

# Perceção 3D utilizando uma câmara estéreo

Tiago Talhada

Universidade de Aveiro

13 de Julho de 2012

## Introdução

ATLAS  
Objetivos

## Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

## Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

## Resultados

## Conclusões

# Introdução

## Introdução

### ATLAS

#### Objetivos

#### Aquisição

##### Sensor

##### Cálculo

##### estéreo

##### Reconstrução 3D

##### Calibração

##### Verificação

#### Proc. 3D

##### Sistemas de Coordenadas

##### Filtragem

##### Plano do chão

##### Segmentação euclidiana

##### Crescimento de regiões

#### Resultados

#### Conclusões



## Introdução

### ATLAS

#### Objetivos

#### Aquisição

Sensor

Cálculo

estéreo

Reconstrução

3D

Calibração

Verificação

#### Proc. 3D

Sistemas de

Coordenadas

Filtragem

Plano do

chão

Segmentação

euclidiana

Crescimento

de regiões

#### Resultados

#### Conclusões



Introdução

ATLAS

**Objetivos**

Aquisição

Sensor

Cálculo  
estéreo

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

- Melhoria da qualidade do sistema de aquisição estéreo.

Introdução

ATLAS

**Objetivos**

Aquisição

Sensor

Cálculo  
estéreo

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

- Melhoria da qualidade do sistema de aquisição estereo.
- Interpretação de dados tridimensionais para segmentação e localização de obstáculos.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

**Aquisição**

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

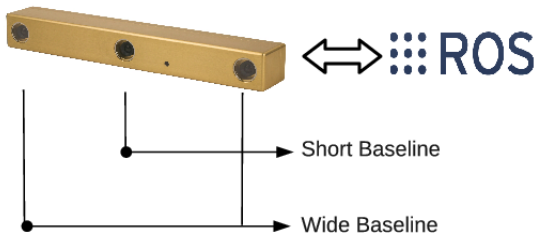
Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

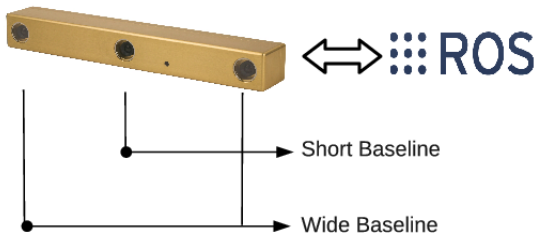
Resultados

Conclusões

# Aquisição Estéreo







- Sensor *Bumblebee XB3* com três câmaras.
- Dois *baselines* (120 e 240mm).
- 3 imagens com resolução máxima de 1280x960 a 16Hz.
- Interface IEEE-1394b.



- Obstáculo a vermelho: próximo  $\Rightarrow$  maior disparidade
- Obstáculo a verde: longínquo  $\Rightarrow$  menor disparidade





## Etapas de cálculo de correspondência

- Pré filtragem de dados para enaltecimento da textura e normalização das imagens.
- Cálculo da disparidade através do algoritmo da soma das diferenças absolutas.
- Pós filtragem para reduzir as zonas de má correspondência.

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

**Cálculo  
estéreo**

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

**Cálculo  
estéreo**

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

**Cálculo  
estéreo**

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

**Cálculo  
estéreo**

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



## Soma das diferenças absolutas

**Modelo**

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

**Zona de Procura**

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

$$|2 - 2| = 0$$

$$|1 - 4| = 3$$

$$|7 - 8| = 1$$

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

**Cálculo  
estéreo**

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

$$|2 - 2| = 0$$

$$|1 - 4| = 3$$

$$|7 - 8| = 1$$

Esquerda

$$\begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \\ 3 & 7 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

20

Centro

$$\begin{bmatrix} 5 & 0 & 3 \\ 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

25

Direita

$$\begin{bmatrix} 3 & 3 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

17

## Soma das diferenças absolutas

Modelo

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ 4 & 0 & 7 \\ 7 & 5 & 9 \end{bmatrix}$$

