

Deteção do Espaço Navegável para o ATLASCAR usando informação 3D

Diogo Artur Fonseca Matos

Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Mecânica

16 de Julho 2013



1 Introdução

- Apresentação do Problema
- Objetivos

2 Laser 3D

- Descrição do laser 3D
- Configuração do laser 3D
- Reconstrução tridimensional
- Resultados
- Conclusões e trabalho futuro

3 Mapas para navegação

- Pré-processamento nuvem de pontos
- Grelha de ocupação
- Mapas de acessibilidade
- Mapas de navegabilidade
- Resultados
- Conclusões e trabalho futuro



Apresentação do problema



Necessidade de representação e reconhecimento do ambiente.

Laser 3D apresenta algumas limitações, pode-se destacar o sincronismo entre os dados 2D e a medição do ângulo externo.



Objetivos

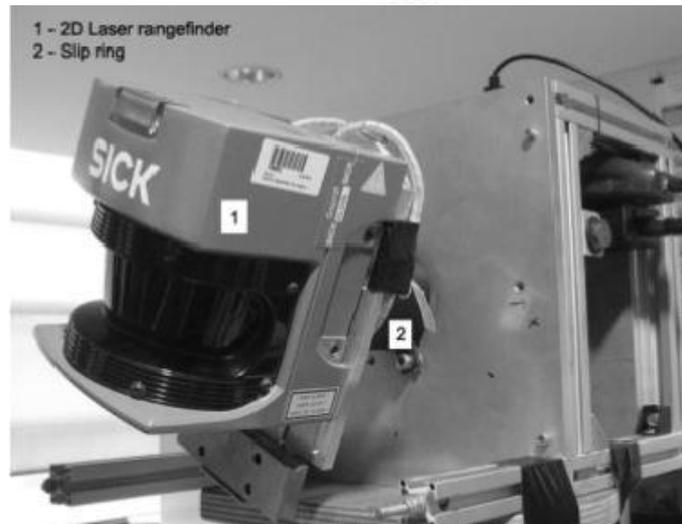
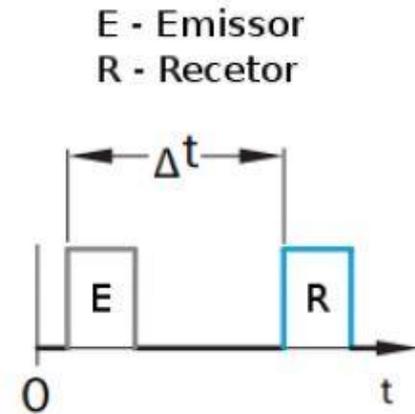
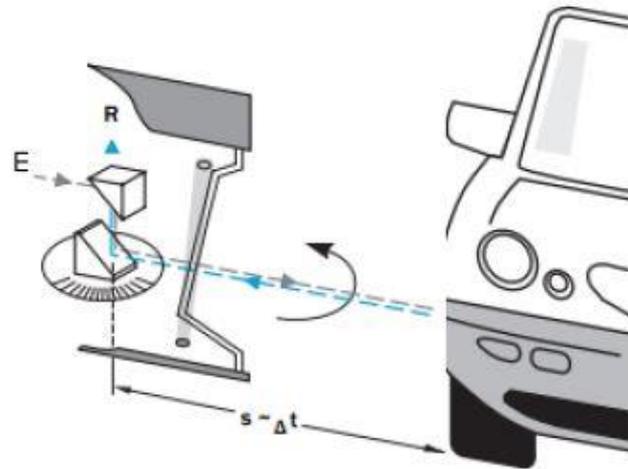
- Refinar o *hardware* existente para o sistema de aquisição 3D, para melhorar o desempenho no que toca ao sincronismo entres os dados 2D e a medição do ângulo;
- Incorporar os dados adquiridos pelo laser 3D na arquitetura implementada no *AtlasCar*;
- Deteção dos limites físicos do espaço navegável (estrada, passeio, bermas, etc) e de obstáculos com base em informação 3D.



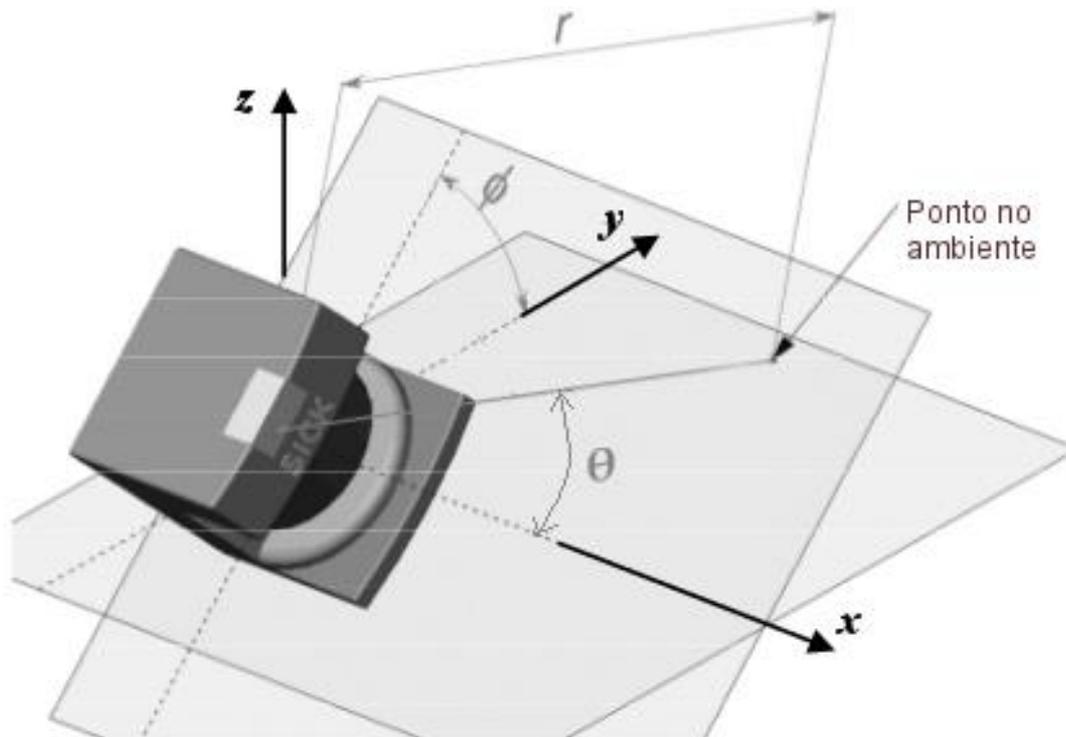
└ Laser 3D

└ Descrição do laser 3D

Princípio de funcionamento



Propriedades da configuração



$$\vec{r} = r_i \cdot [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i \cos \phi_i \quad \sin \theta_i \sin \phi_i]$$



Propriedades da configuração

Inicialmente não existia uma correta associação entre os ângulos θ e ϕ .

