DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

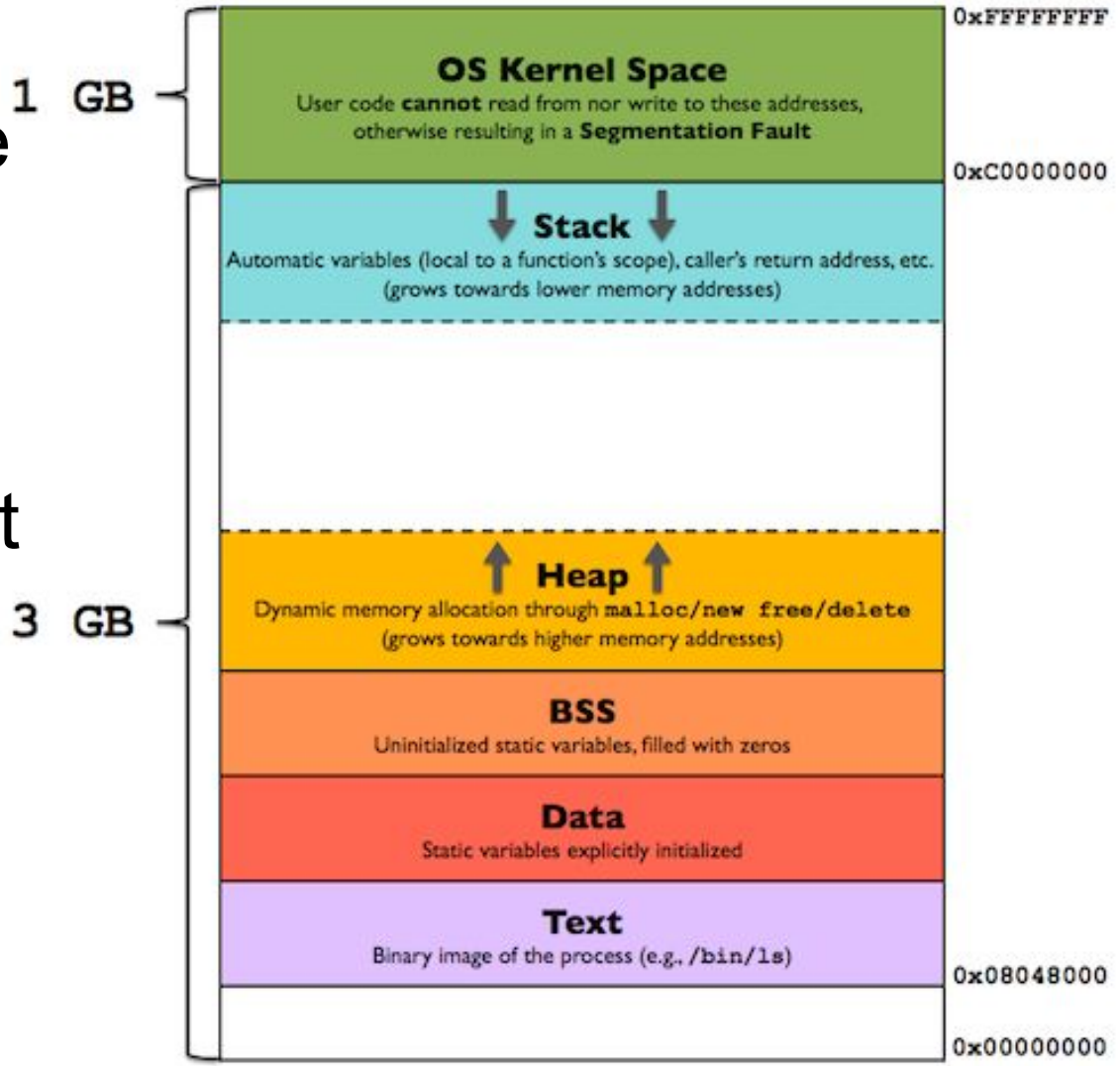
Estruturas de Dados

Localidade de Referência

Professores: Anisio Lacerda
Wagner Meira Jr.

Computar é acessar memória!

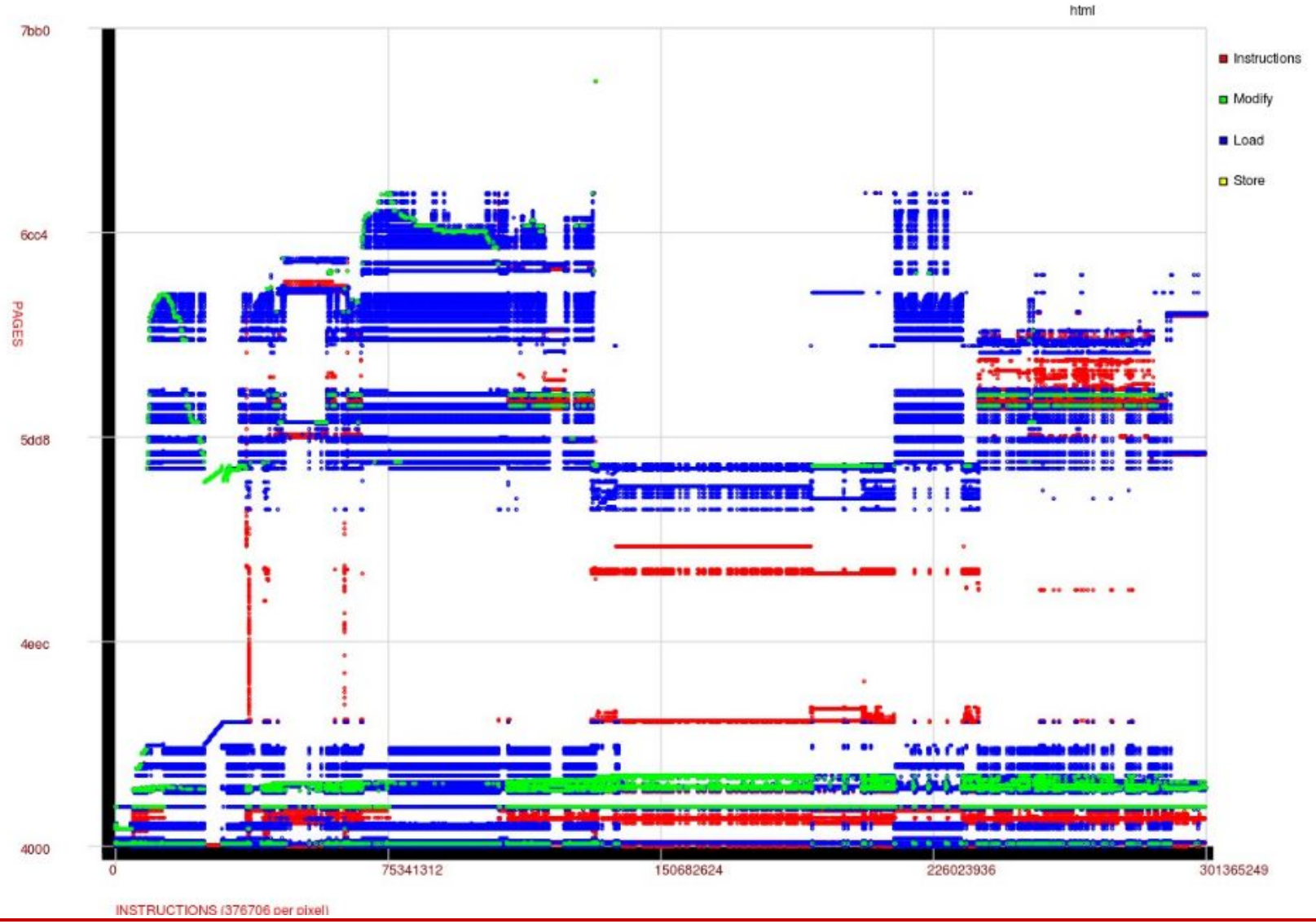
Organização de memória do formato ELF - Executable and Linkable Format (Unix and Ubuntu)



Mapa de Acesso à Memória

- Gráfico de pontos mostrando quais endereços foram acessados ao longo do tempo, assim como o tipo de acesso.
  - X: Tempo
  - Y: Endereços de memória
- Pontos próximos em X indicam endereços acessados em tempos próximos.

