

onde `tipo` são os tipos de variáveis em C. Um ponteiro pode ter o valor `NULL`, que é o valor inválido de ponteiros.

Se um ponteiro p armazena o endereço de uma variável i, dizemos que "`p` aponta para `i`". Se um ponteiro p é diferente de `NULL`, então

```
*p
```

é o valor da variável apontada por p.

Exemplo 3. *Rode o código a seguir e observe sua saída.*

```c
#include <stdio.h>
int main () {
  int i; int *p;
  i = 1234; p = &i;
  printf ("*p = %d\n", *p);
  printf (" p = %ld\n", (long int) p);
  printf (" p = %p\n", (void *) p);
  printf ("&p = %p\n", (void *) &p);
  return 0;
}
```

2 Aplicações de ponteiros

Há várias **aplicações de ponteiros**. São elas:

- Tipo de passagem de parâmetros (passagem por *valor* ou por *referência*) e múltiplo retorno de funções.
- Alocação dinâmica de memória.
- Definição conceitual de vetores.
- Referência indireta à funções.

2.1 Passagem de parâmetros

Há duas formas de passar argumentos para funções: por **valor** e por **referência**. No primeiro, cópia das variáveis originais são criadas nos parâmetros da função, e a função chamada lida apenas com cópias das variáveis originais da função chamadora. No segundo, ao invés de criar uma cópia, a própria variável original no processo chamador é passada ao procedimento chamado, por meio do seu endereço de memória.

Exemplo 4. *Escreva uma função* `troca` *que receba dois valores inteiros* `a` *e* `b` *e troque os valores entre si.*

```
void troca (int *p, int *q) {
  int temp;
  temp = *p;
  *p = *q;
  *q = temp;
}
int main() {
  int a = 2, b = 3;
  troca(&a, &b);
  printf( "a = %d, b = %d\n, a, b );
  return 0;
}
```

Note que, com isso, é possível também fazer com que uma função "retorne" vários valores, passando parâmetros por referência.

Exemplo 5. *Faça uma função em C que receba um inteiro n e retorne n^2 e $\sqrt{n}$.*

```
#include <math.h>
#include <stdio.h>
int calcula (double n, double *quadrado, double *raiz) {
  *quadrado = n*n;
  *raiz = sqrt (n);
}
int main () {
  double n, quadrado, raiz;
  scanf ("%lf", &n);
  calcula (n, &quadrado, &raiz);
  printf ("Quadrado = %lf\nRaiz = %lf\n", quadrado, raiz);
  return 0;
}
```

2.2 Alocação dinâmica de memória

Quando declaramos uma variável ou um vetor em C, essas entidades são alocadas pelo sistema operacional na memória na inicialização do executável. Esse tipo de alocação é chamado de *alocação estática*.

Por outro lado, suponha que desejamos alocar um vetor que não sabemos de antemão qual o tamanho. Para tanto, podemos usar *alocação dinâmica de memória*. Alocação dinâmica de memória é alocar um espaço de memória em tempo de execução do programa.

Há três funções de alocação dinâmica em C

1. `void *malloc (size_t tamanho);`

A função `malloc` (o nome é uma abreviatura de *memory allocation*) aloca espaço para um bloco de `tamanho` bytes consecutivos na memória e devolve um ponteiro para a primeira posição desse bloco. No seguinte fragmento de código, `malloc` aloca 1 byte:

```
char *ptr;
ptr = malloc (1);
scanf ("%c", ptr);
```

2. `void *calloc (size_t nmemb, size_t tamanho_tipo);`

   A função `calloc` é bem similar à `malloc`, aloca memória para um vetor de `nmemb` elementos com `tamanho` bytes cada um. A diferença para o `malloc`, além dos parâmetros, é que todas as posições alocadas são zeradas. Neste exemplo, aloca-se um vetor de inteiros de 10 posições.

   ```
   int *v;
   v = calloc (10, sizeof (int));
   ```

3. `void *realloc (void *ptr, size_t tamanho);`

   A função `realloc` realoca o vetor apontado por `ptr` para `tamanho` bytes. **Cuidado**! Há um custo implícito na função `realloc`, pois, ao realocar um vetor, se não houver memória suficiente disponível ao final, uma cópia deste vetor deve ser feita em outra região de memória. No código abaixo, realocamos o vetor `v` anterior para ter 20 posições.

