

# Processamento de áudio digital em tempo real em dispositivos não convencionais.

Estudos de caso: Arduino, GPU e Android.

André Jucovsky Bianchi

Departamento de Ciência da Computação  
Instituto de Matemática e Estatística  
Universidade de São Paulo

21 de agosto de 2011

## Introdução

Hardware e Software  
para DSP  
Plataformas para  
estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

Este trabalho tem como objetivo:

- ▶ Explorar **limites** e **possibilidades** de processamento de áudio em tempo real utilizando dispositivos **acessíveis** em termos de custo e tecnologia.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP

Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma

Conclusões

## Introdução

Hardware e Software para DSP

Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma

Conclusões

# Processamento de áudio digital em tempo real

## Evolução do hardware

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

### Características da evolução dos circuitos para DSP:

- ▶ Influenciada pelos algoritmos desenvolvidos.
- ▶ Múltiplas unidades de execução.
- ▶ Eficiência no acesso à memória.
- ▶ Fidelidade numérica.
- ▶ Estrutura de *pipeline*.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Processamento de áudio digital em tempo real

## Exemplos de software

### Exemplos de trabalhos artísticos:

- ▶ Cypher (1992).
- ▶ Voyager (1992).

### Ferramentas publicadas sob licenças livres:

- ▶ CSound (1985, LGPL).
- ▶ [Pure Data](#) (1996, BSD).
- ▶ SuperCollider (1996, GPL).

### Outras ferramentas:

- ▶ MAX/MSP (1985, 699 USD).
- ▶ Reaktor (1996, 399 USD).
- ▶ Usine (120 EUR).

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

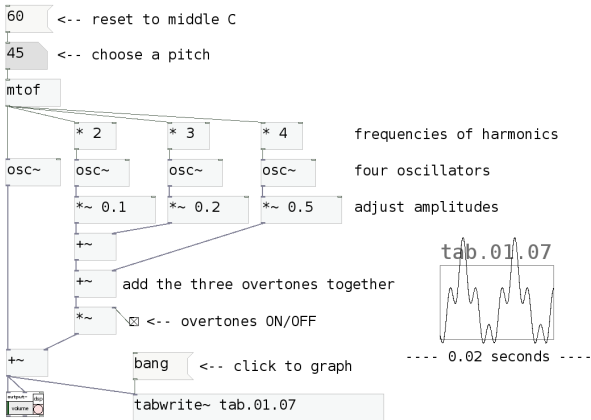
# Processamento de áudio digital em tempo real

Pure Data (Pd)

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Adding sinusoids to make a complex tone



## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

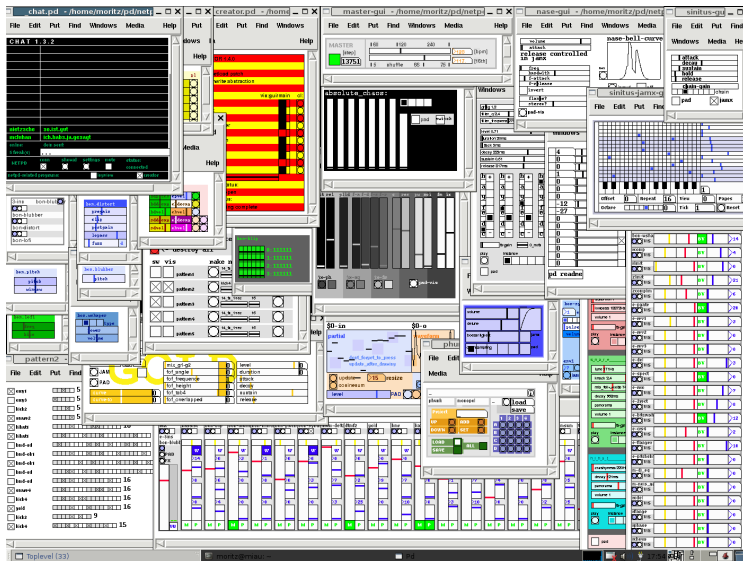
Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Processamento de áudio digital em tempo real

## Pure Data (Pd)

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi



## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



# Processamento de áudio digital em tempo real

Pure Data (Pd)

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

## Características do Pd:

- ▶ Interface com inúmeros dispositivos.
- ▶ Extensível em C.
- ▶ Licença livre.
- ▶ Comunidade (suporte, código e manutenção).