Mapa de Acesso à Memória



Mapas de Acesso à Memória

- **Conjuntos de localidade**: posições de memória acessadas em curtos intervalos de tempo.
  - Conjuntos de localidade são porções de memória bem delimitadas.
- **Fases**: intervalos temporais nos quais os conjuntos de localidade não mudam
- **Transições**: mudanças abruptas nos conjuntos de localidade
- Mapas de acesso à memória **nunca são aleatórios**!

Princípio da Localidade

Um programa acessa a memória com um comportamento fase-transição:

(L1,H1),(L2,H2),...,(Ln,Hn)

Li - Conjunto de localidade

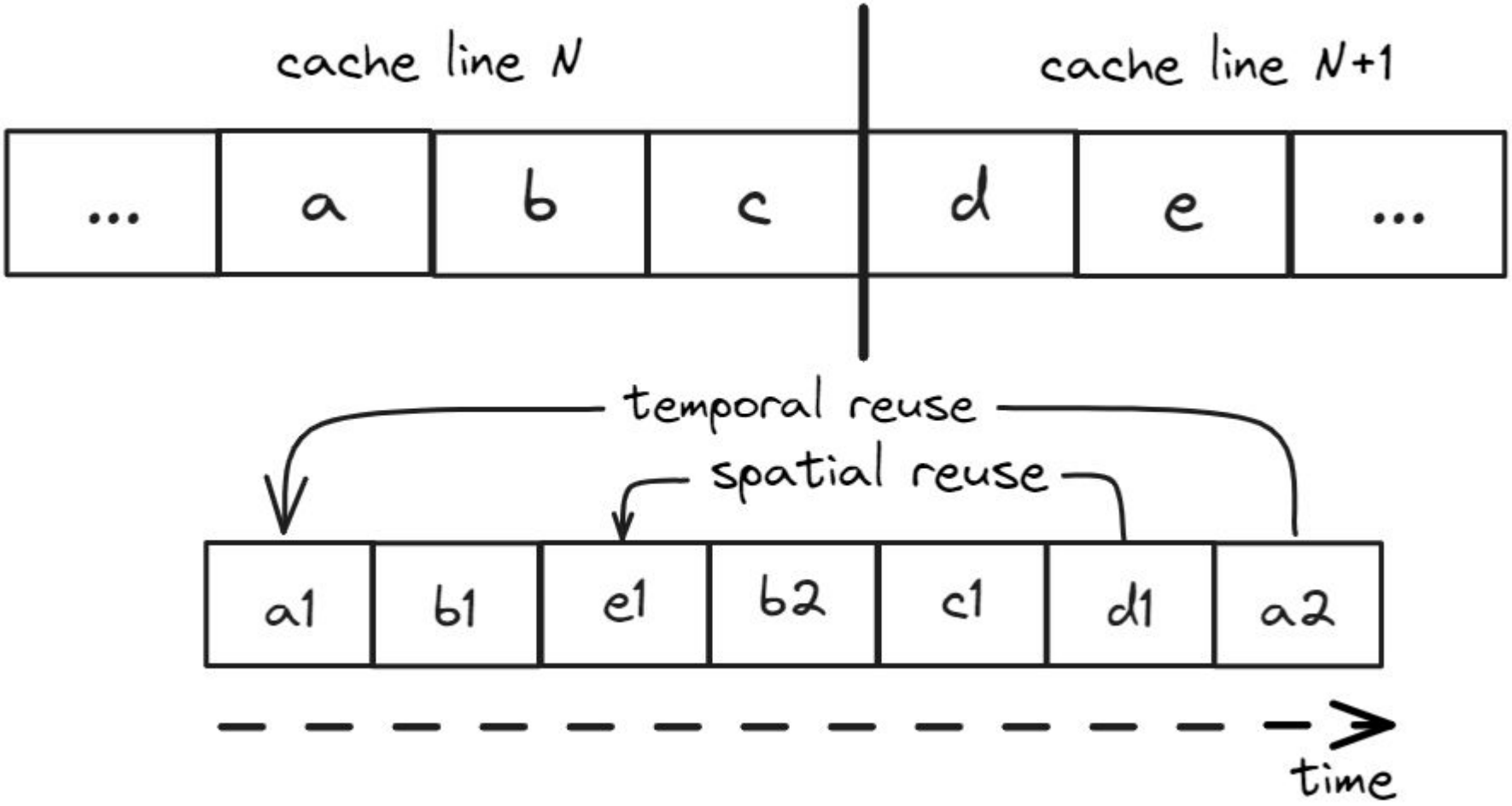
Hi - Intervalo de tempo

Ocorrem pequenas sobreposições entre os conjuntos de localidades sucessivos

Conjunto de Trabalho (*Working Set*)

- Uma medida do conjunto de localidade instantâneo de um programa.
- O conjunto de trabalho no tempo t é o conjunto de páginas observadas em uma janela de tempo de duração fixa T até t.
- Notação: W(t,T)
- O conjunto de trabalho é uma indicação do tamanho demandado de memória para que o programa execute sem atrasos por acessos à hierarquia de memória.

Reuso Temporal e Espacial



Princípio da Localidade

1. Durante qualquer intervalo de tempo, um programa distribui suas referências não-uniformemente

2. A frequência de acesso à uma porção do programa tende a mudar lentamente (em função do tempo)

3. Correlação entre passado imediato e futuro imediato tende a ser alta

Princípio da Localidade - Prática

Programas frequentemente usam estruturas de controle como loops

Isto tende a agrupar referências para partes do programa

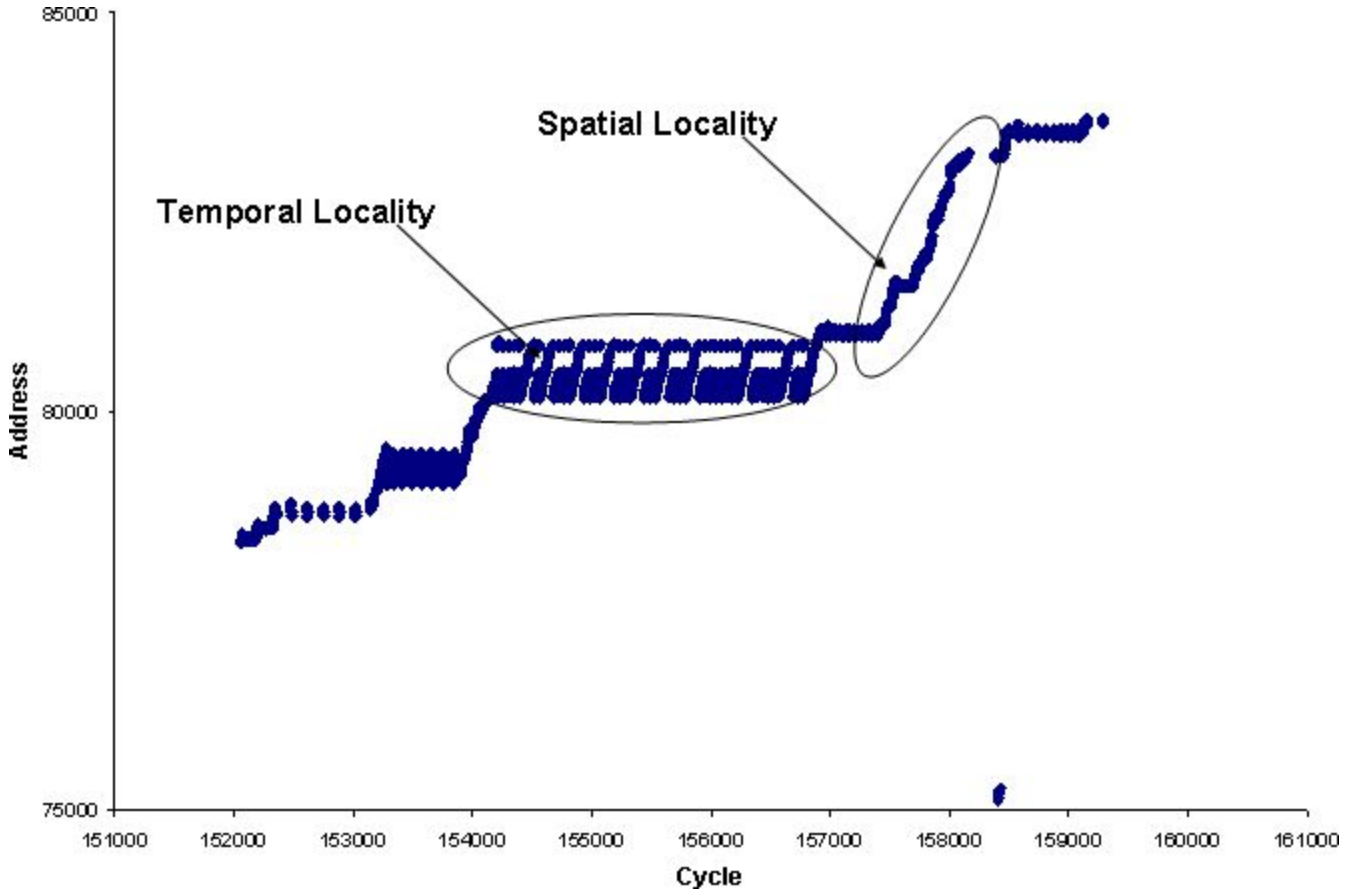
Programas podem executar eficientemente com pequenas partes em memória principal.

