# TempOS: Um SO voltado para o ensino de Sistemas Operacionais


Renê de Souza Pinto

Laboratório de Sistemas Distribuídos e Programação Concorrente
LaSDPC / ICMC - USP
rene@icmc.usp.br
http://renesp.com.br

7 de Setembro de 2010

# Sumário

# Motivação

- Curiosidade em desvendar o funcionamento do PC
- Engenharia de computação: O curso abrange desde o mais baixo nível do hardware (construção de transistores) até o mais alto nível de software com a abstração das linguagens de alto nível
- **Sistema Operacional** (SO): Elo entre Hardware e Software
- Falta de uma disciplina prática que abordasse a implementação de um SO

# Projeto TempOS

- **2009**: Início do desenvolvimento do Sistema Operacional **TempOS**
- **2010**: **TempOS** torna-se um projeto de mestrado:
  - Elaborar uma plataforma para ensino e treinamento em desenvolvimento de Sistemas Operacionais
  - Material didático, forte documentação do código, exercícios práticos e o próprio TempOS como plataforma de estudo e desenvolvimento

# Necessidades

- Grande quantidade de hardware embarcado atual que roda Sistemas Operacionais sofisticados (como Linux)
- Projetos abertos, como o Linux, necessitam de programadores novos - `http://fprudente.blogspot.com/2010/04/por-que-o-linux-nao-esta-atraindo.html`
- Necessidade de mercado: Programadores de *núcleo* estão sendo cada vez mais requisitados (muitas empresas investem, desenvolvem, *customizam* e patrocinam sistemas como o Linux)
- Prover uma ferramenta de estudo factível aos alunos (sistemas muito complexos são difíceis de se estudar)
- Qualificar os alunos dos cursos de computação com tecnologias de ponta

# Trabalhos Relacionados

- Nachos[Christopher, Procter e Anderson 1993] - `http://www.cs.washington.edu/homes/tom/nachos/`
- System/161[Holland, Lim e Seltzer 2002] - `http://www.eecs.harvard.edu/~syrah/os161/`
- GeekOS - `http://code.google.com/p/geekos/`
- Minix[Tanenbaum 1987] - `http://www.minix3.org/`
- Outros

# Nachos

- Desenvolvido pela Universidade de Berkeley, CA
- O núcleo do Nachos roda em cima de outro Sistema Operacional, simulando uma arquitetura MIPS R2000/3000. Caso esteja executando em uma arquitetura IA-32, é necessário um compilador *cross* para compilar os aplicativos que irão rodar no simulador do Nachos
- Na utilização descrita, os estudantes recebem apenas um esqueleto do código, e durante as práticas vão desenvolvendo as funcionalidades não implementadas

# System/161, OS/161

- Desenvolvido pela Universidade de Harvard
- Simula uma arquitetura de hardware (MIPS) podendo-se rodar um Sistema Operacional em cima (OS/161)

# GeekOS

- Desenvolvido pela Universidade Marryland, College Park
- Suporta arquitetura IA-32 (x86), podendo rodar tanto no hardware real quanto em emuladores (*bochs*)
- É basicamente um esqueleto de SO, nas disciplinas de laboratório os alunos desenvolvem funcionalidades através de práticas individuais durante o período de um semestre

# Minix

- Escrito por Andrew S. Tanenbaum entre 1984 e 1987
- Projeto mais notável na área
- Clássico livro texto "*Operating Systems Design and Implementation*" que aborda o Minix
- Versão 3 do Minix deixou de ter intuito educacional

# Outros

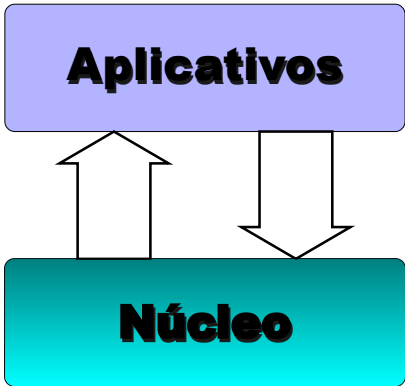
- Xinu[Carissimo 1995]: Desenvolvido na década de 1980 pela Purdue University, originalmente rodava em um microcomputador LSI-11, da Digital Equipament, sendo portado posteriormente para o MS-DOS. Não é mais utilizado.
- Topsy[Fankhauser et al. 1996]: Desenvolvido pelo Swiss Federal Institute of Technology in the Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK)
  - Roda em hardware real (arquitetura MIPS R3000) e em emuladores. Possui um manual (70 páginas) escrito em inglês
  - Utilizado em apenas alguns campi europeus[Anderson e Nguyen 2005]