   ```
   v = realloc (v, 20*sizeof (int));
   ```

As funções de alocação dinâmica retornam um ponteiro de `void`. Se a alocação de memória não der certo por algum motivo, ela retorna `NULL`. Por isso, sempre que fizermos alocação dinâmica de memória, é necessário fazer a verificação.

```
double *ptr;
ptr = malloc (sizeof (double));
if (ptr == NULL) {
  scanf ("%lf", ptr);
}
```

Alocação de memória transfere para o programador a responsabilidade por aquele espaço que foi alocado. Por isso, é necessário **liberar** este espaço ao final do seu uso. Para isso, existe a função `free`. Para liberar o espaço alocado para `ptr` nos exemplos acima, basta fazer

```
free (ptr);
```

Como todas as vezes precisamos fazer a verificação se a alocação dinâmica deu certo, podemos fazer, em nossos programas, as chamadas *funções embalagens* (do inglês, *wrapper functions*). Para o `malloc`, por exemplo, podemos fazer

```
void *mallocc( size_t nbytes ) {
  void *ptr;
  ptr = malloc (nbytes);
  if (ptr == NULL) {
    printf ("Erro de alocacao de memoria.\n");
    exit (EXIT_FAILURE);
```

```
  }
  return ptr;
}
```

e chamar `mallocc` sempre que alocarmos um vetor. Evidentemente, o mesmo é possível para as funções `calloc` e `realloc`.

Observações

- Para fazer uso das funções de alocação dinâmica de memória, é necessário incluir a biblioteca `stdlib.h`.
- `NULL` é uma constante da `stdlib.h` que vale zero.
- A função `malloc` retorna um ponteiro para void. Por isso, é comum fazer um *cast* na hora da alocação dinâmica. Por exemplo,

  ```
  int *ptr = ( int * ) malloc( 5*sizeof(int) );
  ```

  Todavia, o *cast* é altamente não recomendável, pois o ponteiro de `void` é automaticamente convertido para outro tipo de ponteiro.
- `size_t` é um tipo de dados utilizado geralmente para representar tamanhos de objetos. É o valor de retorno do operador `sizeof` e muitas vezes é equivalente ao `unsigned int`.
- A função `exit` vem da biblioteca `stdlib` e interrompe a execução do programa e fecha todos os arquivos que o programa tenha porventura aberto. Se o argumento da função for 0, o sistema operacional é informado de que o programa terminou com sucesso; caso contrário, o sistema operacional é informado de que o programa terminou de maneira excepcional. As constantes `EXIT_SUCCESS` e `EXIT_FAILURE` valem 0 e 1, respectivamente, e estão declaradas na biblioteca `stdlib.h`. Chamar `exit (XXX)` de alguma função equivale a chamar `return XXX` do main.

Ponteiros também podem ser usados de forma múltipla, isto é, um ponteiro pode apontar para outro ponteiro. Por exemplo,

```
int x = 10;
int *p = &x;
int **q = &p;
```

Chamamos isto de **indireção múltipla**.

- Faz sentido usar o operador `*` várias vezes? E o `&`?

Um uso prático de indireção múltipla é a alocação dinâmica de memória para matrizes. O código a seguir aloca uma matriz de m linhas por n colunas. Tal matriz é ilustrada na Figura 1.

```
int **matriz;
int i, m, n;
scanf( "%d %d", &m, &n );
matriz = mallocc (m * sizeof (int *));
for (i = 0; i < m; i++)
  matriz[i] = mallocc (n * sizeof (int));
```