Um programa pode ser visto como fazer transições, de tempos em tempos, entre localidades (partes)

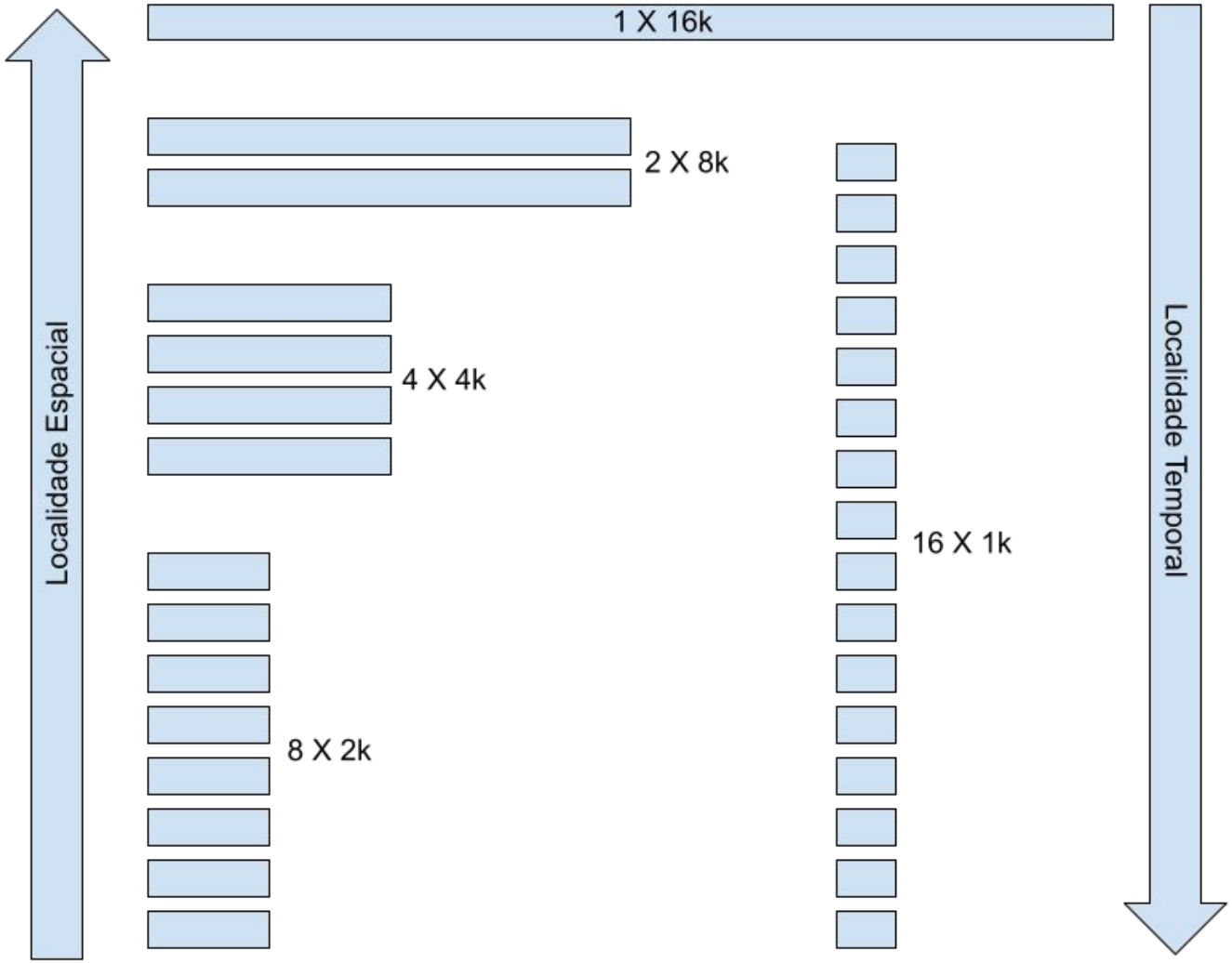
Princípio da Localidade

- **Localidade de referência espacial**:
  - acesso a uma posição de memória aumenta a probabilidade de acessar posições próximas.
- **Localidade de referência temporal**:
  - acesso a uma posição de memória aumenta a probabilidade de acessá-la no futuro próximo.
- **Formalmente**:
  - Um acesso ao endereço X no tempo T implica que acessos ao endereço $X+dX$ no tempo $T+dT$ se tornam mais prováveis à medida que dX e dT tendem a zero.