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Critérios utilizados para a escolha das plataformas:

- ▶ Dispositivos cujo foco principal não é DSP.
- ▶ Baixo custo (de produção ou de compra).
- ▶ Facilidade de obtenção.
- ▶ Licenças de uso.
- ▶ Versatilidade e complementaridade.
- ▶ Interface com outros dispositivos.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

Escolhemos três classes de dispositivos:

- ▶ Microcontroladores: [Arduino](#).
- ▶ Processadores paralelos: [GPU](#).
- ▶ Dispositivos móveis: [Android OS](#).

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

Veremos nesta apresentação:

- ▶ Características gerais de cada plataforma.
- ▶ Como utilizá-las para processamento de áudio em tempo real.
- ▶ Propostas de estudo e tarefas em andamento.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

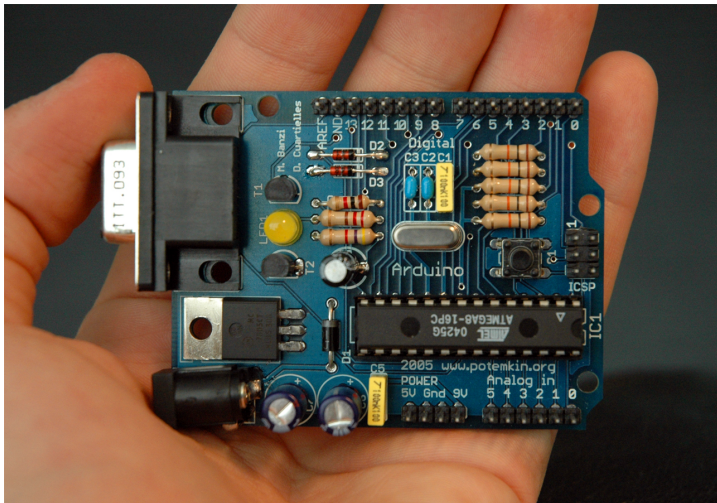


Figura: Um Arduino.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Arduino

## Características

- ▶ Estrutura minimal para interface com um **microcontrolador**.
- ▶ Baixo custo: **20-50 USD** se for comprado.
- ▶ Licenciamento livre:
  - ▶ Projetos de hardware: **Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5**.
  - ▶ Software: **GPL** (IDE) e **GPL** (bibliotecas C/C++).
  - ▶ Documentação: **Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0**.
- ▶ **Comunidade** grande e ativa.
- ▶ **Interface** com outros dispositivos.
- ▶ **Mobilidade**.
- ▶ **Expansibilidade** através de “escudos” (*shields*).

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



### Histórico do projeto Arduino:

- ▶ 2001 - Processing (MIT Media Lab): **linguagem de programação (e IDE)** voltada para a utilização nas **artes eletrônicas** e no **ensino de computação**.
- ▶ 2003 - Wiring (Interaction Design Institute Ivrea): Processing + **projetos de hardware**.
- ▶ 2005 - Arduino: fork do projeto Wiring, **mais simples e mais barato**.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