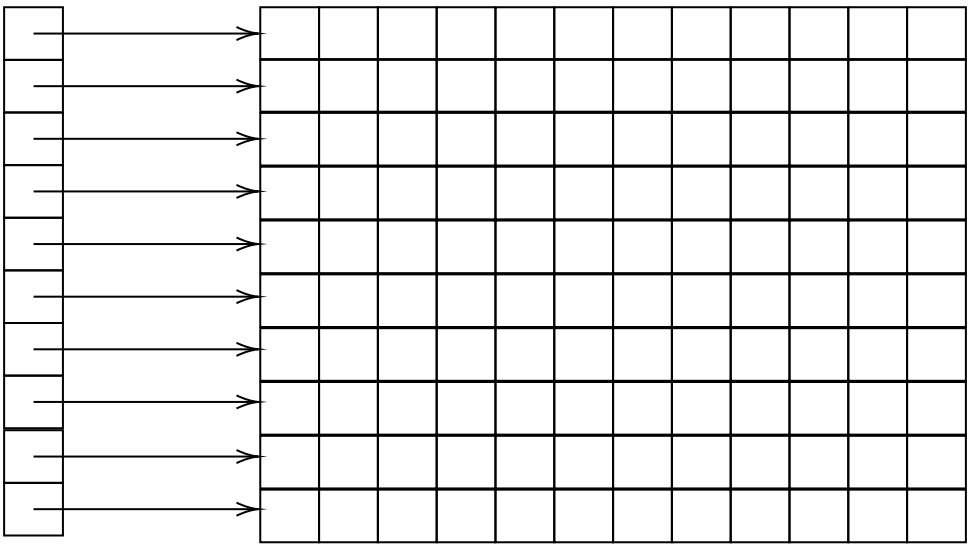


Figura 1: Exemplo de alocação dinâmica de uma matriz de $m = 10$ linhas e $n = 12$ colunas. É usado um ponteiro duplo. A primeira dimensão do ponteiro é um vetor de ponteiros (à esquerda), e cada posição aponta para a segunda dimensão do ponteiro, que são vetores de n elementos, representando cada linha da matriz alocada.

Para liberar esta matriz, basta fazer os laços na ordem inversa da alocação: primeiro desalocamos os vetores que representam as linhas, depois o vetor de ponteiros.

```
for (int i = 0; i < m; i++)
  free (matriz[i]);
free (matriz);
```

2.3 Ponteiros e vetores

O que é um vetor em C? Quando declaramos

```
int b[5];
```

significa que

- `b` é um vetor de 5 posições, cada uma das posições são armazenadas contiguamente na memória e
- `b` é um ponteiro que aponta para a primeira posição do vetor na memória.

Portanto, se fizermos

```
int *bPtr;
bPtr = b;
```

podemos operar tanto sobre `b` quanto `bPtr`.

Exemplo 6. *Implemente o programa a seguir e observe as saídas. O que podemos observar?*

```
int main() {
  int i, offset;
  int b[] = { 10, 20, 30, 40 };
  int *bPtr;
  bPtr = b;
  printf( "VETOR\n" );
  printf( "\n\tNotacao usando indices:\n" );
  for ( i = 0; i < 4; i++ )
  printf( "\t\tb[%d] = %d\n", i, b[i] );
  printf( "\n\tNotacao usando deslocamento\n" );
  for ( offset = 0; offset < 4; offset++ )
    printf( "\t\t*(b + %d) = %d\n", offset, *(b + offset) );
  printf( "\nPONTEIRO\n" );
  printf( "\n\tNotacao usando indices:\n" );
  for ( i = 0; i < 4; i++ )
    printf( "\t\tbPtr[%d] = %d\n", i, bPtr[i] );
  printf( "\n\tNotacao usando deslocamento\n" );
  for ( offset = 0; offset < 4; offset++ )
    printf( "\t\t*(bPtr + %d) = %d\n", offset, *(bPtr + offset) );
  return 0;
}
```

No geral,

- `v[i]` é a notação vetorial para `*(v+i)`.
- `matriz[i][j]` é a notação vetorial para `*(*(matriz+i)+j)`.

Neste contexto, ponteiros são operadores válidos em operações de comparação e aritméticas. Um ponteiro pode ser incrementado (`++`) ou decrementado (`--`) e um inteiro pode ser adicionado a (`+` ou `+=`) ou subtraído de (`-` ou `-=`) um ponteiro. Isso é chamado **aritmética de ponteiros**.

A diferença para a aritmética normal para a aritmética de ponteiros é que a operação que se faz na aritmética de ponteiros é a seguinte:

```
TIPO *ptr;
int n;
ptr + n = ptr + n * sizeof (TIPO);
```

Para explicitar o que é feito na aritmética de ponteiros: suponha que um ponteiro

```
int *ptr;
```

possua o endereço 3000 armazenado. Se fizermos `ptr + 2`, o resultado usual seria 3002. Entretanto, quando um ponteiro é incrementado ou decrementado por um inteiro, o endereço de memória não é apenas alterado pelo inteiro, mas sim pelo inteiro vezes o tamanho do dados que o ponteiro referencia. Em nosso exemplo, `ptr + 2 = 3008`, já que um inteiro ocupa 4 bytes em memória. O mesmo vale para subtração, incremento e decremento unários. Por outro lado, se tivermos

```
int *ptr1, *ptr2;
```

e `ptr1` possui o endereço 3000 e `ptr2` possui o endereço 3008, então

```
int x = ptr2 - ptr1 = ( 3008 - 3000 ) / 4 = 2.
```