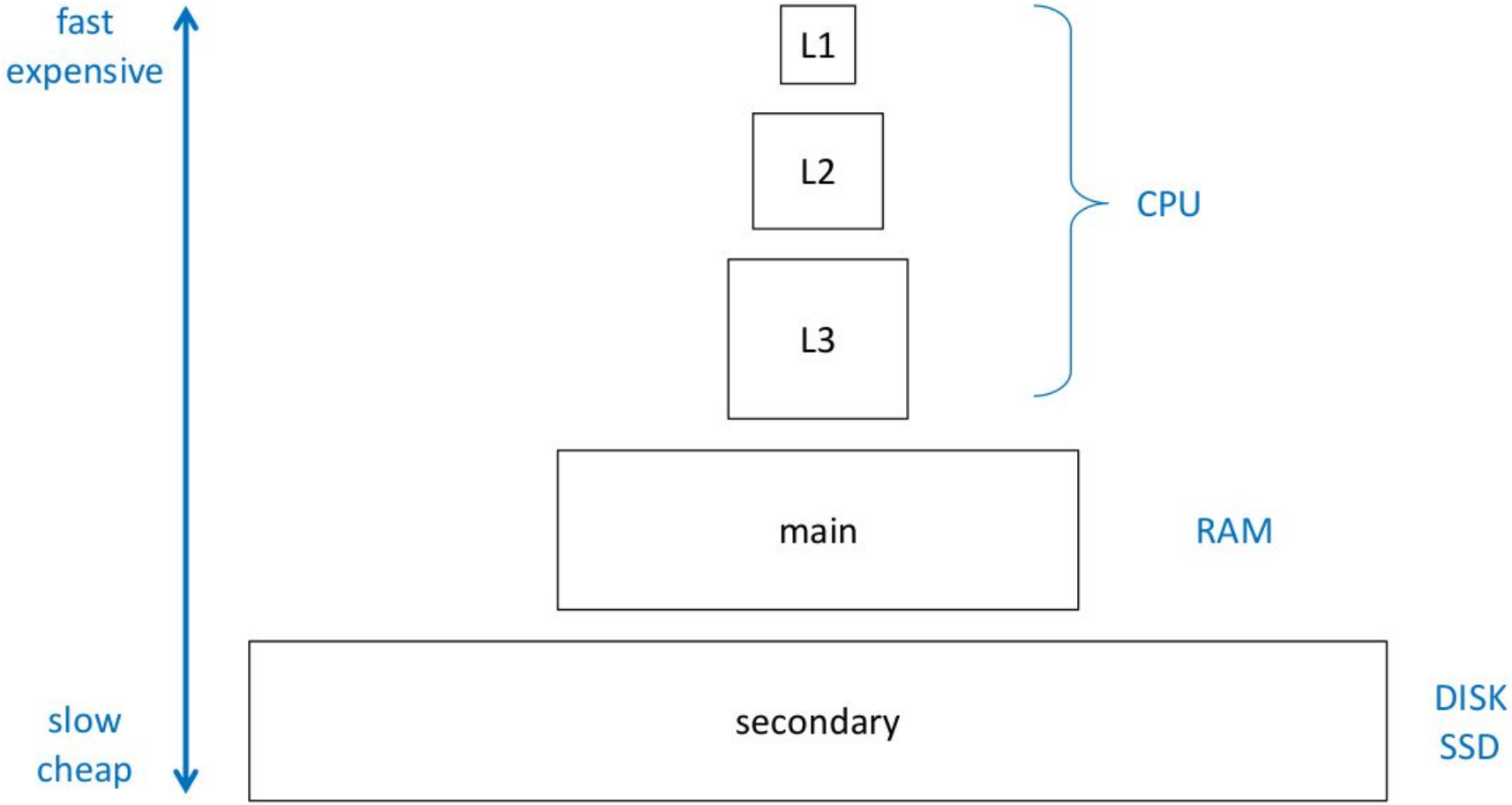
Localidades no Mapa de Memória



Estruturação de Cache/Memória



Hierarquia de Memória



Hierarquia de Memória

	Capacity	Latency	Cost/GB
Register	1000s of bits	20 ps	$$$$
SRAM	~10 KB-10 MB	1-10 ns	~$1000
DRAM	~10 GB	80 ns	~$10
Flash	~100 GB	100 us	~$1
Hard disk	~1 TB	10 ms	~$0.10

O que pode explicar o bom funcionamento dos computadores?

Localidade de Referência: Análise

Os endereços de memória acessados por um programa podem, a cada momento, serem organizados como uma lista ordenada simples tal que os primeiros m endereços da lista estão num dado nível da hierarquia de memória.

Satisfaz a propriedade de inclusão: as primeiras m páginas são um subconjunto das primeiras m+1 páginas.

Análise LR por Distância de Pilha

- Seja um conjunto de 5 endereços de memória, identificados de 1 a 5 e a seguinte sequência de acessos:
  - 1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5
- Como medir a localidade de referência?
  - **Distância de Pilha**
- Seja uma pilha com 5 posições inicialmente vazia. Cada vez que um endereço é acessado, ele é colocado no topo da pilha.
- A sua posição na pilha é a distância de pilha.

Análise LR por Distância de Pilha

r(t):	1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4
stacks:			1	2	3	4	1	2	5	1	2	3
				1	2	3	4	4	4	5	1	2
							3	3	3	4	5	1
d(t):	x	x	x	x	4	4	x	3	3	5	5	5

k	c(k)
1	0
2	0
3	2
4	2
5	3
x	5

DP = (**Σ** k*c(k))

DP=(1*0+2*0+3*2+4*2+5*3)

DP = 29

Vale apenas para 5 endereços!

Distância de pilha

Mede o número de referências únicas à memória entre o acesso atual e o acesso mais recente

Forte relação com *cache (acesso mais rápido)*

se o *cache* armazena uma quantidade de itens correspondente à distância de pilha, temos um *hit*

Distância de pilha

Baixos valores de distância de pilha, geralmente, indicam **boa localidade**

dado é frequentemente acessado é mais provável de estar no *cache* ***(cache hit)***

Altos valores de distância de pilha, geralmente, indicam o dado é menos frequentemente acessado

alta probabilidade de não estar disponível em *caches* menores ***(cache misses)***

Monitoramento usando memlog

1. Selecionar as **estruturas** de dados a serem monitoradas
   a. Nem todos os dados e estruturas de dados tem que ser monitorados
   b. Para cada estrutura de dados, definir o grão do monitoramento
      i. Vetores: atenção com o tamanho do elemento
      ii. Registros: pode ser interessante analisar partes do registro
2. Selecionar as **funções** a serem instrumentadas
3. **Definir** as **fases** de monitoramento
4. **Instrumentar** o código
5. Definir o **plano** de **experimentos**
6. **Executar** os **experimentos**
7. Gerar as **visualizações**
8. **Analisar** os resultados e visualizações

Biblioteca memlog: memlog.h

```
typedef struct memlog{
    FILE * log;
    clockid_t clk_id;
    struct timespec inittime;
    long count;
    int fase;
    int ativo;
} memlog_tipo;
extern memlog_tipo ml;

// constantes definindo os estados de registro
#define MLATIVO 1
#define MLINATIVO 0

#define LEMEMLOG(pos,tam,id) \
        ((void)((ml.ativo==MLATIVO)?leMemLog(pos,tam,id):0))

#define ESCREVEMEMLOG(pos,tam,id) \
        ((void) ((ml.ativo==MLATIVO)?escreveMemLog(pos,tam,id):0))
```

Biblioteca memlog: memlog.h

```
int iniciaMemLog(char * nome);

int ativaMemLog();

int desativaMemLog();

int defineFaseMemLog(int f);

int leMemLog(long int pos, long int tam, int id);

int escreveMemLog(long int pos, long int tam, int id);

int finalizaMemLog();
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
void clkDifMemLog(struct timespec t1, struct timespec t2,
                  struct timespec * res)
// Descricao: calcula a diferenca entre t2 e t1, que e
armazenada em res
// Entrada: t1, t2
// Saida: res
{
  if (t2.tv_nsec < t1.tv_nsec){
    // ajuste necessario, utilizando um segundo de tv_sec
    res-> tv_nsec = 1000000000+t2.tv_nsec-t1.tv_nsec;
    res-> tv_sec = t2.tv_sec-t1.tv_sec-1;
  } else {
    // nao e necessario ajuste
    res-> tv_nsec = t2.tv_nsec-t1.tv_nsec;
    res-> tv_sec = t2.tv_sec-t1.tv_sec;
  }
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int iniciaMemLog(char * nome)
// Descricao: inicializa o registro de acessos, abrindo o arquivo nome
// Entrada: nome
// Saida: nao tem
{ // escolhe modo do relogio
  ml.clk_id = CLOCK_MONOTONIC;
  // abre arquivo de registro e verifica se foi aberto corretamente
  ml.log = fopen(nome,"wt");
  erroAssert(ml.log != NULL,"Cannot open memlog output");
  // captura o tempo inicial do registro
  struct timespec tp;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  ml.inittime.tv_sec = tp.tv_sec;  ml.inittime.tv_nsec = tp.tv_nsec;
  // inicializa variaveis do TAD
  ml.count = 1;   ml.ativo = MLATIVO;  ml.fase = 0;
  // imprime registro inicial
  int retprint = fprintf(ml.log,"I %ld %ld.%.9ld\n",
                    ml.count,tp.tv_sec,tp.tv_nsec);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int ativaMemLog()
// Descricao: ativa o registro de acessos
// Entrada: nao tem
// Saida: MLATIVO
{ ml.ativo = MLATIVO;
  return MLATIVO;
}
int desativaMemLog()
// Descricao: desativa o registro de acessos
// Entrada: nao tem
// Saida: MLINATIVO
{ ml.ativo = MLINATIVO;
  return MLINATIVO;
}
int defineFaseMemLog(int f)
// Descricao: define a fase de registro de acessos
// Entrada: f
// Saida: valor de f
{ ml.fase = f;
  return f;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int leMemLog(long int pos, long int tam, int id)
// Descricao: registra acesso de leitura de tam bytes na posicao pos
// Entrada: pos,tam
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // verifica se registro esta ativo
  if (ml.ativo == MLINATIVO) return 0;
  // captura tempo atual
  struct timespec tp, tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferencao com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registro
  int retprint = fprintf(ml.log,"L %d %ld %d %ld.%.9ld %ld %ld\n",
         ml.fase, ml.count, id, tdif.tv_sec, tdif.tv_nsec, pos, tam);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int escreveMemLog(long int pos, long int tam, int id)
// Descricao: registra acesso de escrita de tam bytes na posicao pos
// Entrada: pos, tam
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // verifica se registro esta ativo
  if (ml.ativo == MLINATIVO) return 0;
  // captura tempo atual
  struct timespec tp,tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferenca com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registro
  int retprint = fprintf(ml.log,"E %d %ld %d %ld.%.9ld %ld %ld\n",
         ml.fase, ml.count, id, tdif.tv_sec, tdif.tv_nsec, pos, tam);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int finalizaMemLog()
// Descricao: finaliza o registro de acessos a memoria
// Entrada: nao tem
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // captura o tempo atual
  struct timespec tp, tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferenca com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registros finais
  int retprint = fprintf(ml.log,"F %ld %ld.%.9ld %ld.%.9ld\n", ml.count,
                tp.tv_sec,tp.tv_nsec, tdif.tv_sec,tdif.tv_nsec);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  // fecha arquivo de registro
  int retclose = fclose(ml.log);
  erroAssert(retclose == 0,"Nao foi possivel fechar o arquivo de registro");
  // atualiza variavel de estado
  ml.ativo = MLINATIVO;
  return result;
}
```