# Escrevendo um SO: Um desafio possível

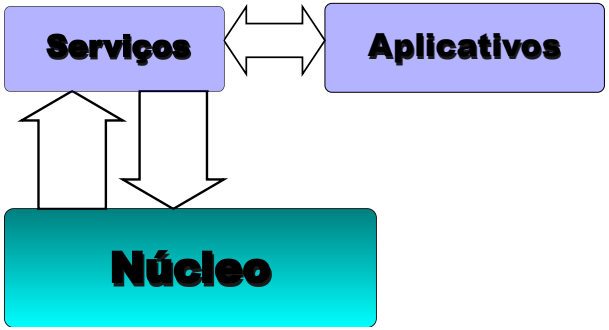
- Escrever um SO necessita de um vasto conhecimento prévio:
  - Organização de computadores
  - Arquitetura de computadores
  - Programação de computadores (C, Assembly)
  - Sistemas Operacionais (teoria)
  - Conhecimento específico de determinados tipos de hardware
- Curiosidade (desvendar mistérios antes obscuros)
- Paciência (seja carinhoso com seu hardware ;)

- Sistema Operacional: Segundo Tanenbaum[Tanenbaum 2000], pode ser visto como um **gerenciador de recursos** ou como uma **máquina estendida**.
- Comunica-se e controla o hardware da máquina, abstraindo-o através de uma interface (chamadas de sistema)
- Núcleo (*kernel*):
  - Monolítico
  - Micronúcleo
  - Híbrido
  - Exonúcleo

- Monolítico:




- Micronúcleo:



# TempOS

- **TempOS**: *TempOS is an educational and multi purpose Operating System*
- Site do projeto: `http://tempos-project.org`
- Escrito exclusivamente em Linguagem C e Assembly (sintaxe AT&T)
- Desenvolvido totalmente no GNU/Linux e com ferramentas livres
- Possui um sofisticado sistema de compilação, pode ser compilado e emulado sem a necessidade de permissões de super-usuário (*root*)
- Roda em um PC comum e em emuladores (qemu)
- Licenciado sob a GNU GPLv2 - *GNU General Public License*, versão 2

# TempOS

- Segue a especificação de *Multiboot* (bootável pelo GRUB)
- Funções da Biblioteca C implementadas (strcat, memcpy, printf, etc)
- Tipos de dados padronizados (uint32_t, ulong_t, etc)
- Paginamento de memória permitindo implementação de *swap*
- Realocação dinâmica do Kernel (0-3GB para usuário / 3-4GB para Kernel)
- Sistema de compartilhamento de IRQs
- Drivers para Video (modo texto), Teclado, Temporizador (PIT) e Controlador de Interrupções (PIC)
- Chamadas de sistema (*systemcalls*)
- Port para arquitetura IA-64 (x86 64 bits) iniciado

# TempOS - Multiboot

- `http://www.gnu.org/software/grub/manual/multiboot/multiboot.html`
- Especificação criada pela GNU e implementada através do GRUB (GRand Unified Bootloader), permite que vários Sistemas Operacionais "convivam na mesma máquina", permitindo ao usuário escolher qual iniciar na inicialização da máquina
- "Magic number" deve estar nos primeiros 8192 bytes do núcleo (executável) a ser iniciado
- GRUB facilita a vida dos projetistas de SO: Entra em modo protegido, efetua operações necessárias com a BIOS, etc...
- O TempOS segue a especificação de multiboot, o núcleo do TempOS é compilado em um arquivo ELF que pode ser carregado pelo GRUB

# boot.S - Estágio de boot

```
multiboot_header:

.long MULTIBOOT_HEADER_MAGIC
.long MULTIBOOT_HEADER_FLAGS

/* Checksum */
.long -(MULTIBOOT_HEADER_MAGIC + MULTIBOOT_HEADER_FLAGS)

...

/* Initialize the stack pointer */
movl $(stack + STACK_SIZE), %esp

/* Reset EFLAGS */
pushl $0
popf

/* Push multiboot structure and magic value */
pushl %ebx
pushl %ecx

/* Go to kernel, should never return from here  */
call EXT_C(karch)

hlt
```

# karch.c - Primeiro estágio

```
/**
 * First Stage: Called from Boot Stage.
 */
void karch(unsigned long magic, unsigned long addr)
{
    ...

    /* Init the Memory Manager */
    init_mm();

    /* Setup interrupts */
    setup_IDT();
    init_PIC();
    init_PIT();
    init_IRQ();
    set_picmask(0x00, PIC_MASTER);
    set_picmask(0x00, PIC_SLAVE);
    sti();

    ...

    kprintf(">> First stage done.\n");

    /* Call the TempOS kernel */
    tempos_main(kinf);
}
```