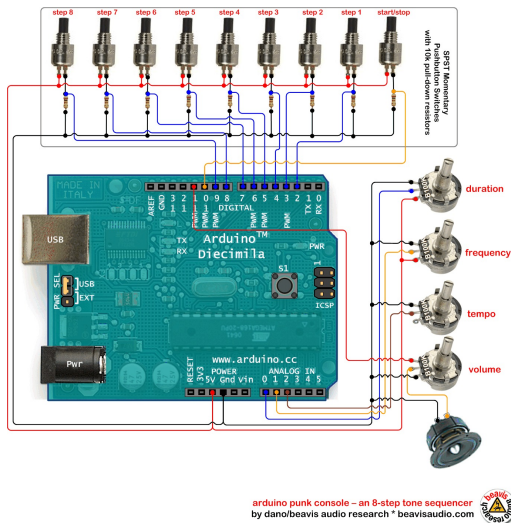


Figura: Projeto de um sequenciador programável.

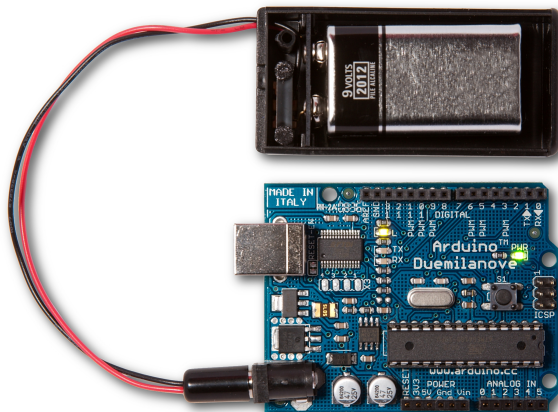


Figura: Arduino alimentado por bateria.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

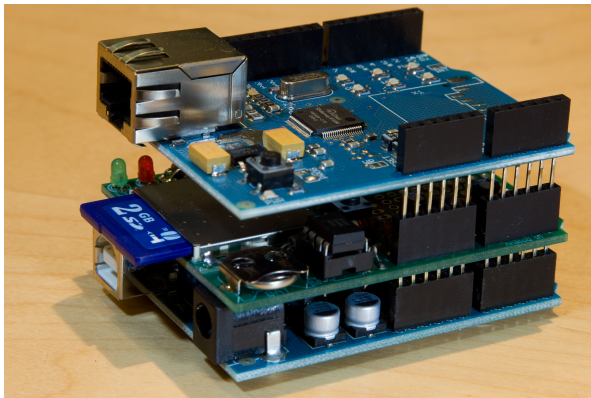


Figura: Servidor web utilizando *escudos*.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

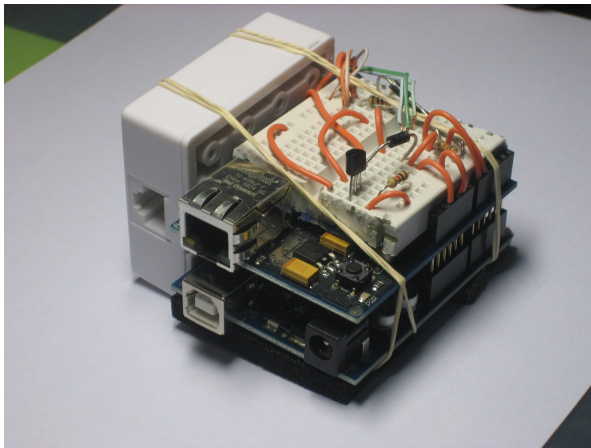


Figura: Sensor de temperatura com interface web.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



Figura: Escultura que pede doações.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

### Apresentação

Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



Figura: Instrumento musical baseado em bombas de encher pneu.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



Figura: Painel de LEDs: persistência de imagem, um cachorro e um romance.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



# Arduino

Outros exemplos de uso da plataforma

<http://www.arduino.cc/playground/Projects/ArduinoUsers>

- ▶ Instrumentos musicais (convencionais ou não).
- ▶ Controladores de dispositivos.
- ▶ Jogos.
- ▶ Clones de produtos comerciais.
- ▶ Robôs (terrestres, voadores, cibernéticos).
- ▶ Impressoras 3D.