2.4 Ponteiros para funções

Da mesma forma que o nome de um vetor é, na verdade, um ponteiro para o endereço base na memória, o nome de uma função também é um ponteiro para o endereço de memória que contém o primeiro comando da função. Os demais comandos são armazenados contiguamente na memória. Por isso, ponteiros para funções podem também ser passados como argumentos de uma função.

Exemplo 7. *Suponha que queremos fazer uma função que encontre o maior ou menor elemento de um vetor.*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int maior (int a, int b) {
  return a > b;
}

int menor (int a, int b) {
  return a < b;
}

void minmax (int n, int *v, int (*compara) (int a, int b)) {
  int i, elem;
  elem = v[0];
  for (i = 1; i < n; i++)
    if ((*compara) (v[i], elem))
      elem = v[i];
  printf( "elem = %d\n", elem );
}

int main () {
  int v[5] = { 5, 2, 4, 8, 6 };
  minmax (5, v, maior);
  minmax (5, v, menor);
  return 0;
}
```

Observação: É imprescindível o uso do parêntese no ponteiro da função, assim:

```
int (*compara) (int a, int b)
```

Se não houvesse parêntese, ou seja,

```
int *compara (int a, int b)
```

estaríamos declarando uma função `compara` que retorna um ponteiro para inteiro.

Também é possível declarar um vetor de funções. Assim:

```
int (*f[2]) (int a, int b) = { maior, menor };
```

Deste modo, poderíamos fazer as chamadas

```
(*f[0]) (10, 2); /* Seria chamada a função maior */
(*f[1]) (10, 2); /* Seria chamada a função menor */
```

3 Exercícios

1. Seja `v` um vetor com endereço inicial 1000. Considere o seguinte código.

   ```
   int v[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
   int *ptr;
   ptr = v;
   ```

   Qual o resultado de cada operação a seguir? Justifique.

   - `ptr+1;`
   - `(*ptr)+1;`
   - `*(ptr+1);`
   - `*(ptr+10);`

2. Seja `vet` um vetor de 4 elementos: `TIPO vet[4]`. Suponha que, depois da declaração, `vet` esteja armazenado no endereço de memória 3000. Suponha ainda que na máquina usada uma variável do tipo `char` ocupa 1 *byte*, do tipo `int` ocupa 2 *bytes*, do tipo `float` ocupa 4 *bytes* e do tipo `double` ocupa 8 *bytes*.

   Qual o valor de `vet+1`, `vet+2` e `vet+3` se:

   - `vet` for declarado como `char`?
   - `vet` for declarado como `int`?
   - `vet` for declarado como `float`?
   - `vet` for declarado como `double`?

3. Seja

   ```
   int nums[2][3] = { {16, 18, 20}, {25, 26, 27} };
   ```

   uma matriz com endereço inicial 1000. Qual o resultado de cada operação a seguir? Justifique.

   - `nums+1;`
   - `*(*(nums + 1))`
   - `*(*nums+1);`
   - `*(*(nums+1)+1)`

4. Considere as declarações:

```
int vetor[10];
int *ponteiro;
```

Diga quais expressões abaixo são válidas ou não, e justifique sua resposta.

- `vetor = vetor + 2;`
- `vetor++;`
- `vetor = ponteiro;`
- `ponteiro = vetor;`
- `ponteiro = vetor + 2;`

5. O que faz a seguinte função?

```
void imprime (char *v, int n) {
  char *c;
  for (c = v; c < v + n; c++)
    printf ("%c", *c);
}
```

6. O que faz o seguinte código? Tente descobrir primeiro, depois teste no computador, para ter certeza.

```
int main () {
  int y, *p, x;
  y = 0;
  p = &y;
  x = *p;
  x = 4;
  (*p)++;
  x--;
  (*p) += x;
  printf ("y = %d\n", y);
  return 0;
}
```

7. Qual a saída do código a seguir?