# kernel.c - Segundo estágio

```
void tempos_main(karch_t kinf)
{
    /* Start the second stage */
    memcpy(&kinfo, &kinf, sizeof(karch_t));

    /* keep init_timer() in first place because drivers use timer functions */
    init_timer();
    calibrate_delay();

    /* Keyboard */
    init_8042();

    /* ATA controller */
    init_ata_generic();

    /* Init scheduler */
    init_scheduler();

    /* Test */
    kprintf("We are in TempOS kernel!\n");
    kprintf("Command line passed: %s\n", kinfo.cmdline);

    ...
```

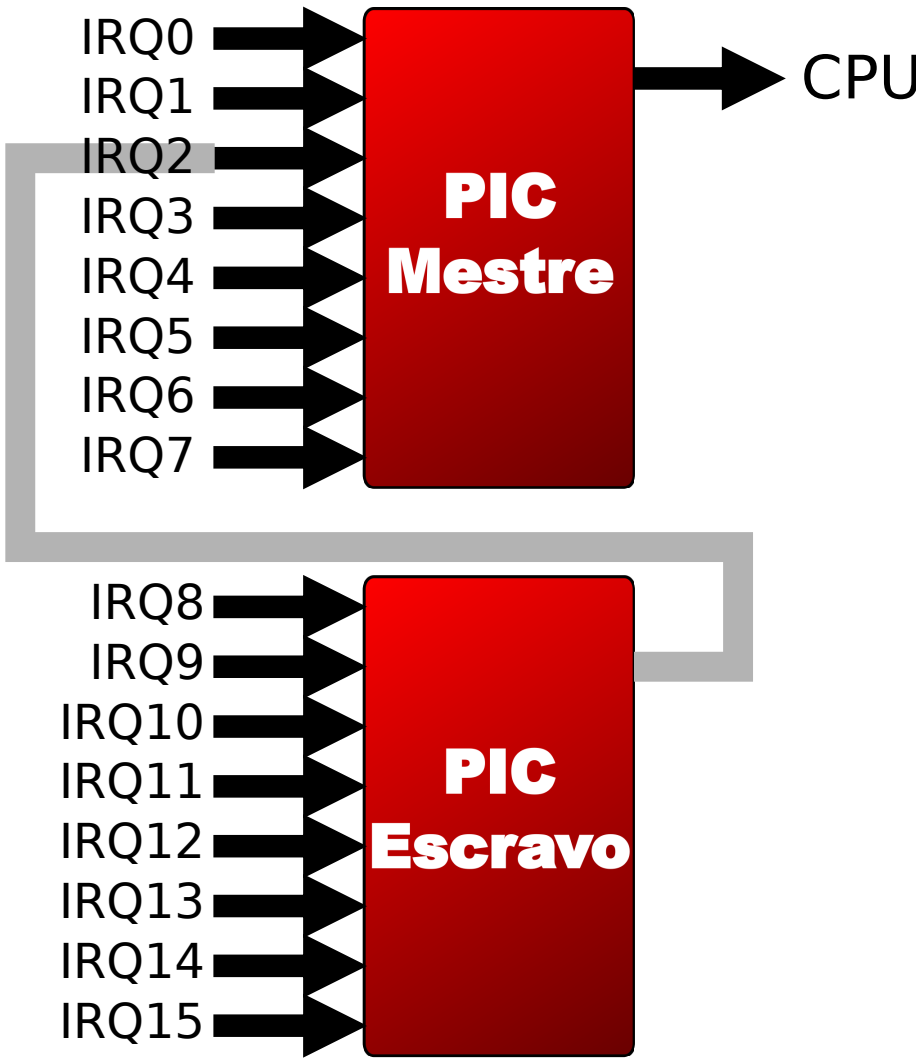
# Drivers básicos

- PIT: Temporizador
- PIC: Controlador de Interrupções
- i8024: Controlador de Teclado
- Vídeo: Modo texto
- ATA: Ler/Escrever em HDs PATA (IDE)