Zona de Procura

$$\begin{bmatrix} 2 & 7 & 5 & 8 & 6 \\ 1 & 7 & 4 & 2 & 7 \\ 8 & 4 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

$$|2 - 2| = 0$$

$$|1 - 4| = 3$$

$$|7 - 8| = 1$$

Esquerda

$$\begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \\ 3 & 7 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

20

Centro

$$\begin{bmatrix} 5 & 0 & 3 \\ 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

25

Direita

$$\begin{bmatrix} 3 & 3 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

17

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo

**Reconstrução  
3D**

Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem

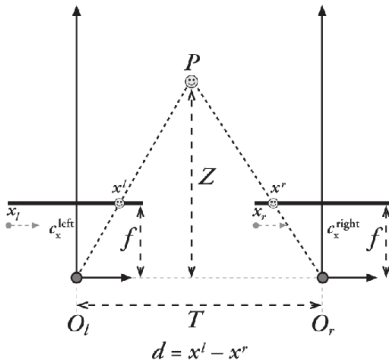
Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo

**Reconstrução  
3D**

Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem

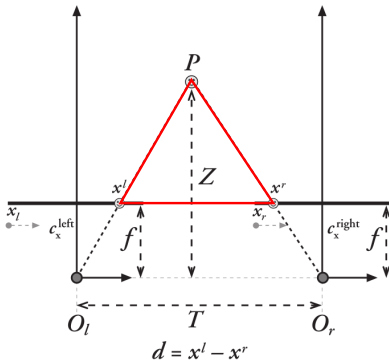
Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo

**Reconstrução  
3D**

Calibração  
Verificação

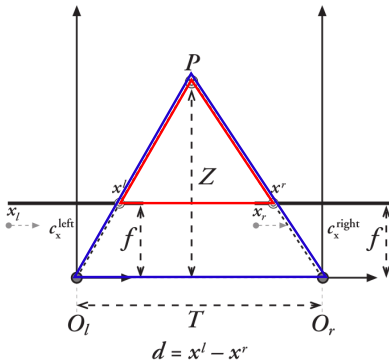
Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo

**Reconstrução  
3D**

Calibração  
Verificação

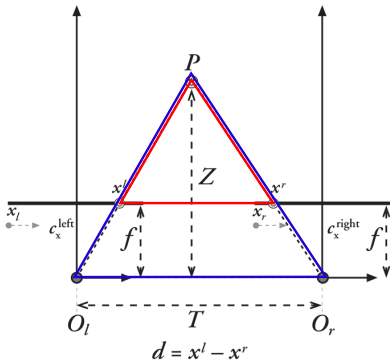
Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



$$Z = \frac{f \times T}{d}$$

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo

**Reconstrução  
3D**

Calibração  
Verificação

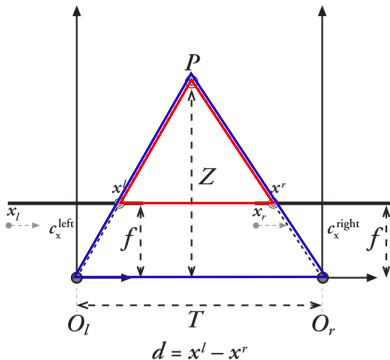
Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão

Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

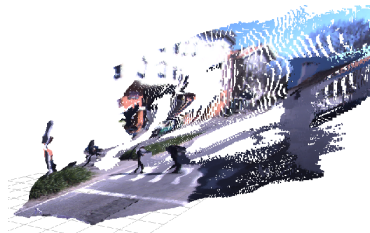
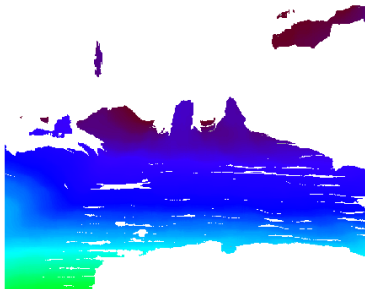
Conclusões



$$Z = \frac{f \times T}{d}$$

$$Q \begin{bmatrix} x \\ y \\ d \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & 0 & -c_y \\ 0 & 0 & 0 & f \\ 0 & 0 & \frac{-1}{T_x} & \frac{(c_x - c'_x)}{T_x} \end{bmatrix}$$