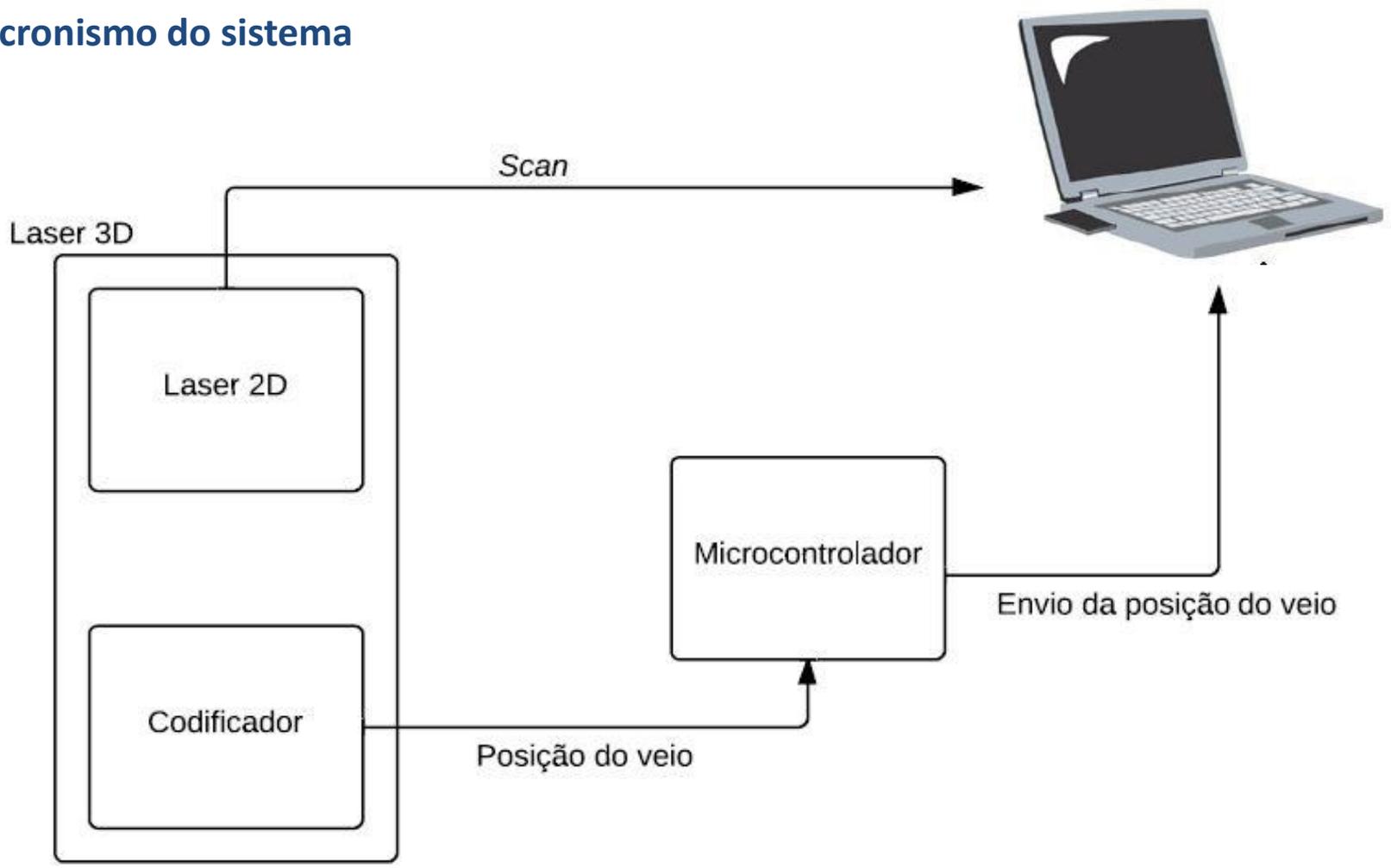
Para cada *scan* era assumido o valor mais recente de ϕ .

$$\vec{r} = r_i \cdot [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i \cos \phi \quad \sin \theta_i \sin \phi]$$

Não existia um sincronismo entre os ângulos θ e ϕ .