# Componentes da placa mãe

- PIT - Programmable Interval Timer
  - Conhecido como 8253/8254
  - É um oscilador/divisor de freq. programável
  - Pode ser utilizado para implementar relógio, gerador de ondas, etc
- PIC - Programmable Interrupt Controller
  - É um gerenciador de interrupções
  - Possui 8 entradas
  - Arq. PC: Possui 2 PICs ligados em cascata
  - Controle de até 15 interrupções (1 entrada é para a cascata)
  - Cada entrada é uma IRQ (**I**nterrupt **R**e**Q**uest)
  - Um PIC atua como Mestre e outro como Escravo:

# PIC


IRQ0
IRQ1
IRQ2
IRQ3
IRQ4
IRQ5
IRQ6
IRQ7
PIC
Mestre
CPU
IRQ8
IRQ9
IRQ10
IRQ11
IRQ12
IRQ13
IRQ14
IRQ15
PIC
Escravo

# PIC - Mestre

- IRQs no Mestre:
  - IRQ 0: Reservada para o PIT (temporizador)
  - IRQ 1: Teclado
  - IRQ 2: Para ligação em cascata com o escravo
  - IRQ 3: Porta serial COM2 (Padrão) ou COM4
  - IRQ 4: Porta serial COM1 (Padrão) ou COM3
  - IRQ 5: Porta paralela LPT2 ou placa de som
  - IRQ 6: Controlador de disquete
  - IRQ 7: Porta paralela LPT1 ou placa de som

# PIC - Escravo

- IRQs no Escravo:
  - IRQ 8: RTC (Real Time Clock)
  - IRQ 9: Mapeada para IRQ2 (cascata)
  - IRQ 10: Disponível
  - IRQ 11: Disponível
  - IRQ 12: PS/2 mouse
  - IRQ 13: ISA / Co-processador matemático
  - IRQ 14: Canal IDE primário
  - IRQ 15: Canal IDE secundário