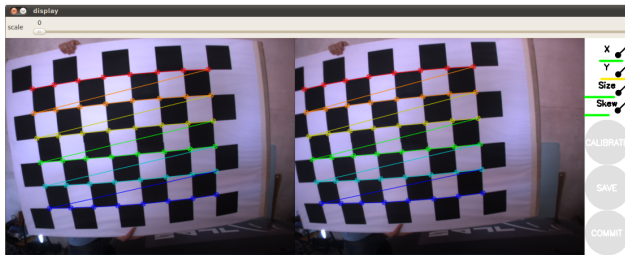




## Mapa de disparidade e reconstrução 3D.

- As três etapas fundamentais de cálculo são controlados por um conjunto de nove parâmetros.
- Os valores dependem da aplicação pretendida e das condições de luminosidade.
- Os parâmetros foram ajustados para melhoramento de resultados.

# Processo de calibração



x — Horizontal  
y — Vertical  
Size — Profundidade  
Skew — Inclinação

Tiago  
Talhada

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D

**Calibração**  
Verificação

Proc. 3D

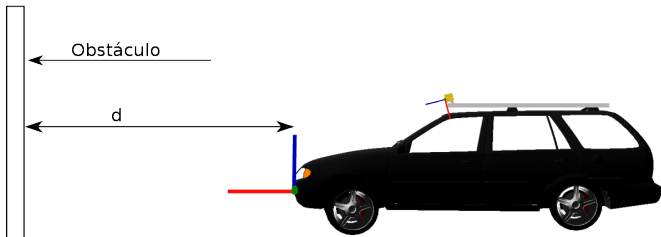
Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

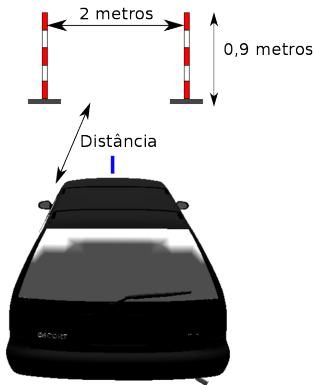
Conclusões

# Processo de calibração

The image displays two screenshots of a camera calibration software interface. The top screenshot shows a checkerboard pattern with colored lines (red, yellow, green, blue) overlaid on it. A legend on the right side identifies the parameters: x (Horizontal), y (Vertical), Size (Profundidade), and Skew (Inclinação). Below the legend are three buttons: CALIBRATE, SAVE, and COMMIT. The bottom screenshot shows the same checkerboard pattern, but with a 'scale' slider at the top right set to 100 and a 'epi.' value of 0.14. The buttons are also present in the bottom screenshot.



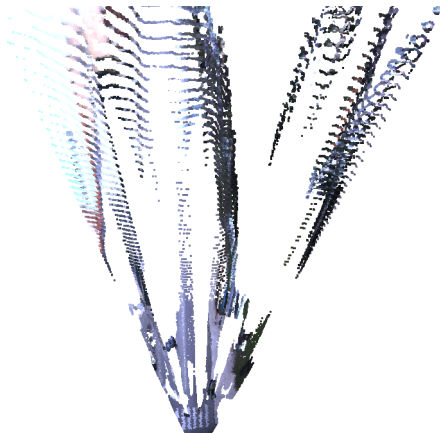
- Profundidade ( $d$ ) e qualidade de superfícies.



- Altura e largura.

$$Z = \frac{f \times T}{d}$$

- O *wide baseline* é preferível para  $d > 5m$ .
- Para  $d > 20m$  a informação é demasiado distorcida.