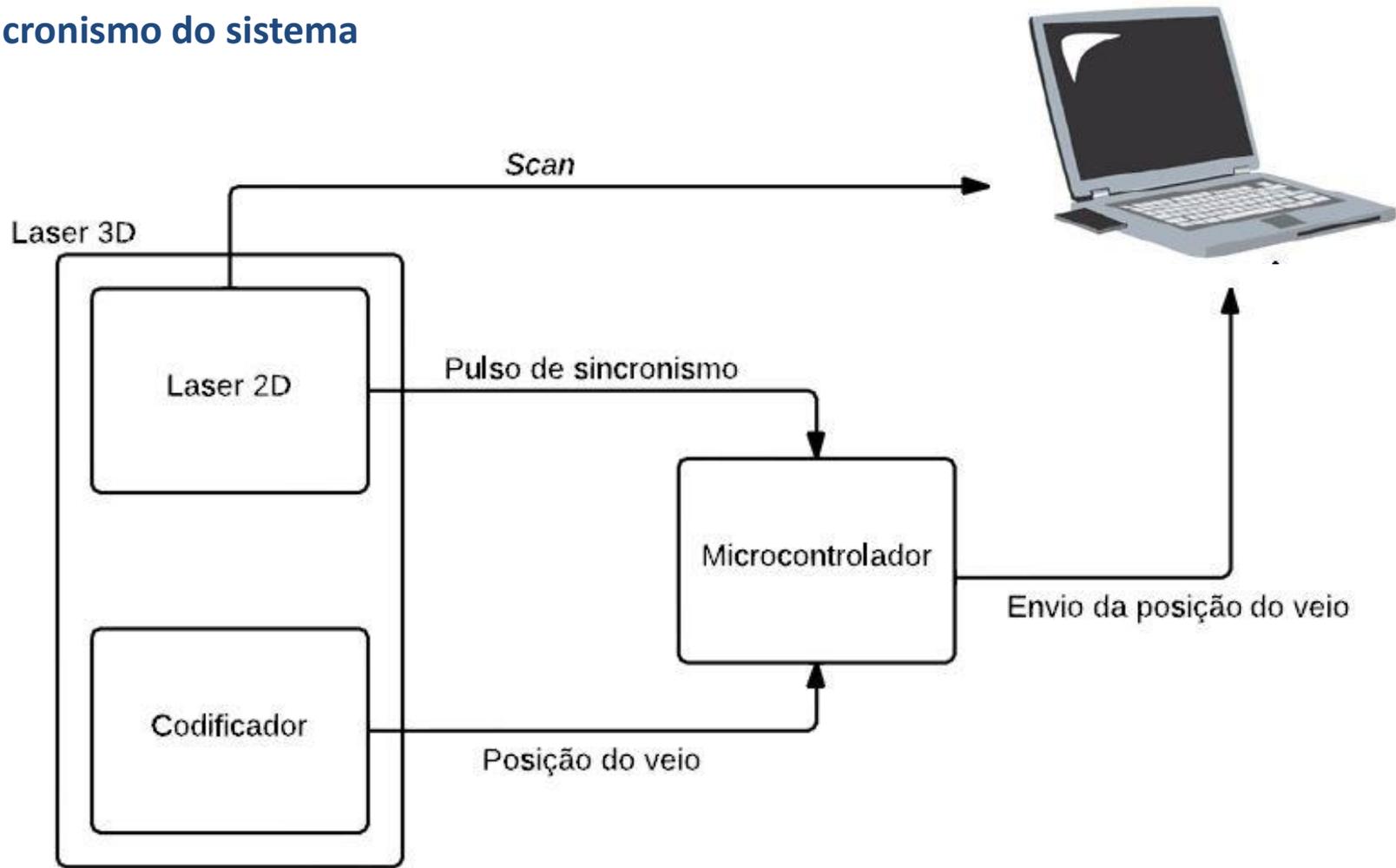
Sincronismo do sistema



└ Laser 3D

└ Configuração do laser

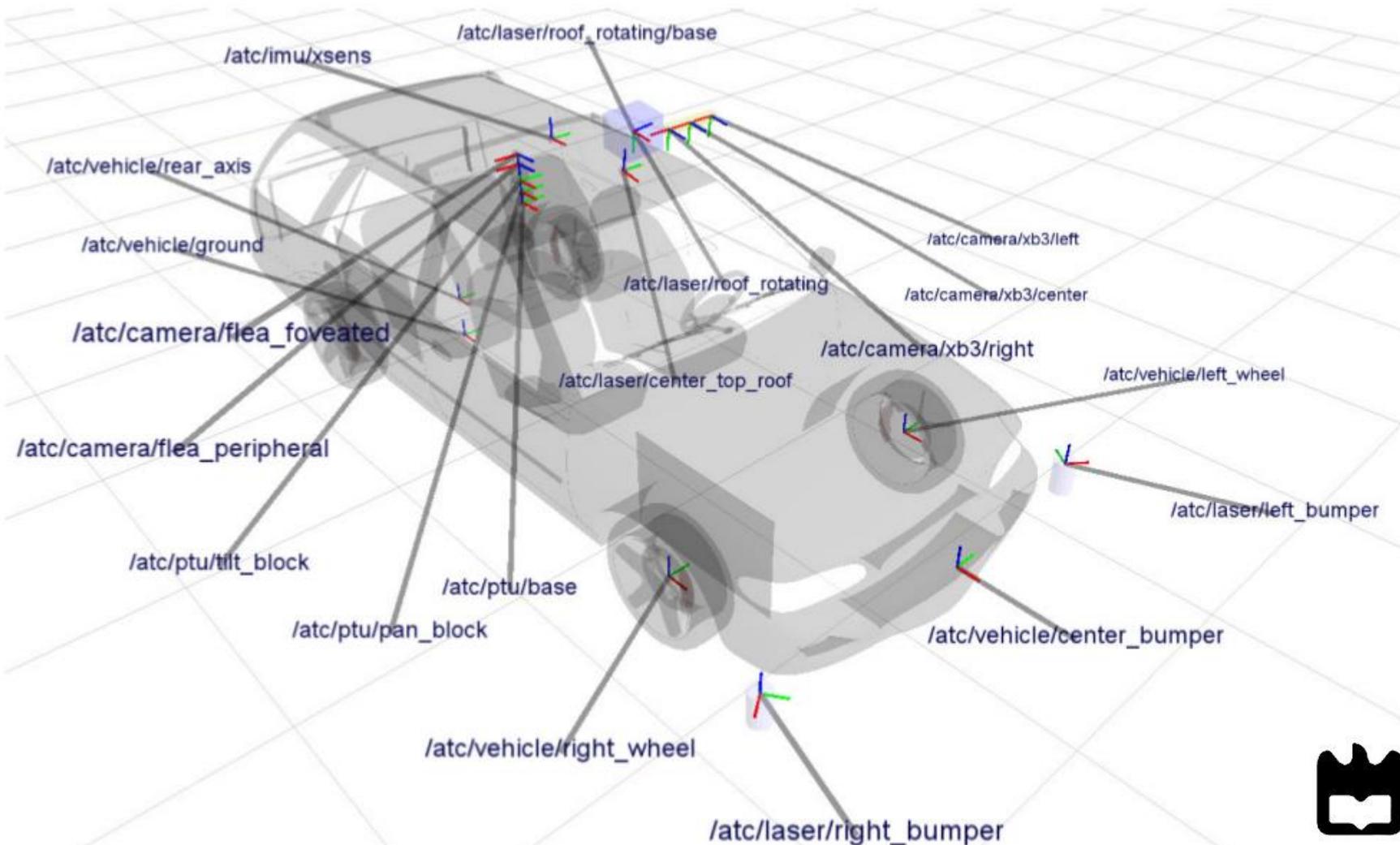
Sincronismo do sistema



Laser 3D

Reconstrução tridimensional

Sistema de coordenadas do *AtlasCar*



Construção da nuvem de pontos

Converter os dados do laser para coordenadas cartesianas.

$$\begin{cases} x_i = r_i \cos \theta_i \\ y_i = r_i \sin \theta_i \\ z_i = 0 \end{cases}$$

Transformar cada ponto do *scan*, \vec{p}_i , para o referencial fixo do laser 3D.

$$\vec{p}'_i = {}^{r2} T_{r1}^t \cdot \vec{p}_i$$



Construção da nuvem de pontos

As transformações ${}^{r2}\mathbf{T}_{r1}^{t_0}$ e ${}^{r2}\mathbf{T}_{r1}^{t_n}$, correspondem a transformações no instante em que são iniciados os *scans*, sendo que o instante $t = t_n$ do *scan*_k corresponde ao instante $t = t_0$ do *scan*_{k+1}.

Para calcular as transformações em instantes de tempo intermédios é utilizada uma técnica de interpolação SLERP (*The Spherical Linear Interpolation*).

$$\vec{p}'_i = \text{slerp}({}^{r2}\mathbf{q}_{r1}^{t_0}, {}^{r2}\mathbf{q}_{r1}^{t_n}, \alpha) \cdot \vec{p}_i$$



Construção da nuvem de pontos

Para transformar os pontos do *scan* é necessário definir os instantes de tempo t_0 e t_n .

Pode ser utilizado o *time stamp* da mensagem do *scan*.

$$\begin{cases} t_0 = \text{SCAN}_{time_stamp} \\ t_n = \text{SCAN}_{time_stamp} + (\text{SCAN}_{size} \cdot \text{SCAN}_{time_increment}) \end{cases}$$

Ou os *time stamp* da mensagem dos ângulos ϕ .