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Arduino

ADC e DAC nativos no microcontrolador

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

**Amostragem** de um sinal de entrada utilizando ADC do microcontrolador:

- ▶ Até 10 bits de resolução.
- ▶ 100  $\mu$ s para obtenção de uma amostra.
- ▶ 10.000 Hz de taxa de amostragem.

**Geração** de sinais de áudio:

- ▶ PWM com resolução de 8 bits.
- ▶ Frequências até 500 Hz.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Arduino

## Outras possibilidades de ADC e DAC

Outras possibilidades de captura e geração de sinais:

- ▶ **Escudos** específicos para entrada e saída de áudio.
- ▶ **Interface** com outros dispositivos.
- ▶ **Placa de som** baseada em Arduino: drivers ALSA e escudo para entrada e saída de áudio.

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Arduino com Pure Data

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

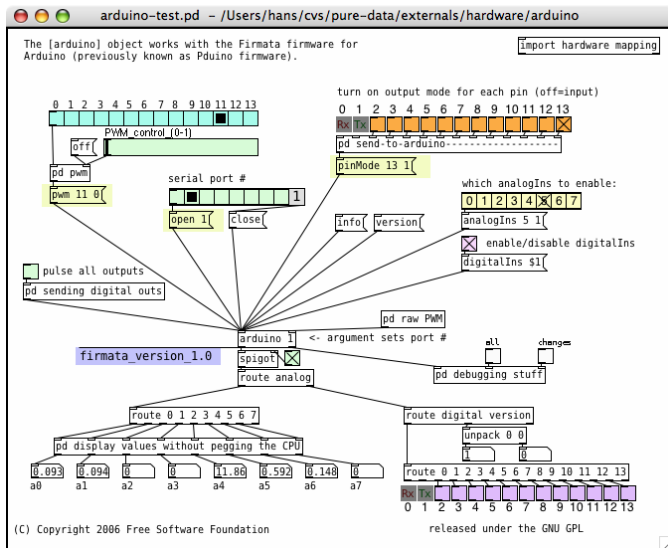
Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



### Processamentos leves:

- ▶ Filtros básicos de realce de graves e agudos.
- ▶ Equalização utilizando polos e zeros como descritores de regiões de ressonância e antirressonância em filtros IIR de ordem baixa.
- ▶ Efeitos simples (overdrive, phaser, wah-wah).
- ▶ Cálculo em blocos.
- ▶ Detecção de descritores de baixo nível, como frequência fundamental, energia RMS, centróide espectral, MFCC, etc.
- ▶ Detecção de descritores psicoacústicos como brilho, harmonicidade, ruidosidade, etc.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

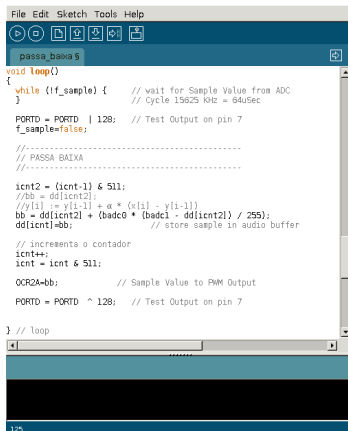
Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



```
File Edit Sketch Tools Help
passa_baixa 5
void loop()
{
  while (!if_sample) { // wait for Sample Value from ADC
  } // Cycle 15625 kHz = 64uSec

  PORTD = PORTD | 128; // Test Output on pin 7
  f_sample=false;

  //-----
  // PASSA BAIXA
  //-----

  icnt2 = (icnt-1) & 511;
  //bb = dd[icnt2];
  //y[i] := y[i-1] +  $\alpha$  * (x[i] - y[i-1])
  bb = dd[icnt2] + (badc0 * (badc1 - dd[icnt2]) / 255);
  dd[icnt]=bb; // store sample in audio buffer

  // incrementa o contador
  icnt++;
  icnt = icnt & 511;

  OCR2A=bb; // Sample Value to PWM Output
  PORTD = PORTD ^ 128; // Test Output on pin 7
} // loop
```

Figura: IDE e filtro passa-baixas.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



# GPU: Graphics Processing Unit

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi



Figura: Placa com GPU.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

GPU e sistemas gráficos tradicionais

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Uma **cena virtual** é composta de:

- ▶ Geometria.
- ▶ Orientação.
- ▶ Propriedades da superfície dos objetos.
- ▶ Características das fontes de luz.