Usando memlog: matop.c

```
 void uso()
// Descricao: imprime as opcoes de uso
// Entrada: nao tem
// Saida: impressao das opcoes de linha de comando
{
  fprintf(stderr,"matop\n");
  fprintf(stderr,"\t-s \t(somar matrizes) \n");
  fprintf(stderr,"\t-m \t(multiplicar matrizes) \n");
  fprintf(stderr,"\t-t \t(transpor matriz)\n");
  fprintf(stderr,"\t-p <arq>\t(arquivo de registro de acesso)\n");
  fprintf(stderr,"\t-l \t(registrar acessos a memoria)\n");
  fprintf(stderr,"\t-x <int>\t(primeira dimensao)\n");
  fprintf(stderr,"\t-y <int>\t(segunda dimensao)\n");
}
```

Exemplo prático

Multiplicação de matrizes

computação científica, aprendizado de máquina, computação gráfica

Problema: dadas duas matrizes, A e B, computar o produto C = A x B

```
for (i = 0; i < N; i++) {
    for (j = 0; j < N; j++) {
        C[i][j] = 0;
        for (k = 0; k < N; k++) {
            C[i][j] += A[i][k] *
B[k][j];
        }
    }
}
```

Usando memlog: matop.c

```
    while ((c = getopt(argc, argv, "smtp:x:y:lh")) != EOF)
    switch(c) {
        case 'm':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPMULTIPLICAR;
                 break;
        case 's':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPSOMAR;
                 break;
        case 't':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPTRANSPOR;
                 break;
        case 'p':strcpy(lognome,optarg);
                 break;
        case 'x':optx = atoi(optarg);
                 break;
        case 'y':opty = atoi(optarg);
                 break;
        case 'l':regmem = 1;
                 break;
        case 'h':
        default: uso(); exit(1);
```

Usando memlog: matop.c

```
// iniciar registro de acesso
 iniciaMemLog(lognome);

 // ativar ou nao o registro de acesso
 if (regmem){
   ativaMemLog();
 }
 else{
   desativaMemLog();
 }

 ……

 return finalizaMemLog();
```

Usando memlog: mat.c

```
void multiplicaMatrizes(mat_tipo *a, mat_tipo *b, mat_tipo *c)
// Descricao: multiplica as matrizes a e b e armazena o resultado em c
// Entrada: a,b
// Saida: c
{
  int i,j,k;
  // verifica a compatibilidade das dimensoes
  erroAssert(a->tamy==b->tamx,"Dimensoes incompativeis");
  // cria e inicializa a matriz c
  criaMatriz(c,a->tamx, b->tamy,c->id);
  inicializaMatrizNula(c);
  // realiza a multiplicacao de matrizes
  for (i=0; i<c->tamx;i++){
     for (j=0; j<c->tamy;j++){
       for (k=0; k<a->tamy;k++){
         c->m[i][j] += a->m[i][k]*b->m[k][j];
         LEMEMLOG((long int)(&(a->m[i][k])),sizeof(double),a->id);
         LEMEMLOG((long int)(&(b->m[k][j])),sizeof(double),b->id);
         ESCREVEMEMLOG((long int)(&(c->m[i][j])),sizeof(double),c->id);
       }
     }
  }
}
```

Usando memlog: matop

Opções matop:

```
matop
    -s              (somar matrizes)
    -m              (multiplicar matrizes)
    -t              (transpor matriz)
    -c <arq>        (cria matriz e salva em arq)
    -p <arq>        (arquivo de registro de acesso)
    -l              (registrar acessos a memoria)
    -x <int>        (primeira dimensao)
    -y <int>        (segunda dimensao)
```

Linha de comando:

```
bin/matop -m -p /tmp/multlog.out -l -x 5 -y 5
```

Usando memlog: matop.c

```
case OPMULTIPLICAR:
     // cria matrizes a e b aleatorias, que sao multiplicadas para matriz c
     // matriz c é impressa e todas as matrizes sao destruidas
     defineFaseMemLog(0);
     criaMatriz(&a,optx,opty,0);        inicializaMatrizAleatoria(&a);
     criaMatriz(&b,opty,optx,1);        inicializaMatrizAleatoria(&b);
     criaMatriz(&c,optx,optx,2);        inicializaMatrizNula(&c);
     defineFaseMemLog(1);
     acessaMatriz(&a);          acessaMatriz(&b);      acessaMatriz(&c);
     multiplicaMatrizes(&a,&b,&c);
     defineFaseMemLog(2);
     acessaMatriz(&c);
     if (regmem) imprimeMatriz(&c);
     destroiMatriz(&a);
     destroiMatriz(&b);
     destroiMatriz(&c);
break;
```

Usando memlog: mult.log

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 140725505023504 8
E 0 3 0 0.000016063 140725505023512 8
E 0 4 0 0.000016811 140725505023520 8
E 0 5 0 0.000017406 140725505023528 8
E 0 6 0 0.000018033 140725505023536 8
...
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
L 1 422 0 0.000281743 140725505023584 8
L 1 423 1 0.000282253 140725505023752 8
E 1 424 2 0.000282786 140725505024056 8
L 1 425 0 0.000283299 140725505023592 8
L 1 426 1 0.000283810 140725505023792 8
E 1 427 2 0.000284342 140725505024056 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

Usando memlog: fixaddr

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 140725505023504 8
E 0 3 0 0.000016063 140725505023512 8
E 0 4 0 0.000016811 140725505023520 8
E 0 5 0 0.000017406 140725505023528 8
E 0 6 0 0.000018033 140725505023536 8
...
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
L 1 422 0 0.000281743 140725505023584 8
L 1 423 1 0.000282253 140725505023752 8
E 1 424 2 0.000282786 140725505024056 8
L 1 425 0 0.000283299 140725505023592 8
L 1 426 1 0.000283810 140725505023792 8
E 1 427 2 0.000284342 140725505024056 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 0 8
E 0 3 0 0.000016063 8 8
E 0 4 0 0.000016811 16 8
E 0 5 0 0.000017406 24 8
E 0 6 0 0.000018033 32 8
...
L 1 420 1 0.000280593 376 8
E 1 421 2 0.000281198 488 8
L 1 422 0 0.000281743 80 8
L 1 423 1 0.000282253 224 8
E 1 424 2 0.000282786 496 8
L 1 425 0 0.000283299 88 8
L 1 426 1 0.000283810 264 8
E 1 427 2 0.000284342 496 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