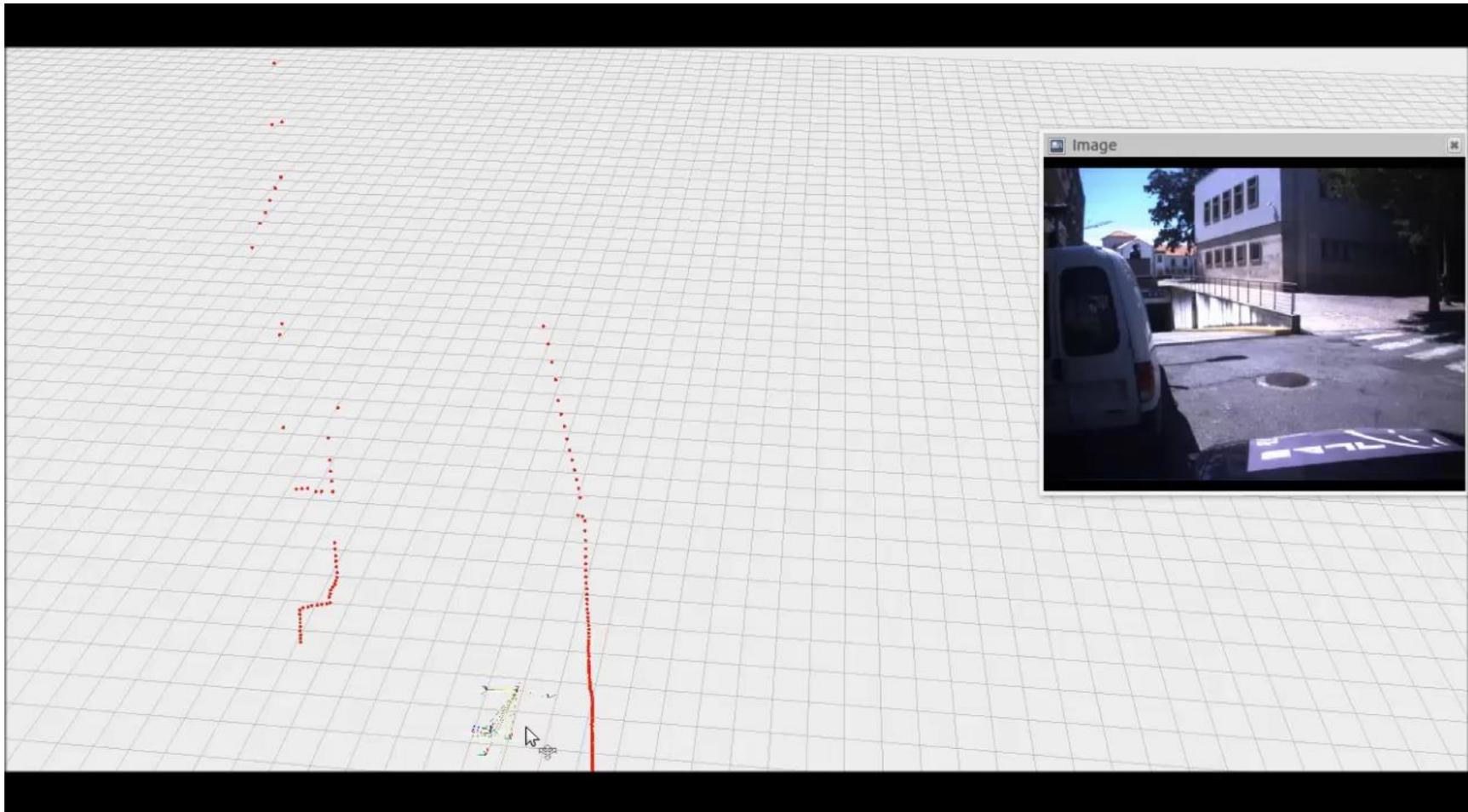
$$\begin{cases} t_0 = \phi_{t0} \\ t_n = \phi_{tn} \end{cases}$$



└ Laser 3D

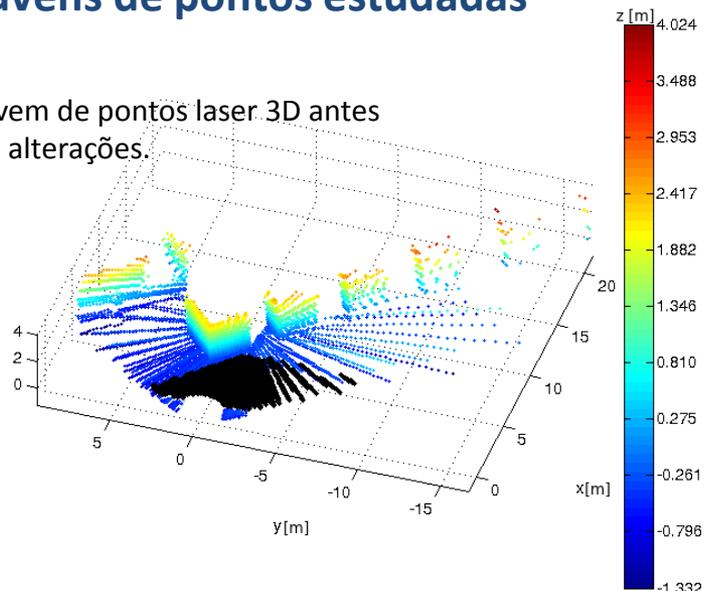
└ Reconstrução tridimensional

Construção da nuvem de pontos

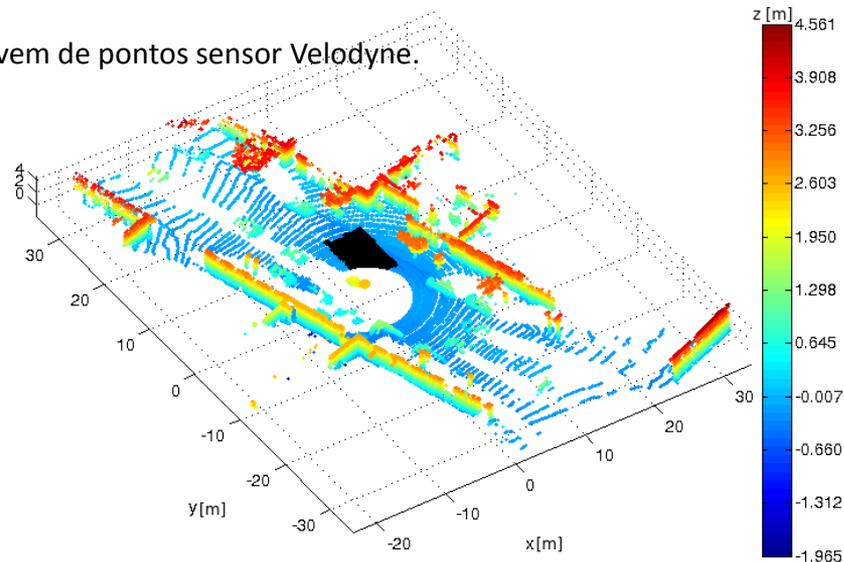


Nuvens de pontos estudadas

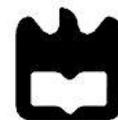
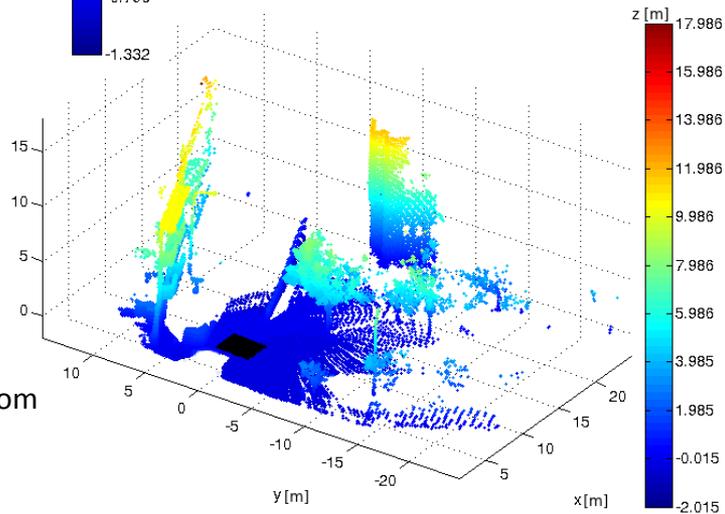
Nuvem de pontos laser 3D antes das alterações.