```
int main() {
  int arr[] = {  9, 8, 98, 88, 87, 1, 2, 4, 101, 102, 103, 105 };
  int *x =  arr+4;
  int *ptr = &arr[7];

  arr[*ptr]++;
  printf( "Valor 1: %d\n", *ptr );
  printf( "Valor 2: %d\n", *x );
  *x = 7;
  printf( "Valor 3: %d\n\n", arr[4] + *ptr );

  return 0;
}
```

8. Qual a saída do código a seguir?

```
int main() {
  int b[5] = { 1, 2, 3, 4, 5 };
  int *bPtr;
  int i;
  bPtr = b;
  *(bPtr+2) += 10;
  bPtr = bPtr+2;
  for ( i = 0; i < 5; i++ )
    printf( "b[%d] = %d\n", i, b[i] );
  printf("\n");
  for ( i = 0; i < 5; i++ )
    printf( "bPtr[%d] = %d\n", i, bPtr[i] );
  return 0;
}
```

9. Como podemos arrumar o código a seguir para imprimir o valor 10?

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int x;
  int *p = &x;
  int **q = &p;
  x = 10;
  printf("%d\n", &q);
  return 0;
}
```

10. O código a seguir funciona? Se sim, qual será a saída? Implemente e verifique. Explique o que aconteceu.

```
int main() {
  int var;
  char *ptr;
  ptr = &var;
  ptr[0] = 's';
  ptr[1] = 'o';
  ptr[2] = 'l';
  ptr[3] = '\0';
  printf( "%s ... var = %d\n\n", (char *) ptr, var);
  var = var - 3584;
  printf( "%s ... var = %d\n\n", (char *) ptr, var);
  return 0;
}
```

11. A função abaixo promete devolver os três primeiros números primos maiores que 1000. Onde está o erro?

```
int *primos (void) {
  int v[3];
  v[0] = 1009; v[1] = 1013; v[2] = 1019;
```

```
  return v;
}
```

12. O programa abaixo produziu a seguinte resposta, que achei surpreendente:

```
x: 111
v[0]: 999
```

Os valores de `x` e `v[0]` não deveriam ser iguais?

```
void func1 (int x) {
  x = 9 * x;
}
void func2 (int v[]) {
  v[0] = 9 * v[0];
}
int main () {
  int x, v[2];
  x    = 111;
  func1 (x); printf ("x: %d\n", x);
  v[0] = 111;
  func2 (v); printf ("v[0]: %d\n", v[0]);
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

13. O código a seguir possui duas funções: a `troca_int`, para trocar o valor de duas variáveis inteiras, e a `troca_str`, para trocar o valor de duas *strings*. O código funciona? Se não, por quê? Como arrumar?

```
#include <stdio.h>
void troca_int (int *x, int *y) {
  int tmp;
  tmp = *x;
  *x = *y;
  *y = tmp;
}
void troca_str (char *x, char *y) {
  char *tmp;
  tmp = x;
  x = y;
  y = tmp;
}
int main() {
  int a, b;
  char *s1, *s2;
  a = 3;
  b = 4;
  troca_int (&a, &b);
  printf("a is %d\n", a);
  printf("b is %d\n", b);
  s1 = "Eu deveria aparecer depois";
  s2 = "Eu deveria aparecer primeiro";
```

```
    troca_str (s1, s2);
    printf("s1 is %s\n", s1);
    printf("s2 is %s\n", s2);
    return 0;
}
```

14. Escreva uma função `hm` que converta minutos em horas-e-minutos. A função deve receber um inteiro `min` **devolver** (não imprimir apenas!) a hora e o minuto convertidos. Escreva também uma função `main` que use a função `hm`.

15. Implemente uma função `concat()` que concatena 2 (dois) strings recebidos como argumentos. A função deve retornar um ponteiro para uma **nova** string resultante da concatenação. Use ponteiros e alocação dinâmica o máximo possível.

16. Faça um programa que receba uma string e retorne uma cópia desta string com todos os caracteres em maiúsculo.

17. Faça um programa que receba dois números inteiros a e b e um código de operação `op`. Se `op` for

    - 0, você deve retornar $a + b$;
    - 1, você deve retornar $a - b$;
    - 2, você deve retornar $a * b$;
    - 3, você deve retornar a/b (certifique-se que $b \neq 0$).

    Para resolver esse exercício, você **não** pode usar `if` nem tampouco alguma estrutura condicional, exceto para certificar-se se $b = 0$.