Usando memlog: mult.log

Evento de Inicio:

```
I 1 616722.226236424
```

- `I:` Rótulo de início
- `1:` Identificador de evento
- `616722.226236424:` Tempo absoluto de início em segundos

Eventos de Leitura e Escrita:

```
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
```

- `L/E:` Rótulo de Leitura ou Escrita
- `1:` Fase
- `420/421:` Identificador de evento
- `1:` Identificador de estrutura de dados
- `0.000280593:` Tempo desde o início
- `140725505023904:` Endereço do acesso
- `8:` Tamanho do dado acessado

Evento de Fim:

```
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

- `F:` Rótulo de fim
- `652:` Identificador de evento
- `616722.226709428:` Tempo absoluto de fim em segundos
- `0.000473004:` Tempo desde o início

analisamem: make use

```
if test -d /tmp/out; then rm -rf /tmp/out; fi
mkdir /tmp/out ; mkdir /tmp/out/teste
fixaddr/fixaddr.csh teste/multlog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/multlog.out.fixed -p /tmp/out/mult
fixaddr/fixaddr.csh teste/somalog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/somalog.out.fixed -p /tmp/out/soma
fixaddr/fixaddr.csh teste/transplog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/transplog.out.fixed -p /tmp/out/transp
gnuplot /tmp/out/*.gp
ls /tmp/out/
```

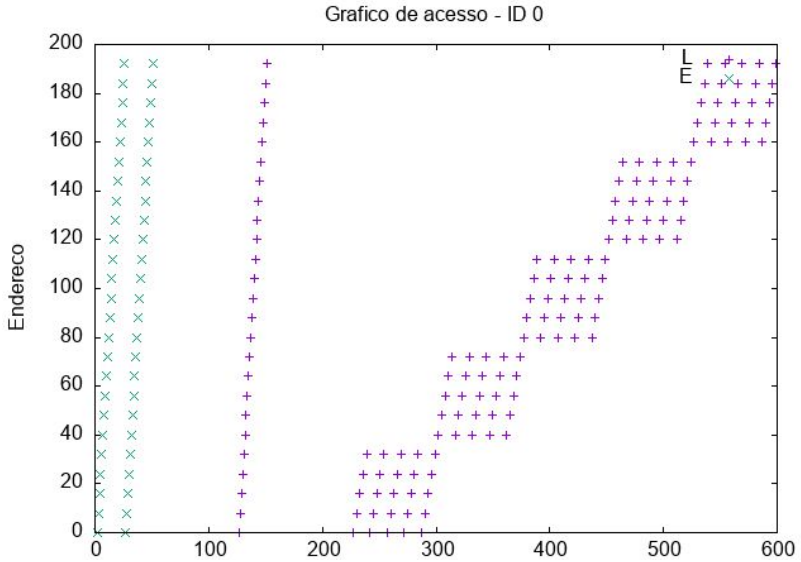
Resultado para transplog:

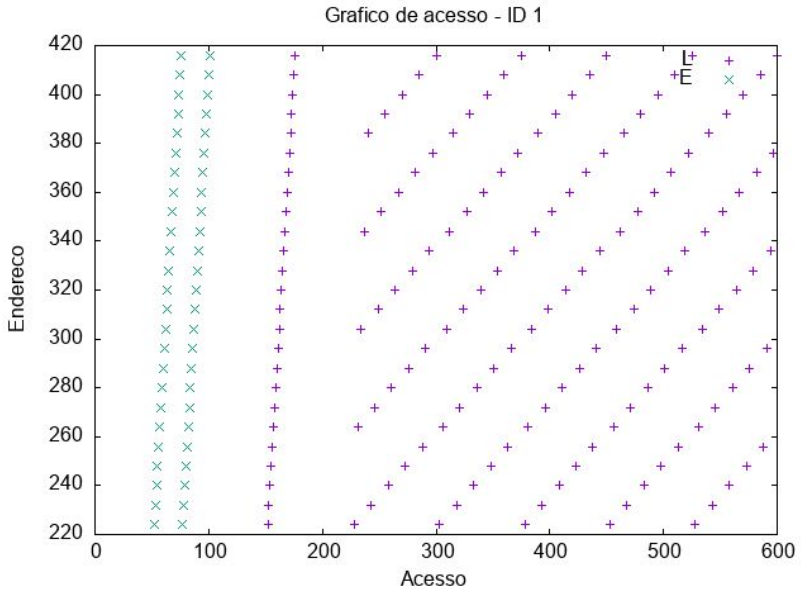
```
transp-acesso-0-0.gpdat   transp-distp-0.png    transp-hist-1-0.png
transp-acesso-0.gp        transp-hist-0-0.gp    transp-hist-2-0.gp
transp-acesso-0.png       transp-hist-0-0.gpdat transp-hist-2-0.gpdat
transp-acesso-1-0.gpdat   transp-hist-0-0.png   transp-hist-2-0.png
transp-acesso-2-0.gpdat   transp-hist-1-0.gp    transp-distp-0.gp
transp-hist-1-0.gpdat
```

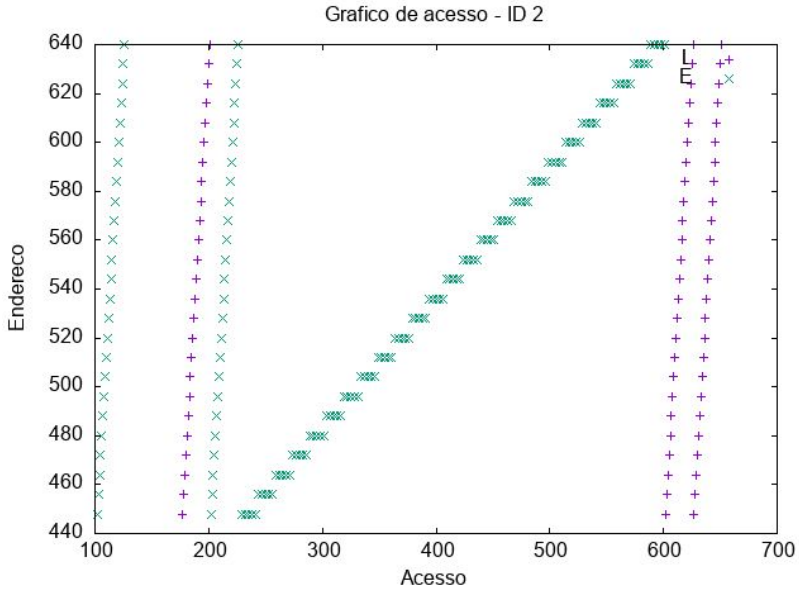
analisamem: Mapa de Acesso

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-acesso-0.png"
set title "Grafico de acesso - ID 0"
set xlabel "Acesso"
set ylabel "Endereco"
plot "/tmp/out/mult-acesso-0-0.gpdat" u 2:4
w points t "L",
"/tmp/out/mult-acesso-1-0.gpdat" u 2:4 w
points t "E"
```