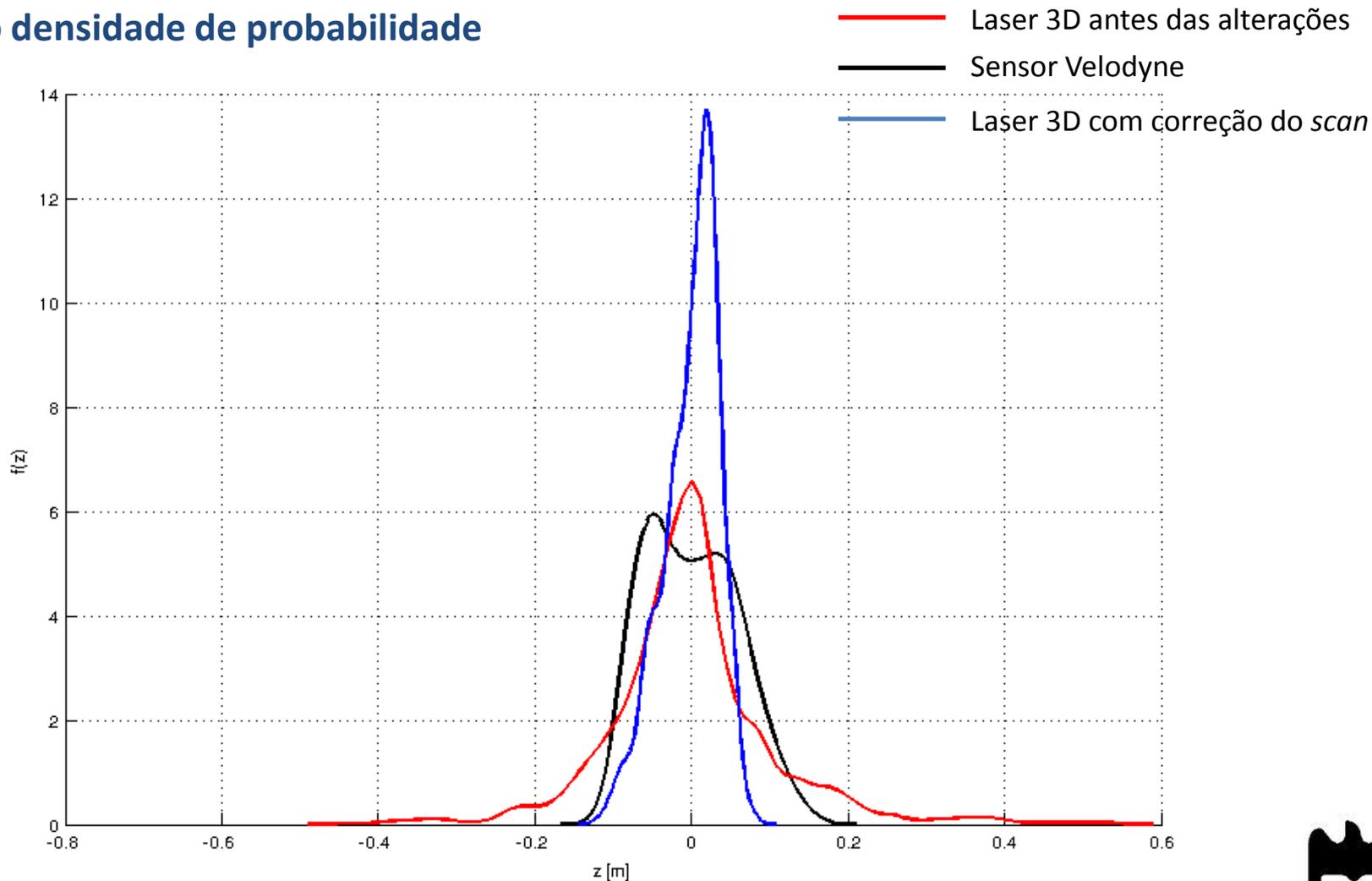
Nuvem de pontos sensor Velodyne.



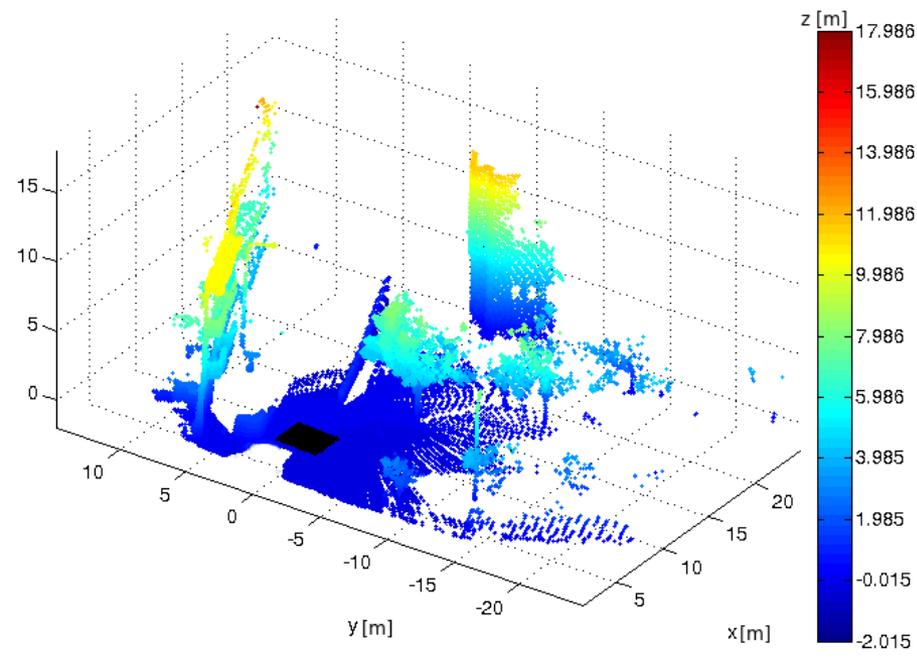
Nuvem de pontos laser 3D com correção do scan.