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

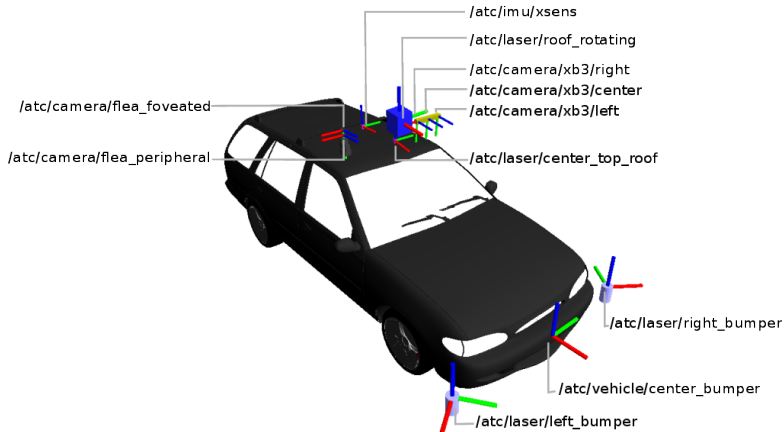
**Proc. 3D**

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

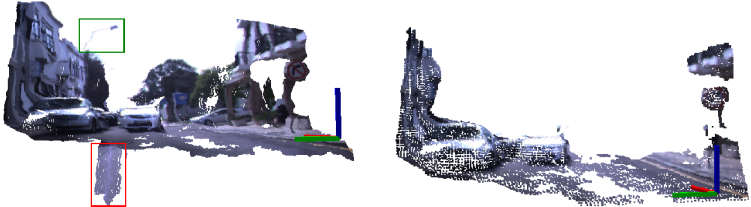
# Processamento Tridimensional



`/atc/SENSOR`  $\Rightarrow$  `/atc/vehicle/center_bumper`



- Introdução
- ATLAS
- Objetivos
- Aquisição
- Sensor
- Cálculo estéreo
- Reconstrução 3D
- Calibração
- Verificação
- Proc. 3D
- Sistemas de Coordenadas
- Filtragem**
- Plano do chão
- Segmentação euclidiana
- Crescimento de regiões
- Resultados
- Conclusões



- Redução da quantidade de dados.
- Remoção de zonas de pouco interesse (verde).
- Remoção de zonas de mau cálculo de disparidade (vermelho).

Introdução

ATLAS

Objetivos

Aquisição

Sensor

Cálculo  
estéreo

Reconstrução  
3D

Calibração

Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas

Filtragem

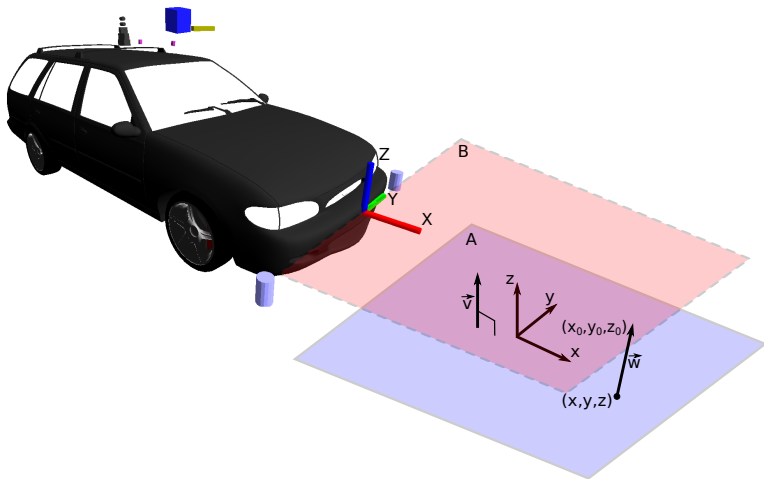
**Plano do  
chão**

Segmentação  
euclidiana

Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



## Deteção do plano do chão



- Aplicação RANSAC (*Random Sample Consensus*) para determinar  $ax + by + cz + d = 0$ .
- Determinação de um referencial solidário com o plano.
- Margem de extração de pontos.
- Robustez na presença de múltiplos planos.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

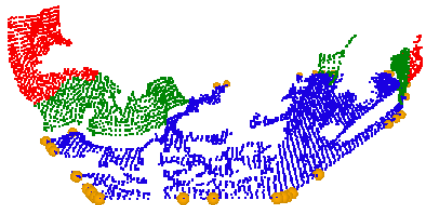
Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem

**Plano do  
chão**

Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões



- Projeção dos pontos no plano médio do chão.
- Cálculo do *convex hull*.
- Volume de extração de pontos na zona navegável.