# Arquitetura PC

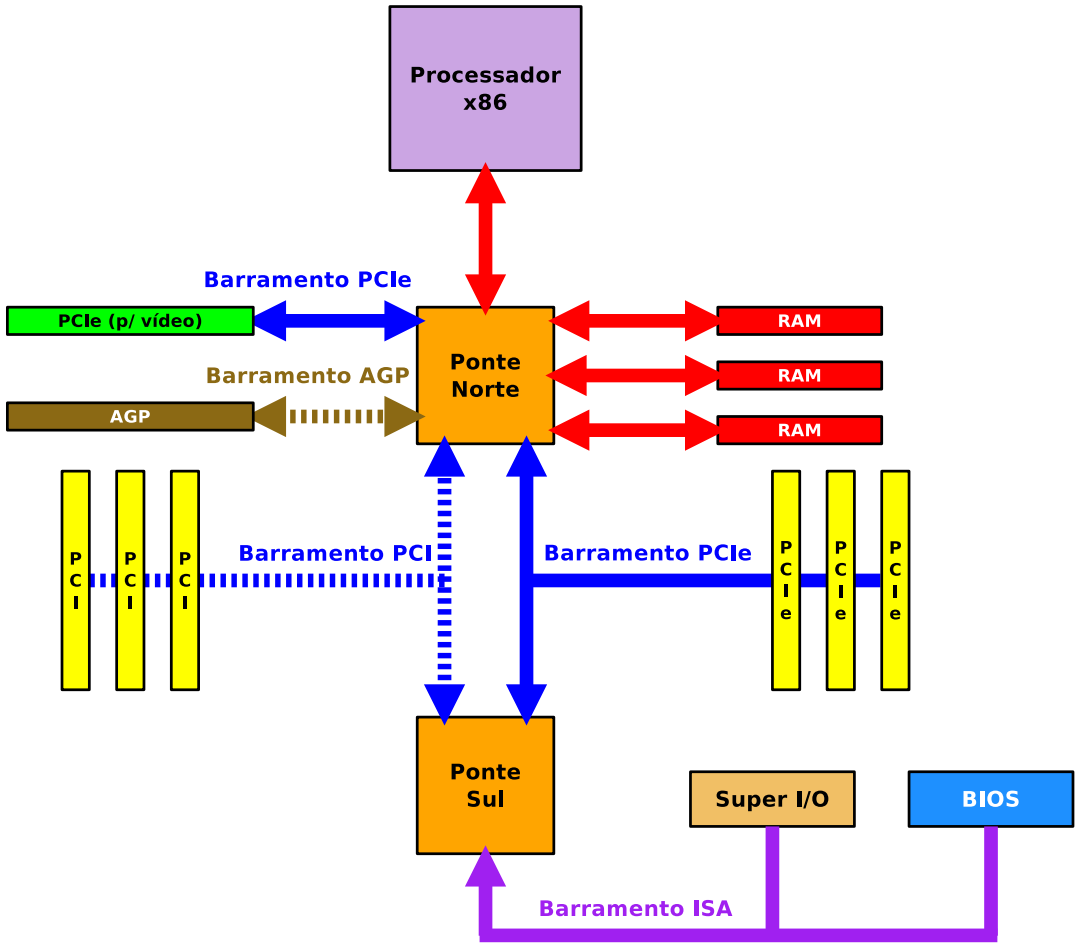



Figura: Arquitetura PC

# Componentes da placa mãe

- Ponte Norte:
  - Comunica-se diretamente com o processador e com a Ponte Sul, provê:
  - Controlador de memória (RAM)
  - Controle de barramentos de vídeo (AGP, PCIe x16)
- Ponte Sul:
  - Geralmente implementa controladores para:
    - PCI / PCIe
    - SATA / PATA (antigo IDE)
    - USB
    - Ethernet, Áudio, Modem (onboard)

# Controle de interrupções

- Drivers registram sua IRQ:

```
int request_irq(uint16_t irq, void (*handler)(int, pt_regs *),
                uint16_t flags, const char *name)
```

- Na interrupção: Cada rotina registrada para a IRQ em que a interrupção ocorreu é executada, permitindo o compartilhamento de IRQs

# Alarmes

- Novos alarmes podem ser criados com:

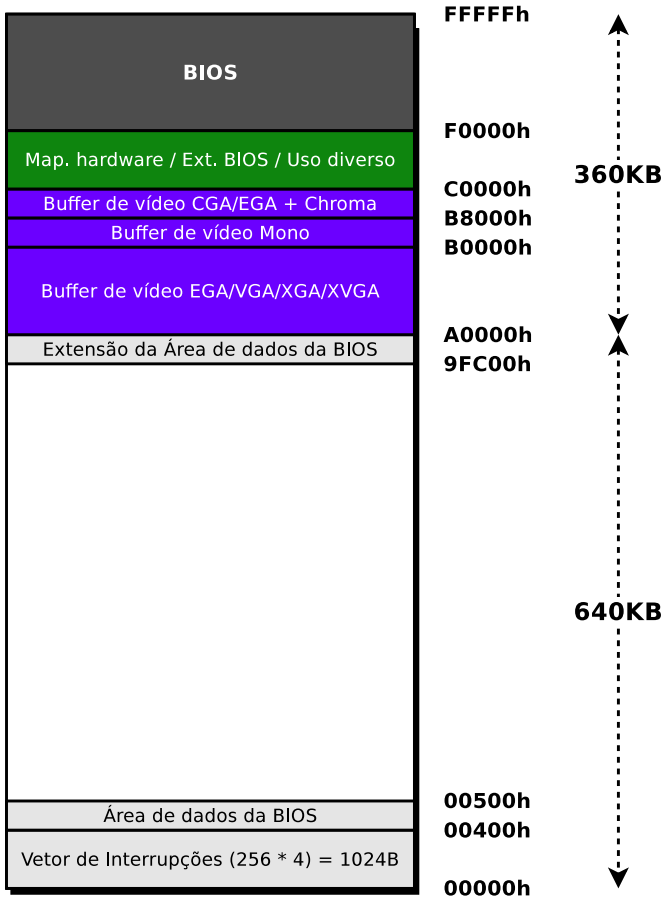
```
int new_alarm(uint32_t expires, void (*handler)(int),
                    uint32_t arg)
```

- Exemplo de uso (escalonador do TempOS):

```
void init_scheduler(void)
{
  /* Register alarm to do task switch */
  if(!new_alarm((jiffies + scheduler_quantum), schedule, 0)){
      panic("Could not install scheduler alarm.");
  }
}
```

# Driver de Vídeo - Modo Texto

Trabalha diretamente com a memória de vídeo (mapeada para 0xB8000)