analisamem: Mapa de Acesso



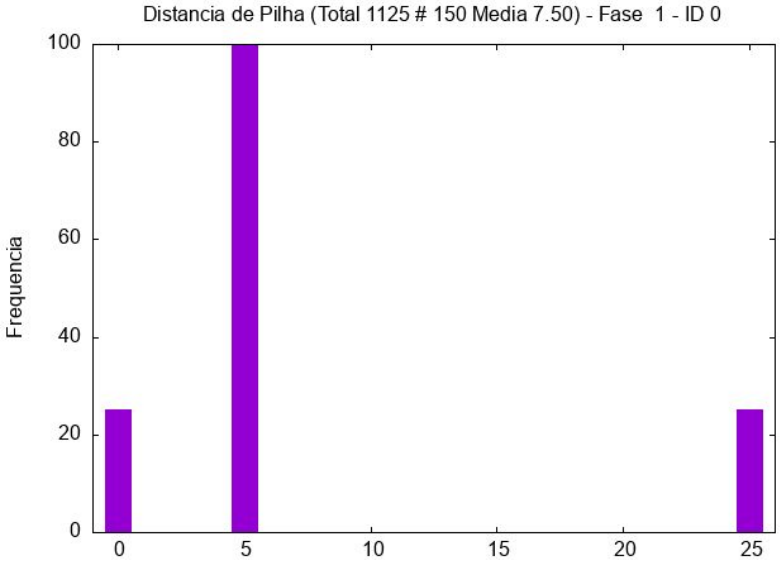


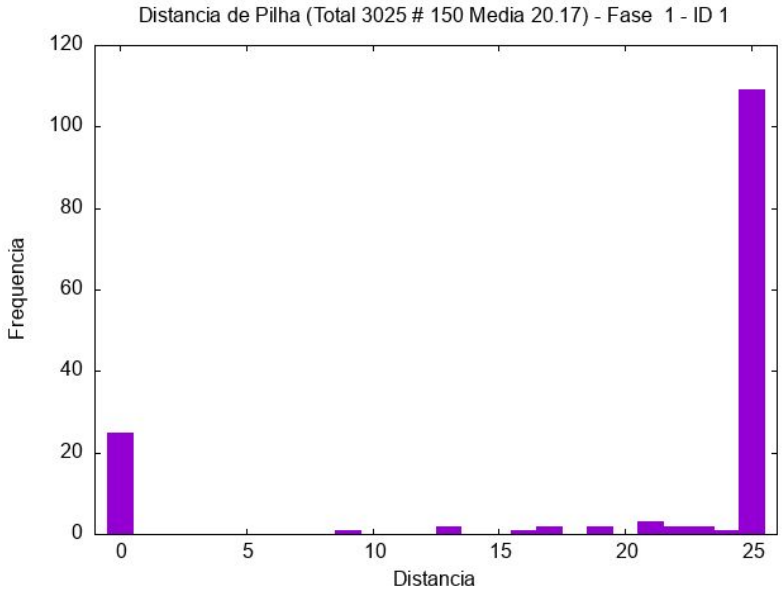


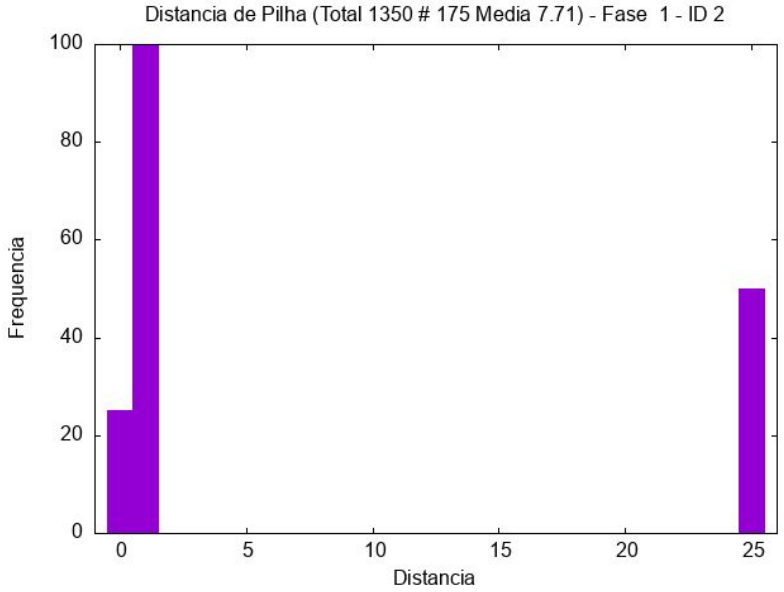
analisamem: Histograma de DP

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-hist-0-0.png"
set style fill solid 1.0
set title "Distancia de Pilha (Total 625 #
50 Media 12.50) - Fase  0 - ID 0"
set xlabel "Distancia"
set ylabel "Frequencia"
plot [-1:26] "/tmp/out/mult-hist-0-0.gpdat"
u 3:4 w boxes t ""
```

analisamem: Histograma de DP



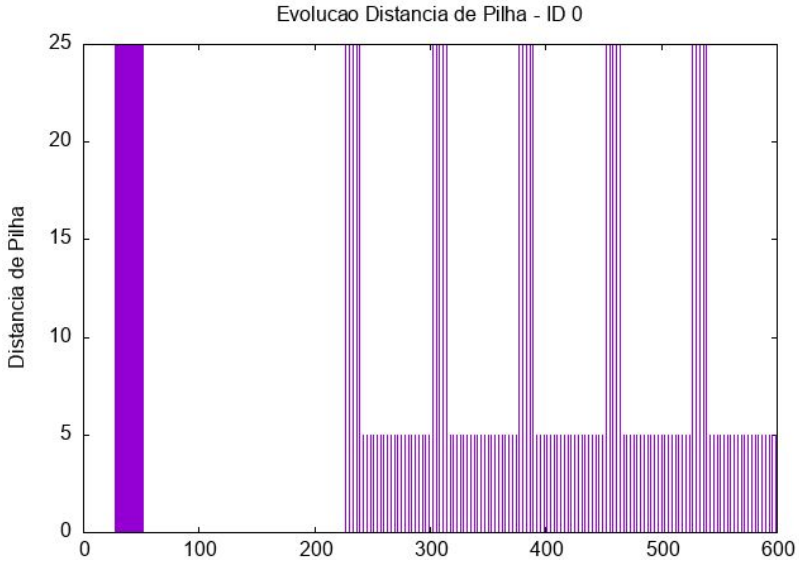


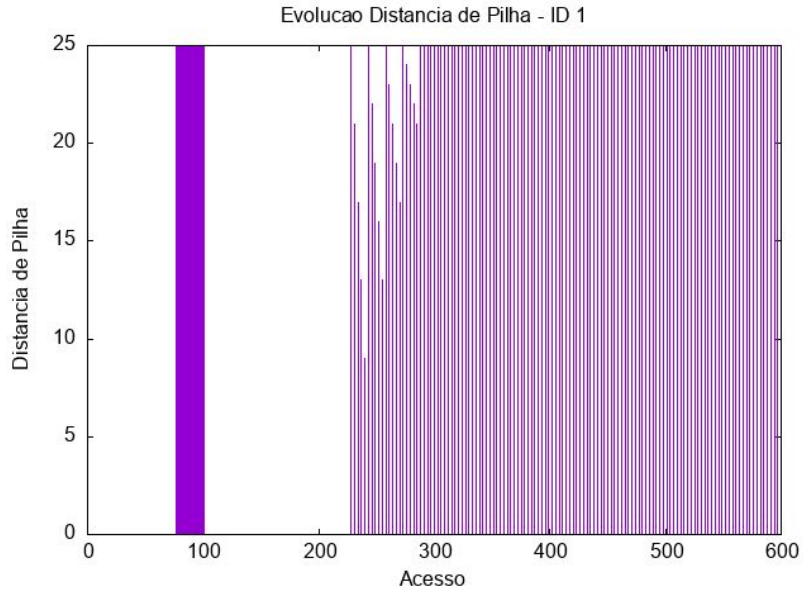


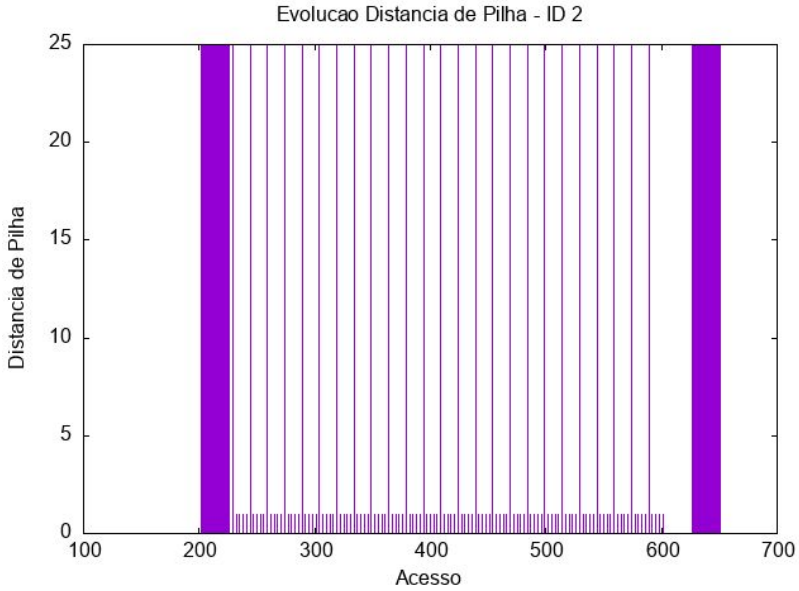
analisamem: Evolução DP

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-distp-0.png"
set title "Evolucao Distancia de Pilha - ID
0"
set xlabel "Acesso"
set ylabel "Distancia de Pilha"
plot "/tmp/out/mult-acesso-2-0.gpdat" u 2:5
w impulses t ""
```