- Implementação em PCL.
- Análise da distância entre conjuntos de pontos.
- Exige o processamento de todos os pontos.
- Não permite resoluções muito elevadas.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
**Crescimento  
de regiões**

Resultados

Conclusões

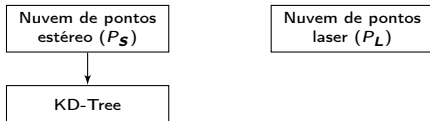
- Segmentação euclidiana aos dados bidimensionais (lasers).
- Aplicação do algoritmo de crescimento de regiões.

# Crescimento de regiões

Nuvem de pontos  
estéreo ( $P_S$ )

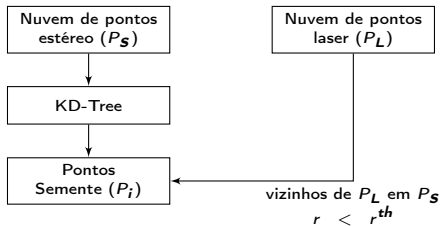
Nuvem de pontos  
laser ( $P_L$ )

# Crescimento de regiões

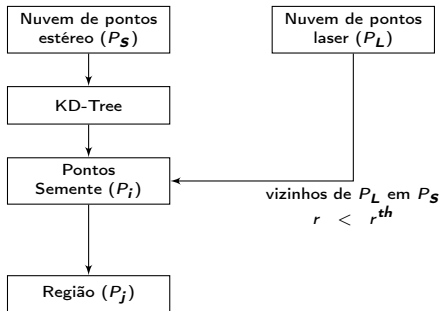




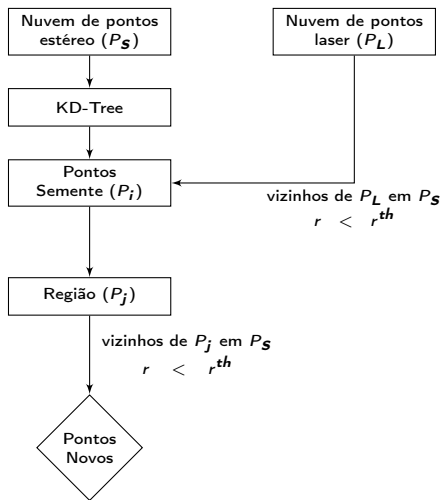