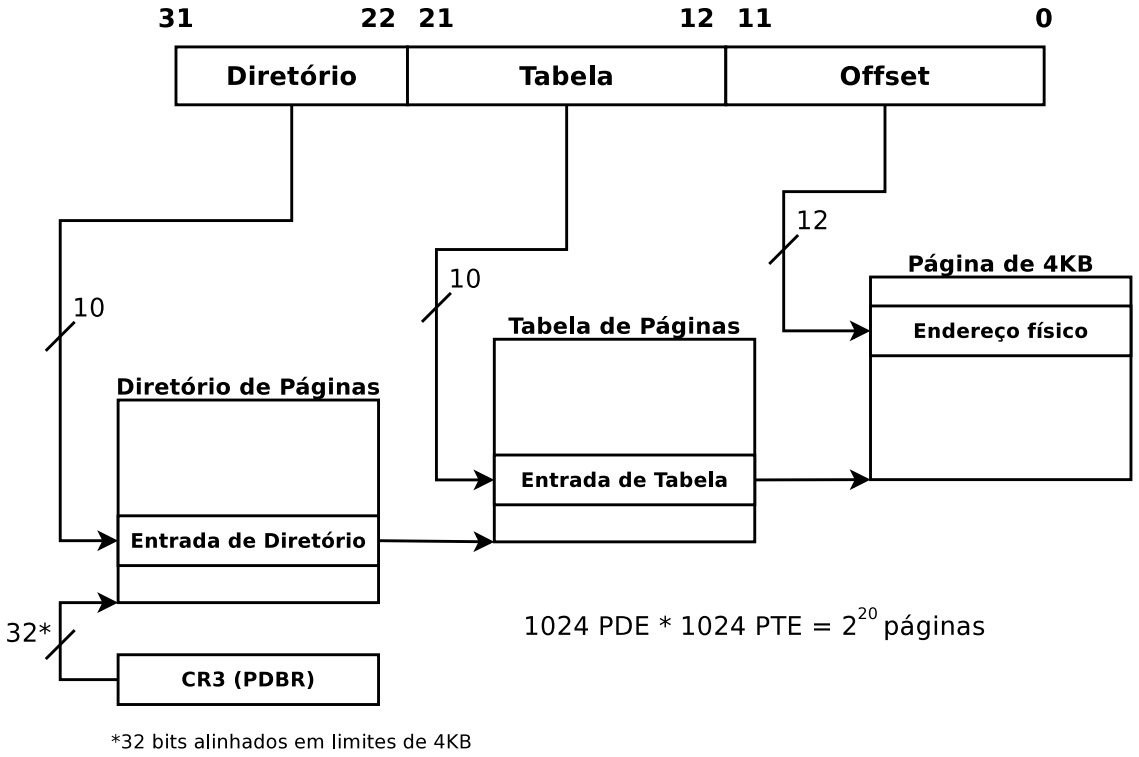
# Gerenciamento de Memória

Arquitetura IA-32 (x86):

- Modelos de Memória:
  - **Modelo plano**: A memória é vista como um espaço de endereço contínuo, pode endereçar até $2^{32} - 1$ bytes (4GB)
  - **Modelo Segmentado**: A memória é dividida em segmentos. Até 16383 segmentos são suportados, cada um podendo endereçar até $2^{36}$ bytes
  - **Modelo Modo de Endereço Real**: Memória dividia em segmentos de 64KB
- Os segmentos são descritos em uma **Tabela Global de Descritores** (GDT)
- Nota: Os segmentos podem se sobrepor!

# Arquitetura IA-32 (x86)

- Proteção de Memória:
  - Pode ser feita por segmentação (obsoleto)
  - Paginamento (atual):



# TempOS - Gerenciamento de Memória

- Alocação de páginas físicas: Pilha de páginas, basta empilhar ou desempilhar
- Alocação do espaço virtual de memória: Feita por mapa de bits. Cada bloco alocado contém um meta dado, indicando posição inicial/final e tamanho do bloco