Uma **visão** de uma cena virtual é descrita pela localização de uma câmera virtual.

Um **sistema gráfico** gera imagens que representam visões de uma cena virtual.

**GPU** é um processador que implementa um sistema gráfico.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

## Pipeline gráfica

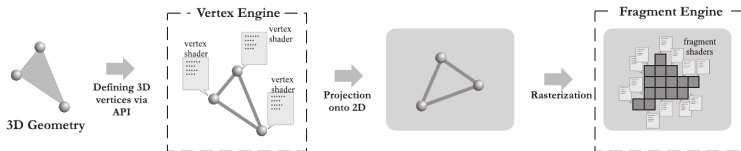


Figura: Pipeline de renderização 3D.

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

Motivação: sistemas gráficos tradicionais

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Características dos sistemas gráficos:

- ▶ Alto **requerimento computacional**.
- ▶ Alto grau de **paralelismo**.
- ▶ Alta **taxa** de fluxo de dados.

Questões críticas em sistemas gráficos:

- ▶ Computação versus **comunicação**.
- ▶ Computação versus **controle**.
- ▶ **Paralelismo** de dados e de tarefas.
- ▶ Balanço entre **funções fixas** e **unidades programáveis**.
- ▶ **Performance** versus **flexibilidade**.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

## Comparação entre CPU e GPU

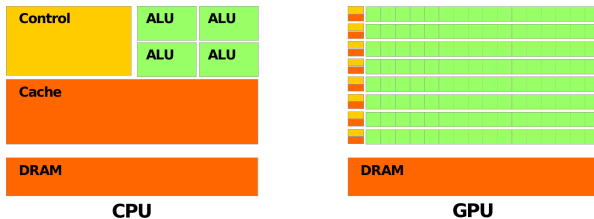


Figura: A GPU devota mais transistores para processamento do que para controle de fluxo e endereçamento.

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

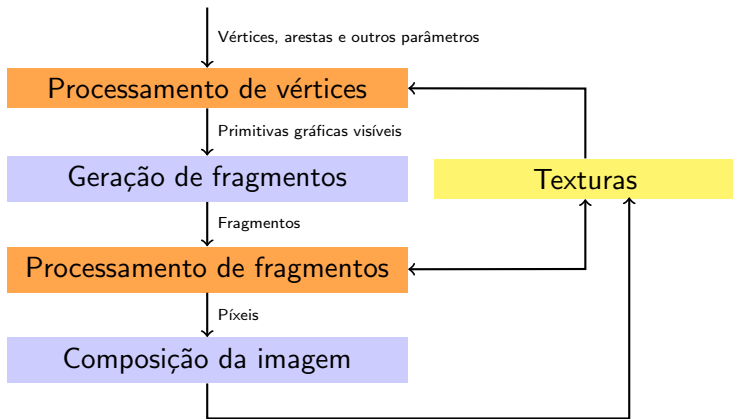
Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