# Crescimento de regiões



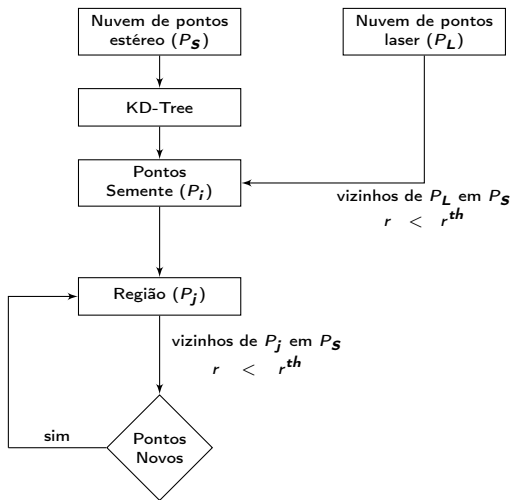
# Crescimento de regiões



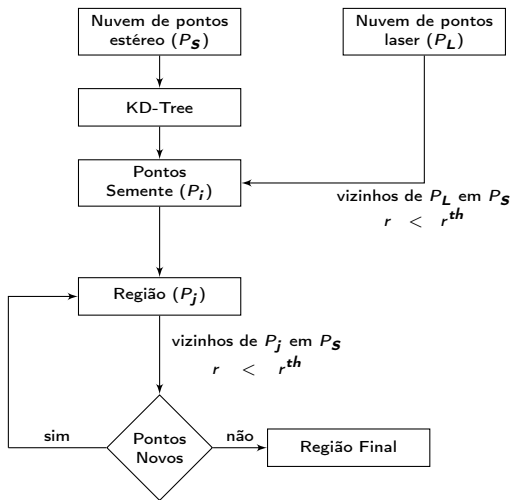
# Crescimento de regiões



# Crescimento de regiões



# Crescimento de regiões



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

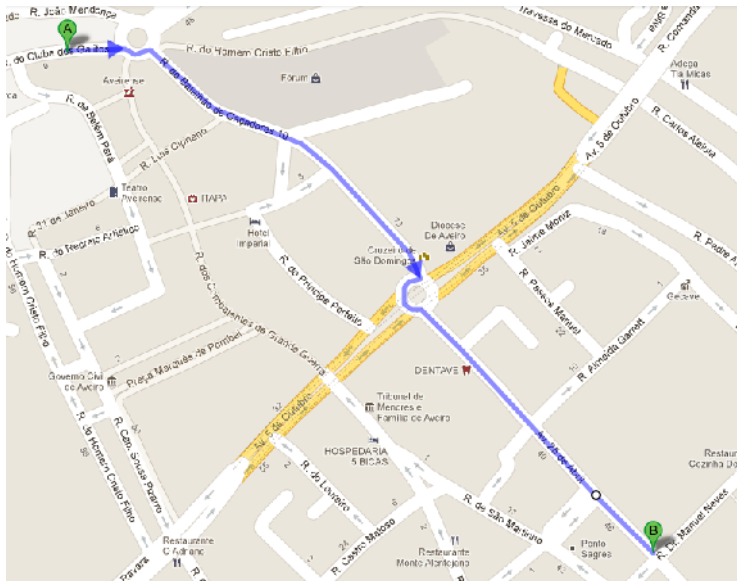
Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

**Resultados**

Conclusões

# Resultados



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

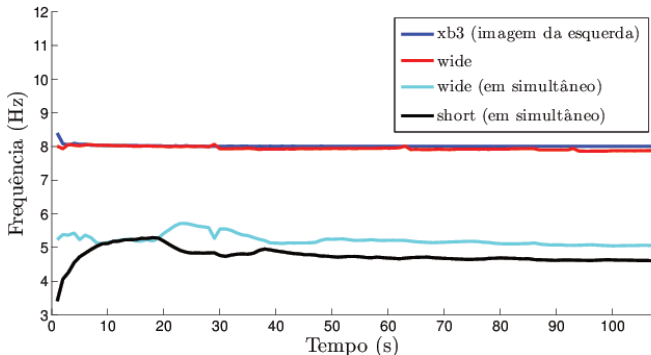
Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

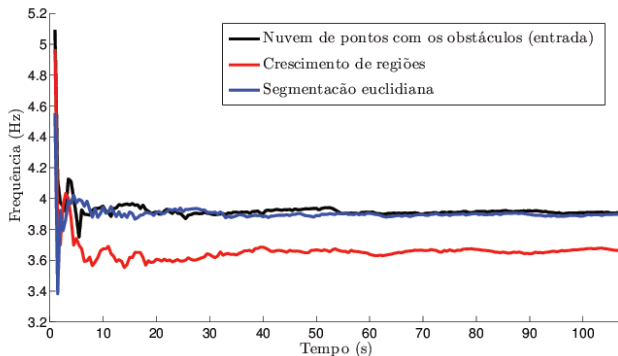
Conclusões



Utilização dos *baselines* em simultâneo condicionado ao custo computacional.