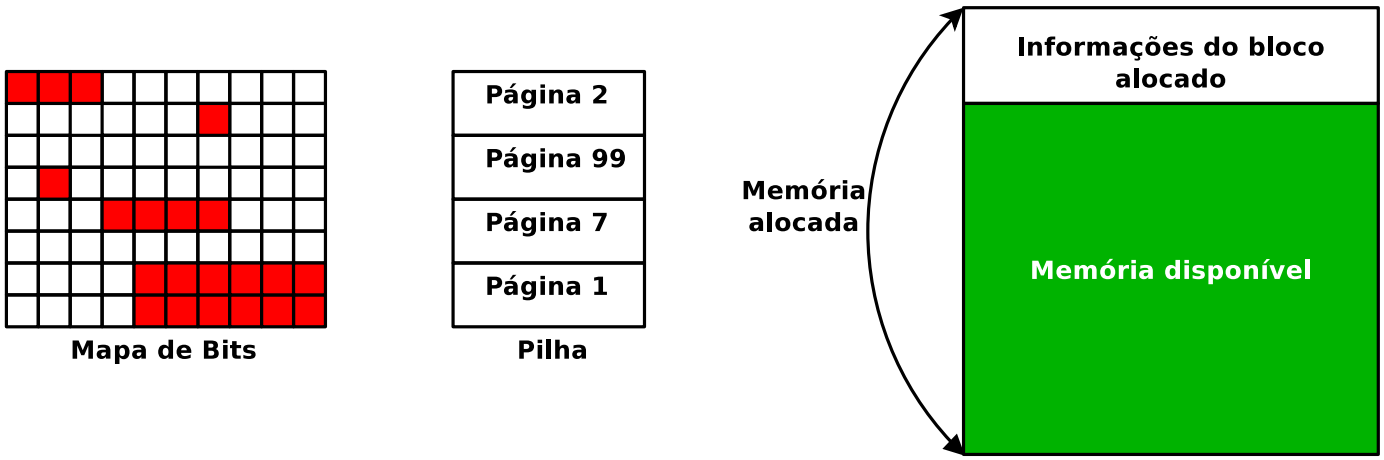



Figura: Estruturas de alocação de memória no TempOS

# TempOS - Gerenciamento de Memória

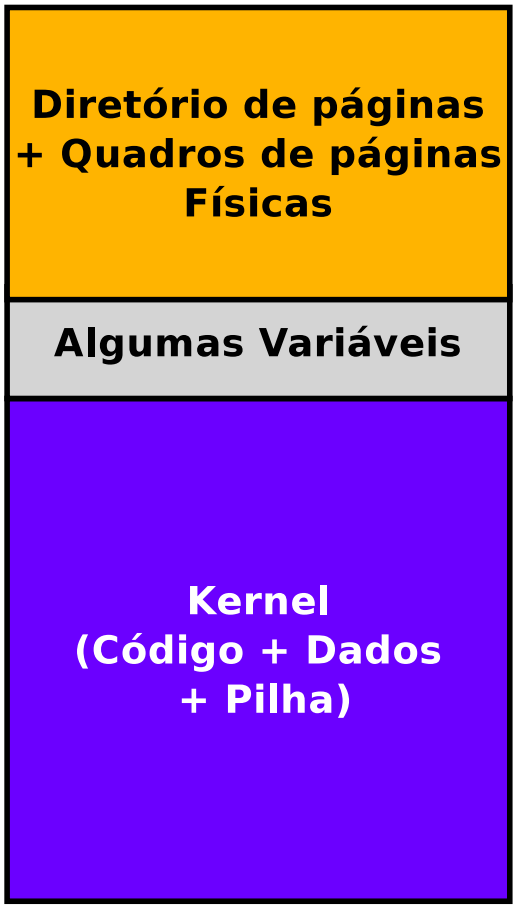



Figura: Imagem do núcleo do TempOS na memória

# TempOS - Build System

- Fácil de utilizar:
  - *make*: Compila o núcleo do TempOS
  - *make install*: Gera uma imagem de disco com o TempOS que pode ser iniciada em uma máquina real ou em um emulador
  - *make test*: Testa a imagem gerada com o emulador QEMU