## Pipeline gráfica



DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

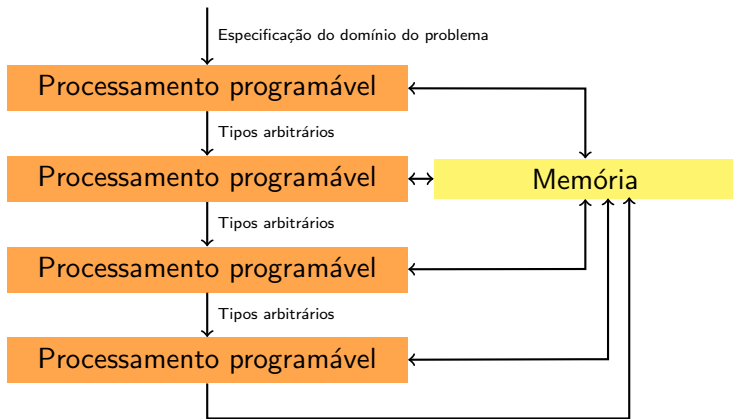
Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

Processamento de propósito geral utilizando o modelo de fluxo de dados



DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Técnicas de programação para GPU (1/3)

GPU para gráficos

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

Geração de imagens:

- ▶ **Entrada:** vértices, arestas e texturas.
- ▶ **Processamento:** funções fixas e programáveis para processamento de vértices, primitivas e fragmentos.
- ▶ **Saída:** Fluxo de imagens para exibição na tela.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



# Técnicas de programação para GPU (2/3)

GPU para programação de propósito geral

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Programação de propósito geral (modelo antigo):

- ▶ **Entrada:** vértices, arestas e texturas **que representam tipos de dados em um domínio de computação de interesse.**
- ▶ **Processamento:** funções fixas e programáveis para processamento de vértices, primitivas e fragmentos.
- ▶ **Saída:** áreas de memória com os resultados das operações.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Técnicas de programação para GPU (3/3)

## GPU para programação de propósito geral

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

Programação de propósito geral (modelo recente):

- ▶ **Entrada:** especificação da computação através de modelo de **fluxo de dados**.
- ▶ **Processamento:** aplicação das funções nos fluxo de dados de entrada realizando paralelismo de tarefas e de dados.
- ▶ **Saída:** fluxo de dados resultante.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

### Exemplos de domínios mapeados para GPU:

- ▶ Processamento de sinais.
- ▶ Simulações biológicas.
- ▶ Simulações físicas.
- ▶ Métodos de álgebra linear.
- ▶ Métodos de equações diferenciais.
- ▶ Indexação e busca.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Trabalhos relacionados:

- ▶ [FFT paralela.](#)
- ▶ DCT paralela.
- ▶ DWT paralela.
- ▶ Áudio 3D.
- ▶ GPGPU e arcabouços para processamento de fluxos de dados.
- ▶ Integração com Pure Data.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

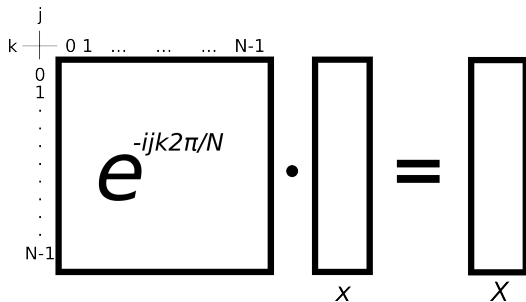
# Programação de propósito geral usando GPU

Exemplo: Transformada de Fourier

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky  
Bianchi

$$X_j = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cdot e^{-ijk2\pi/N}$$



## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

Propostas de estudo

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Processamentos computacionalmente pesados:

- ▶ Morphing em tempo real.
- ▶ Phase Vocoder com análise e ressíntese em tempo real.
- ▶ Auralização utilizando respostas impulsivas medidas ou simulação através de modelos geométricos.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# GPU: Graphics Processing Unit

Estudos em andamento

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi



Pesquisa em andamento: [PdCUDA](#).

- ▶ Interface de Pd com CUDA.
- ▶ Avaliação de performance.
- ▶ GPGPU, processamento de fluxos de dados e Pd.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



Figura: Android rodando em um tablet.