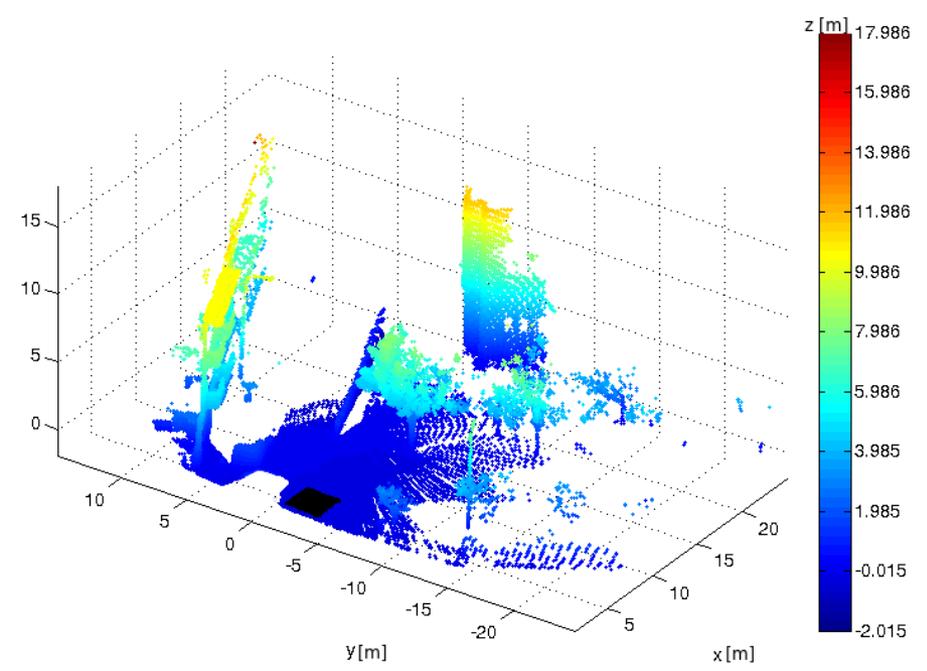
Função densidade de probabilidade



Nuvens de pontos adquiridas com o laser 3D



Superfície 1.

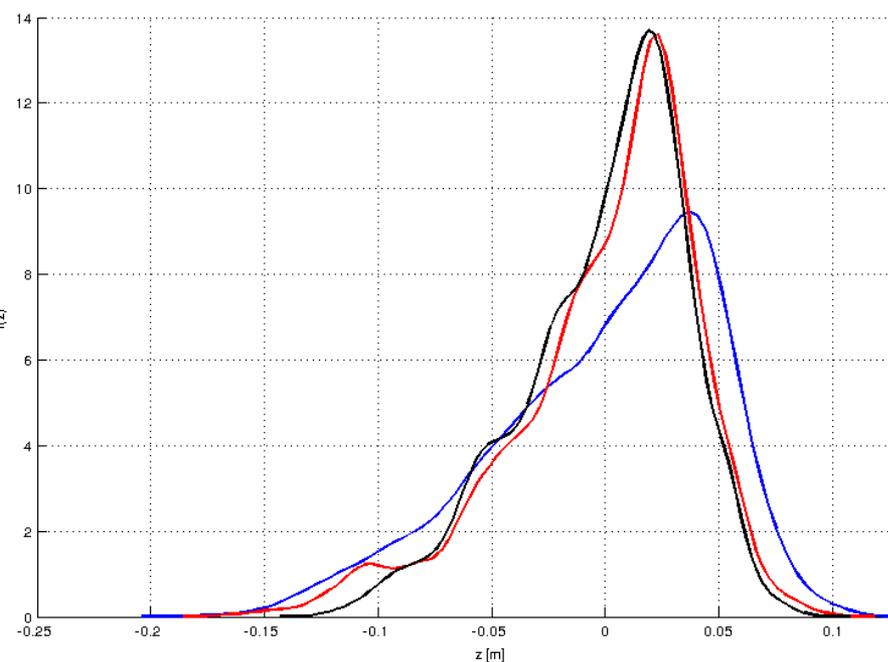


Superfície 2.

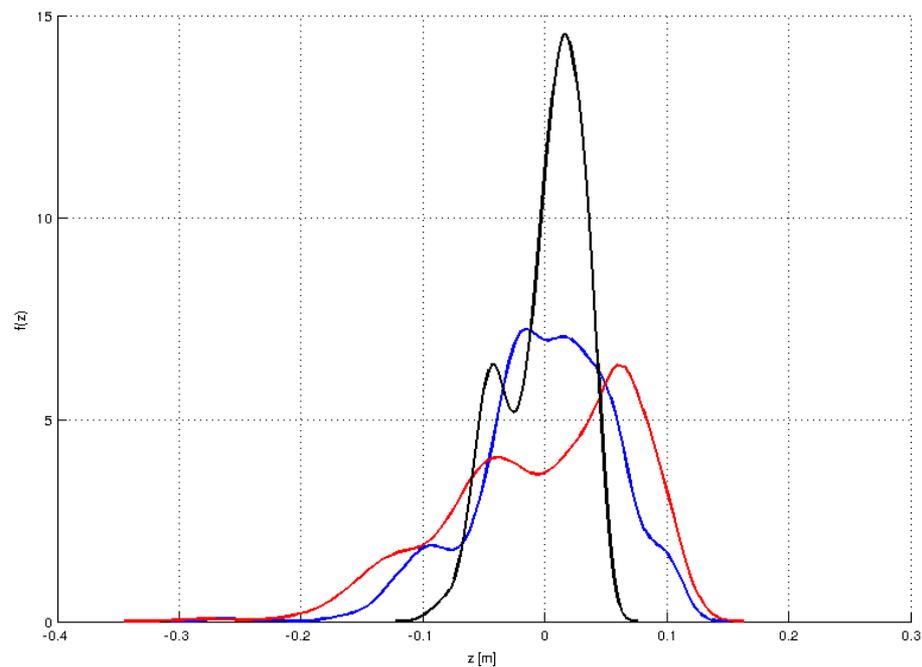


Função densidade de probabilidade

- Com correção do *scan* utilizando *time stamp* de Φ
- Com correção do *scan* utilizando *time stamp* de início do *scan*
- Sem correção do *scan*



Superfície 1.



Superfície 2.



Conclusões

- O trabalho desenvolvido no sistema de aquisição 3D permitiu efetuar com sucesso o sincronismo entre as medições efetuadas pelo sensor 2D e a sua posição angular externa.
- Os resultados indicam uma clara melhoria na qualidade dos dados 3D.

Trabalho Futuro

- Tentar utilizar o sistema de aquisição 3D para ambientes dinâmicos, auxiliando o sistema com outros sensores para focar em zonas de potencial interesse.



Conceitos importantes

- **Navegabilidade** pode definir-se como uma zona onde o veículo pode circular.
- **Acessibilidade** representa numa escala de 0 a 1, o quanto uma célula é ou não transponível de acordo com a sua vizinhança.
- **Disparidade** representa a diferença entre a célula e a sua vizinhança.