# TempOS - Screenshot

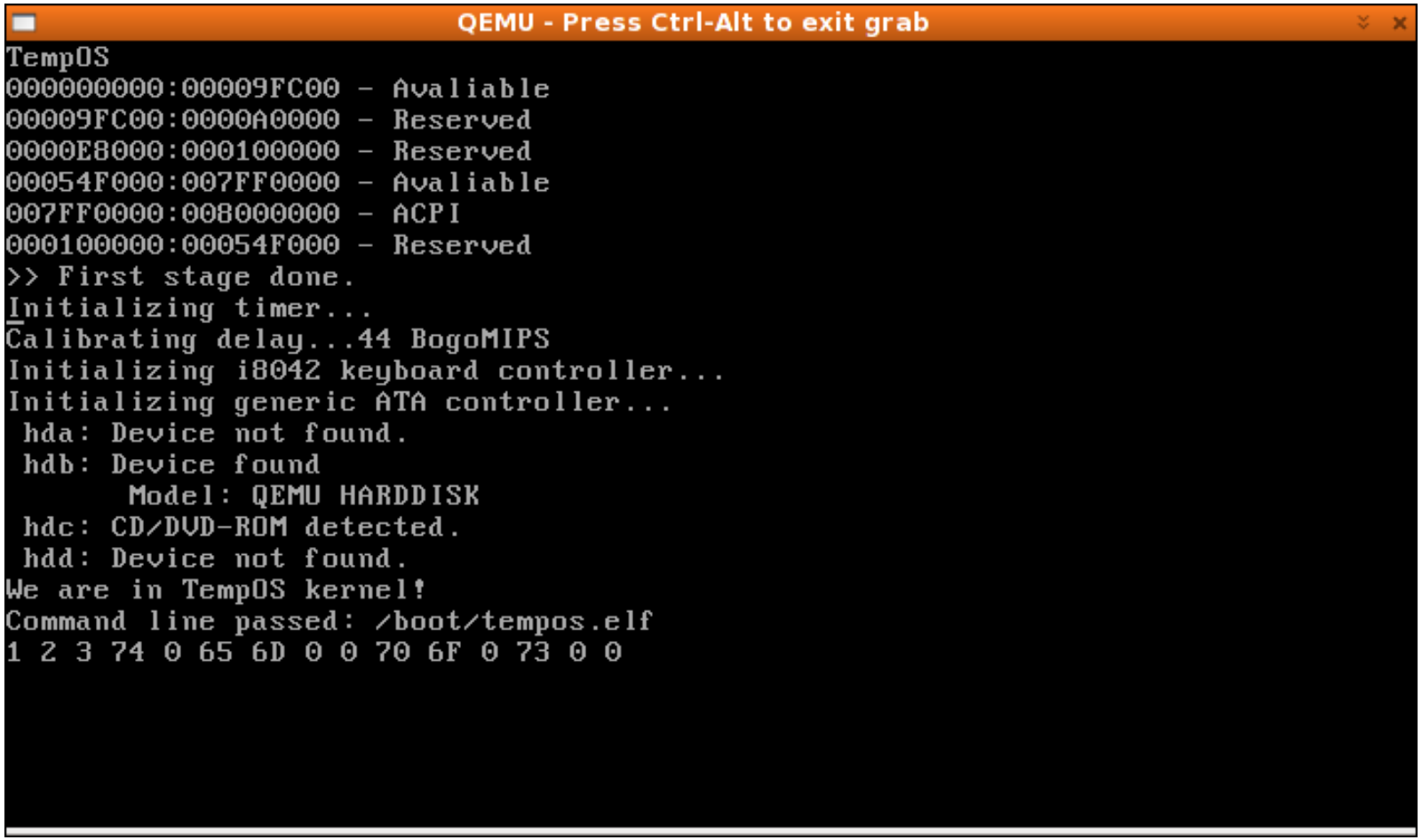



Figura: TempOS rodando no QEMU

# Próximos Passos

- Unificar a API do TempOS e definir todos os subsistemas do núcleo
- Desenvolver Sistema de Arquivos Virtual e suporte a EXT2 (em progresso)
- Drivers para SATA, chaveamento de processos
- Melhorar o gerenciador de memória
- Desenvolver mais chamadas de sistema
- Portar biblioteca C (newlib) para o TempOS
- Portar gcc para o TempOS e fazer o TempOS compilar a si mesmo!
- Desenvolver o material didático

# Para saber mais...

- Projeto TempOS: `http://www.tempos-project.org`
- USP osdev: `http://code.google.com/p/usp-osdev/`
- Bona fide OS developer: `http://www.osdever.net/`
- OS Dev wiki: `http://wiki.osdev.org/Main_Page`

Dúvidas?

Até Logo!

# Referências (1)


- ANDERSON, C. L.; NGUYEN, M. A survey of contemporary instructional operating systems for use in undergraduate courses. *J. Comput. Small Coll.*, Consortium for Computing Sciences in Colleges, , USA, v. 21, n. 1, p. 183–190, 2005. ISSN 1937-4771.
- CARISSIMO, J. XINU–an easy to use prototype for an operating system course. *ACM SIGCSE Bulletin*, ACM, v. 27, n. 4, p. 56, 1995.
- CHRISTOPHER, W.; PROCTER, S.; ANDERSON, T. The Nachos instructional operating system. In: USENIX ASSOCIATION. *Proceedings of the USENIX Winter 1993 Conference Proceedings on USENIX Winter 1993 Conference Proceedings*. [S.l.], 1993. p. 4.

# Referências (2)


- FANKHAUSER, G. et al. Topsy–a teachable operating system. *Computer Engineering and Networks Laboratory, ETH Zurich*, v. 2001, 1996.
- HOLLAND, D.; LIM, A.; SELTZER, M. A new instructional operating system. In: ACM. *Proceedings of the 33rd SIGCSE technical symposium on Computer science education*. [S.I.], 2002. p. 111–115.
- TANENBAUM, A. A UNIX clone with source code for operating systems courses. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, ACM, v. 21, n. 1, p. 29, 1987.
- TANENBAUM, A. S. *Sistemas Operacionais: projeto e implementação*. [S.I.]: Bookman, 2000.