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Sistema operacional **Android**:

- ▶ Sistema desenvolvido desde 2003 e comprado em 2005 pelo **Google Inc.**
- ▶ Kernel do **Linux**.
- ▶ **Drivers** para muitos dispositivos.
- ▶ Aplicativos e API em **Java** (máquina virtual própria).
- ▶ **Conectividade**: 3G, GSM, WiFi, etc.
- ▶ **Sensores**: 3G, GSM, WiFi, câmera, GPS, bússola, acelerômetro, etc.
- ▶ Licenças:
  - ▶ **Apache Software License 2.0** (maior parte do projeto).
  - ▶ Kernel e patches: **GPL 2.0**.
  - ▶ Drivers e outros pedaços de código proprietários.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Android

## Organização em camadas



DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

### Aspectos básicos da programação para Android:

- ▶ Arquivo de manifesto com **declaração dos recursos** utilizados e disponibilizados.
- ▶ Componentes:
  - ▶ atividade.
  - ▶ serviço.
  - ▶ receptor de mensagens.
  - ▶ provedor de conteúdo.
- ▶ Acesso via **mensagens de intenção** e **resolvedor de conteúdos**
- ▶ **Permissões** controladas pelo usuário.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

Característica do sistema relevantes para nosso estudo:

- ▶ O modelo de programação de aplicativos é relativamente engessado.
- ▶ Flexibilização:
  - ▶ Obtenção de controle sobre o sistema e o aparelho.
  - ▶ Flexibilidade: ramificações livres do projeto.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

A biblioteca **libpd** empacota as funções do Pd e:

- ▶ separa as funções de DSP da interface gráfica e de drivers;
- ▶ transforma o Pd em uma biblioteca de síntese e processamento de áudio; e
- ▶ permite a comunicação com código em outros ambientes.

Já existem versões para Android e iOS:

- ▶ <http://gitorious.org/pdlib>

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões



Outras iniciativas de processamento de áudio em tempo real no Android:

- ▶ Processamento e transmissão de vídeo.
- ▶ mixDroid.

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

### Processamentos de dificuldade média:

- ▶ **Efeitos** diversos (pitch shifting, flanger, companders, vibrato, chorus).
- ▶ **Reverberação** e **espacialização**.
- ▶ Processamento de **voz** durante ligações.

#### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

#### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

#### Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Estrutura da apresentação

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

### Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

### Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

### Próximos passos e conclusões

**Tarefas e cronograma**  
Conclusões

Algumas tarefas em andamento:

- ▶ Interação com as plataformas.
- ▶ Filtros e cálculo em blocos no Arduino.
- ▶ PdCUDA (*benchmarking*).

Próximas tarefas:

- ▶ Definição dos algoritmos e escopo específico do estudo.
- ▶ Implementações diversas.
- ▶ Avaliação da performance e obtenção de resultados.

## Introdução

Hardware e Software  
para DSP  
Plataformas para  
estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP,  
propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Cronograma

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

	08/11	09/11	10/11	11/11	12/11	01/12	02/12
Testes preliminares							
Escolha dos algoritmos							
Implementações							
Testes finais e resultados							
Redação de artigos							
Redação do texto final							

Defesa: 03/2012.

# Estrutura da apresentação

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

- ▶ É possível utilizar hardware acessível para processamento de áudio digital em tempo real.



## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões

# Obrigado pela atenção.

DSP em tempo real utilizando dispositivos não convencionais

André Jucovsky Bianchi

Dados de contato:

- ▶ Meu email: [ajb@ime.usp.br](mailto:ajb@ime.usp.br)
- ▶ Esta apresentação: <http://www.ime.usp.br/~ajb/>
- ▶ CM no IME: <http://compmus.ime.usp.br/>

## Introdução

Hardware e Software para DSP  
Plataformas para estudo de caso

## Arduino

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## GPU

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Android

Apresentação  
Uso em DSP, propostas e estudos

## Próximos passos e conclusões

Tarefas e cronograma  
Conclusões