analisamem: Evolução DP







Executando Experimentos

- Como o desempenho é medido em termos de tempo de execução, vários cuidados tem que ser tomados:
  - Desative o máximo de programas quando for medir
  - Não execute programas nem deixe entrar em descanso
  - Verifique a carga da máquina com aplicativos tipo `top`

```
top - 18:15:56 up 7 days,  2:15,  1 user,  load average: 1,48, 1,59, 1,81
Tasks: 295 total,   1 running, 294 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s):  6,0 us,  3,1 sy,  0,0 ni, 90,6 id,  0,3 wa,  0,0 hi,  0,0 si,  0,0
st
MiB Mem :  15738,0 total, 917,8 free,  12785,4 used,   2034,8 buff/cache
MiB Swap:   2048,0 total,     0,0 free,   2048,0 used.   1168,4 avail Mem

    PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
  76464 meira     20   0 5754044   1,4g  41588 S  12,3   9,2 184:45.12 Web Con+
   2320 meira     20   0 1690660 463756   1812 S   4,6   2,9   3:35.33 snap-st+
   1090 root      20   0  337284   4364   1800 S   4,3   0,0  38:43.56 Network+
   2060 meira     20   0 4927440 263692  14320 S   4,0   1,6 398:06.71 gnome-s+
```

Executando Experimentos

- Não use máquinas diferentes, resultados não serão comparáveis
- Em relação ao matop, desative registro de acessos à memória (não use a opção `-l`)
- Tempo de execução pode ser obtido no arquivo de saída do registro de acessos:
- Multiplicação de Matrizes 100x100
  - Tempo de execução **sem** registro de acesso à memória

    ```
    I 1 613296.868793901
    F 2 613296.875192111 0.006398210
    ```

  - Tempo de execução **com** registro de acesso à memória

    ```
    I 1 613587.026878001
    F 4070002 613588.526492373 1.499614372
    ```

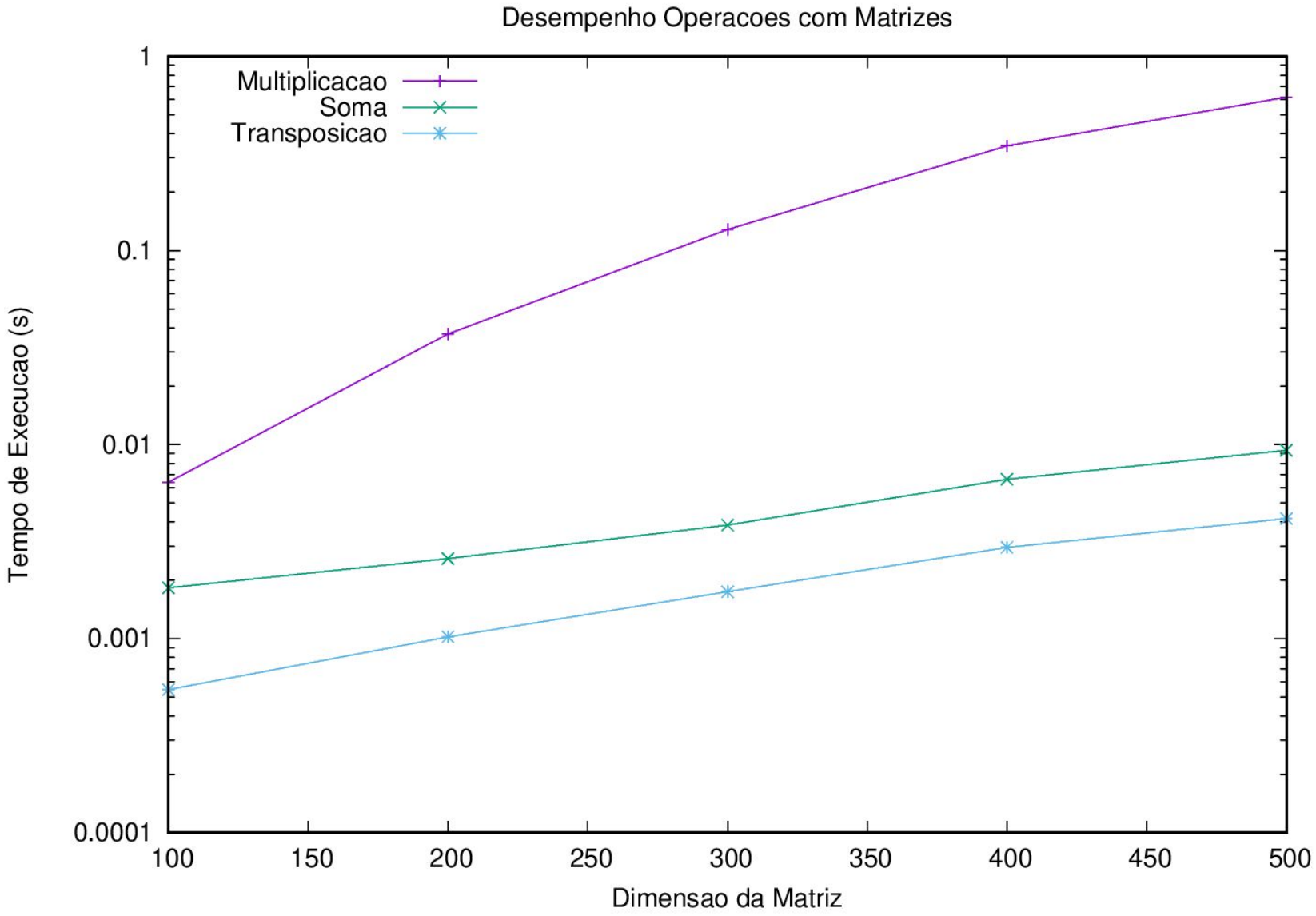
Resultados matop: perf.gpdat

```
100 0.006398210 0.001829699 0.000546951
200 0.037136802 0.002587916 0.001020990
300 0.128376628 0.003845188 0.001746546
400 0.345936870 0.006618190 0.002952549
500 0.616801968 0.009343938 0.004156377
```

Resultados matop: perf.gp

```
set term postscript eps color 14
set output "perf.eps"
set title "Desempenho Operacoes com Matrizes"
set xlabel "Dimensao da Matriz"
set ylabel "Tempo de Execucao (s)
set logscale y
set key left top
plot "perf.gpdat" u 1:2 w linesp t "Multiplicacao",\
    "perf.gpdat" u 1:3 w linesp t "Soma",\
    "perf.gpdat" u 1:4 w linesp t "Transposicao"
```

Resultados matop: gnuplot perf.gp



DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Estruturas de Dados

Localidade de Referência

Professores: Anisio Lacerda
Wagner Meira Jr.