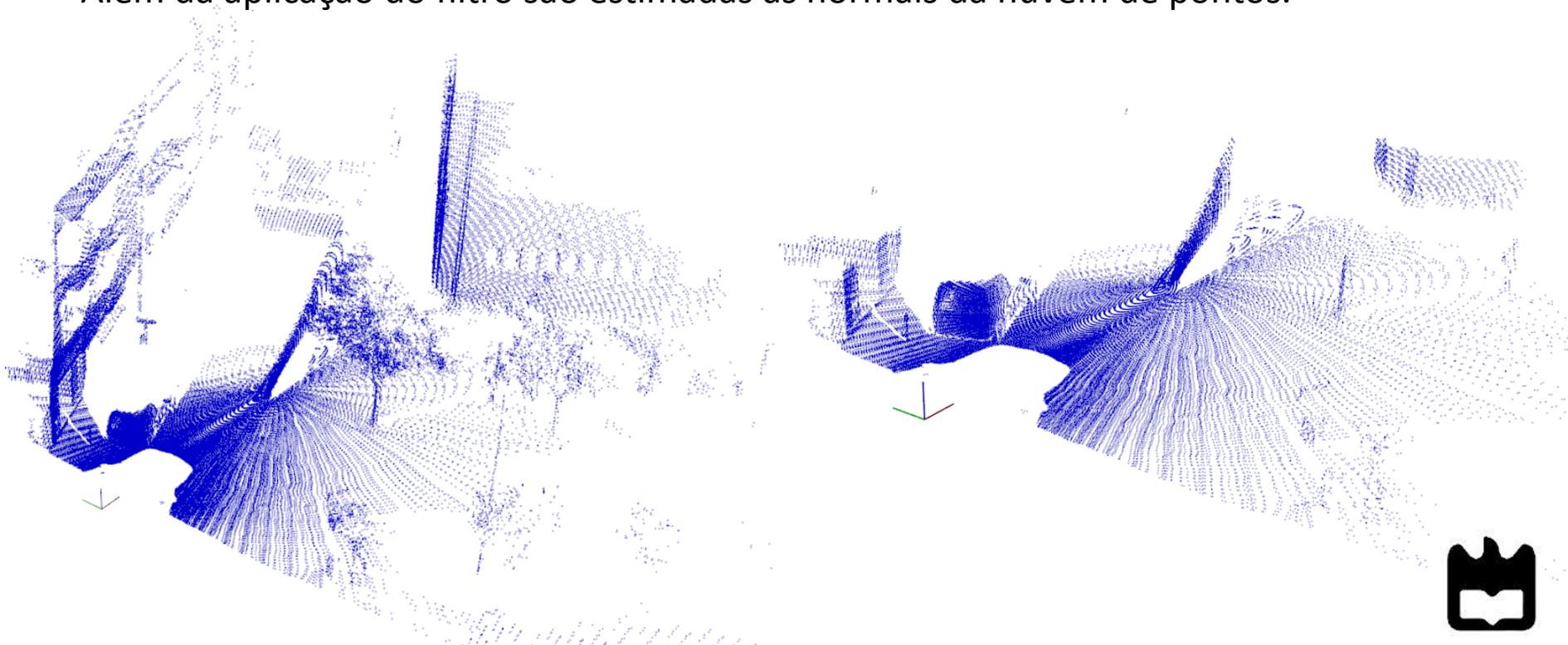
└─ Mapas para navegação

└─ Pré-processamento da nuvem de pontos

Pré-processamento da nuvem de pontos

Foi aplicado à nuvem de pontos um filtro para descartar pontos acima dos 2 metros de altura e a mais de 25 metros de distância.

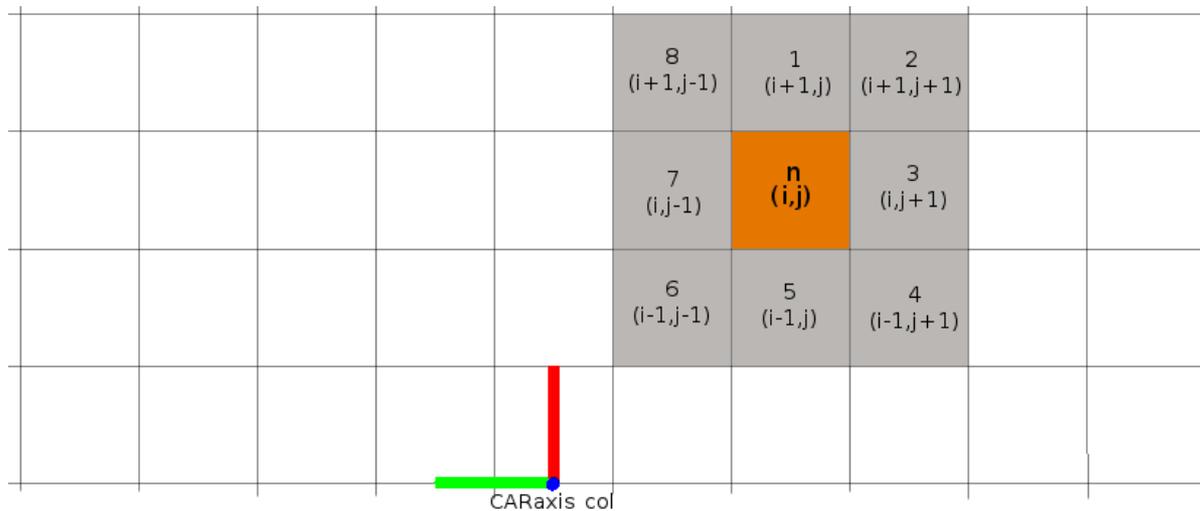
Além da aplicação do filtro são estimadas as normais da nuvem de pontos.



Inicialização da grelha

Para representar a informação 3D foi construída uma grelha bidimensional, a cada célula da grelha está associado um conjunto de pontos da nuvem e suas propriedades.

$$\vec{p}_n = (p_x, p_y) \mapsto C(i, j) : \begin{cases} i = \text{round} \left(\frac{p_x}{S_x} \right) \\ j = \text{CARaxis_col} + \text{round} \left(\frac{p_y}{S_y} + k \right) \end{cases}$$



└─ Mapas para navegação

└─ Grelha de ocupação

Cálculo de propriedades das células

Foi calculada a média aritmética da coordenada z , μ_z , e média aritmética dos ângulos das normais associadas aos pontos de uma célula, μ_α , μ_β e μ_γ .

Foi associado a cada célula um valor de confiança, v , para os valores μ_z , μ_α , μ_β e μ_γ .