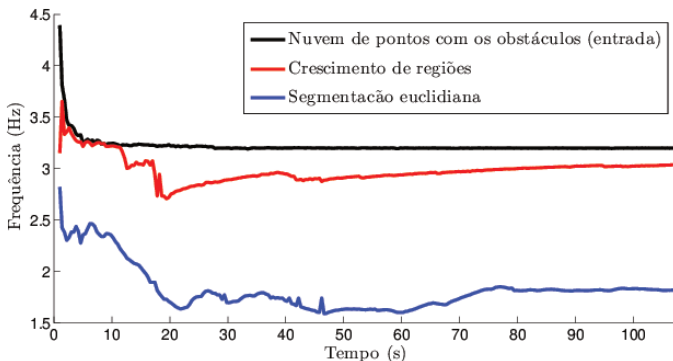


# Segmentação euclidiana e crescimento de regiões.



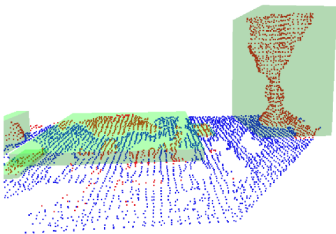
- *Voxels* com resolução de 20cm (média de 873 pontos).
- Segmentação euclidiana com taxa média de 3.9Hz.
- Crescimento de regiões com taxa média de 3.66Hz.

# Segmentação euclidiana e crescimento de regiões.

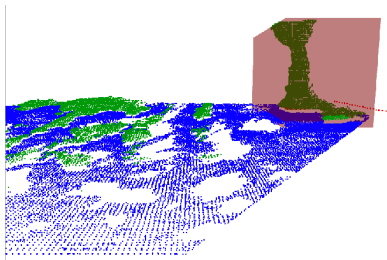


- *Voxels* com resolução de 5cm (média de 6976 pontos).
- Segmentação euclidiana com taxa média de 1.82Hz.
- Crescimento de regiões com taxa média de 2.98Hz.

# Segmentação euclidiana e crescimento de regiões.



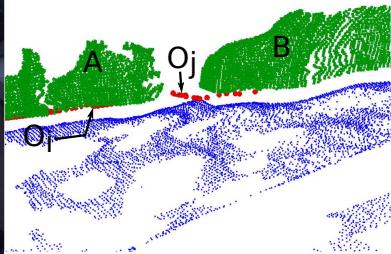
Segmentação euclidiana.



Crescimento de regiões.

Falhas no cálculo estéreo condicionam a segmentação.

# Segmentação euclidiana e crescimento de regiões.



$O_i$  expande para  $B$ , e  $O_j$  cresce para  $A \cap B$ .

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

**Conclusões**

## Conclusões

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

**Conclusões**

## Conclusões

- Importância da calibração e do ajuste dos parâmetros estéreo.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Conclusões

- Importância da calibração e do ajuste dos parâmetros estéreo.
- RANSAC satisfatório. Necessidade de segmentação de estrada em vez do plano do chão.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Conclusões

- Importância da calibração e do ajuste dos parâmetros estéreo.
- RANSAC satisfatório. Necessidade de segmentação de estrada em vez do plano do chão.
- Sucesso na implementação de um algoritmo de crescimento de regiões.



Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

**Conclusões**

## Trabalho Futuro

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Trabalho Futuro

- Otimização do software da XB3 (cálculo estéreo e calibração).

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Trabalho Futuro

- Otimização do software da XB3 (cálculo estéreo e calibração).
- Estudo dos mapas de disparidade.

Introdução

ATLAS  
Objetivos

Aquisição

Sensor  
Cálculo  
estéreo  
Reconstrução  
3D  
Calibração  
Verificação

Proc. 3D

Sistemas de  
Coordenadas  
Filtragem  
Plano do  
chão  
Segmentação  
euclidiana  
Crescimento  
de regiões

Resultados

Conclusões

## Trabalho Futuro

- Otimização do software da XB3 (cálculo estéreo e calibração).
- Estudo dos mapas de disparidade.
- Estudo de histogramas de nuvens de pontos.

# Perceção 3D utilizando uma câmara estéreo

Tiago Talhada

Universidade de Aveiro

13 de Julho de 2012