$$v = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

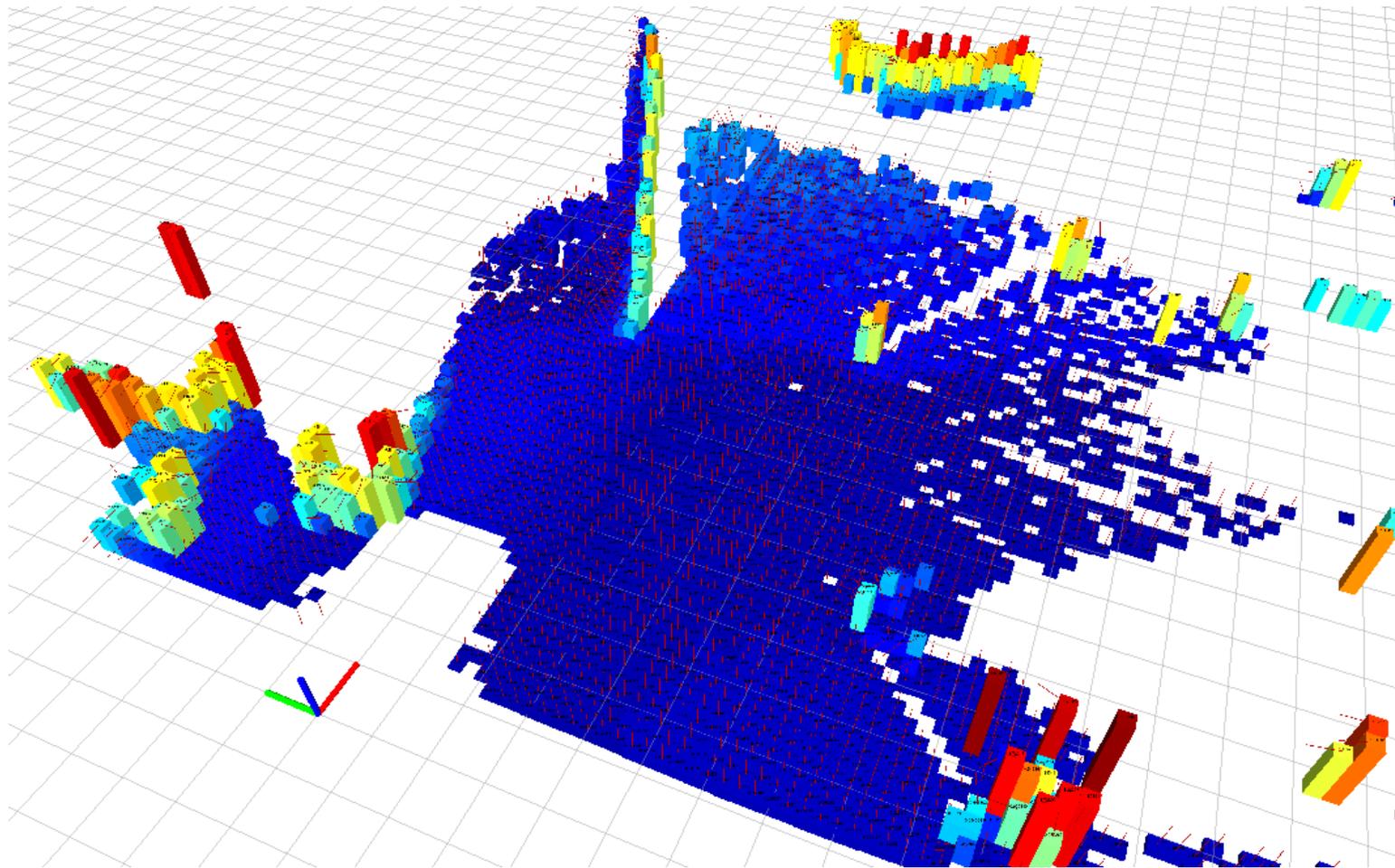
O valor de confiança não tenta descrever a confiança no valor da média mas sim o grau da sua representatividade dos valores contidos na célula.



└─ Mapas para navegação

└─ Grelha de ocupação

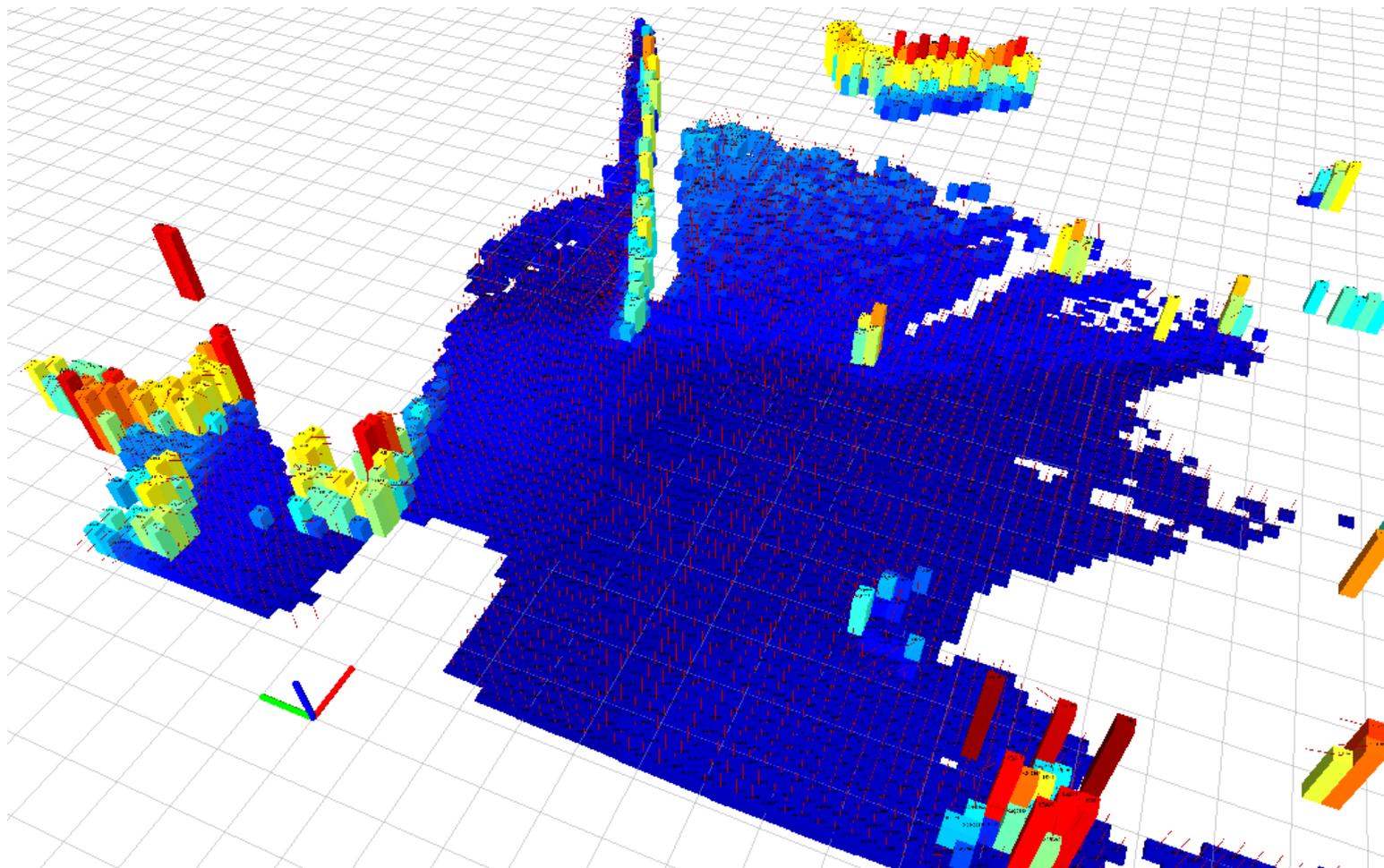
Mapa de elevação com representação da normal média



└─ Mapas para navegação

└─ Grelha de ocupação

Interpolação de propriedades das células



Cálculo da disparidade das células

8 variáveis caracterizam uma célula $\mu_z, \mu_\alpha, \mu_\beta, \mu_\gamma, \nu_z, \nu_\alpha, \nu_\beta$ e ν_γ .

$$\vartheta^n = \frac{\sum_{i=1}^k \min\left(\frac{|\mu^i - \mu^n|}{\sqrt{\nu^i \cdot \nu^n}}, \text{Th}\right)}{k}$$

No cálculo da disparidade, ϑ , foram utilizados valores de confiança para influenciar a diferença entre ela e a sua vizinhança.



Cálculo da acessibilidade das células

Usando a informação da disparidade das células é possível comparar com um valor limite, Th , determinando a acessibilidade das células, ϖ .

$$\varpi_z^n = 1 - \frac{\vartheta_z^n}{Th_z}$$
$$\varpi_\beta^n = 1 - \frac{\vartheta_\beta^n}{Th_\beta}$$

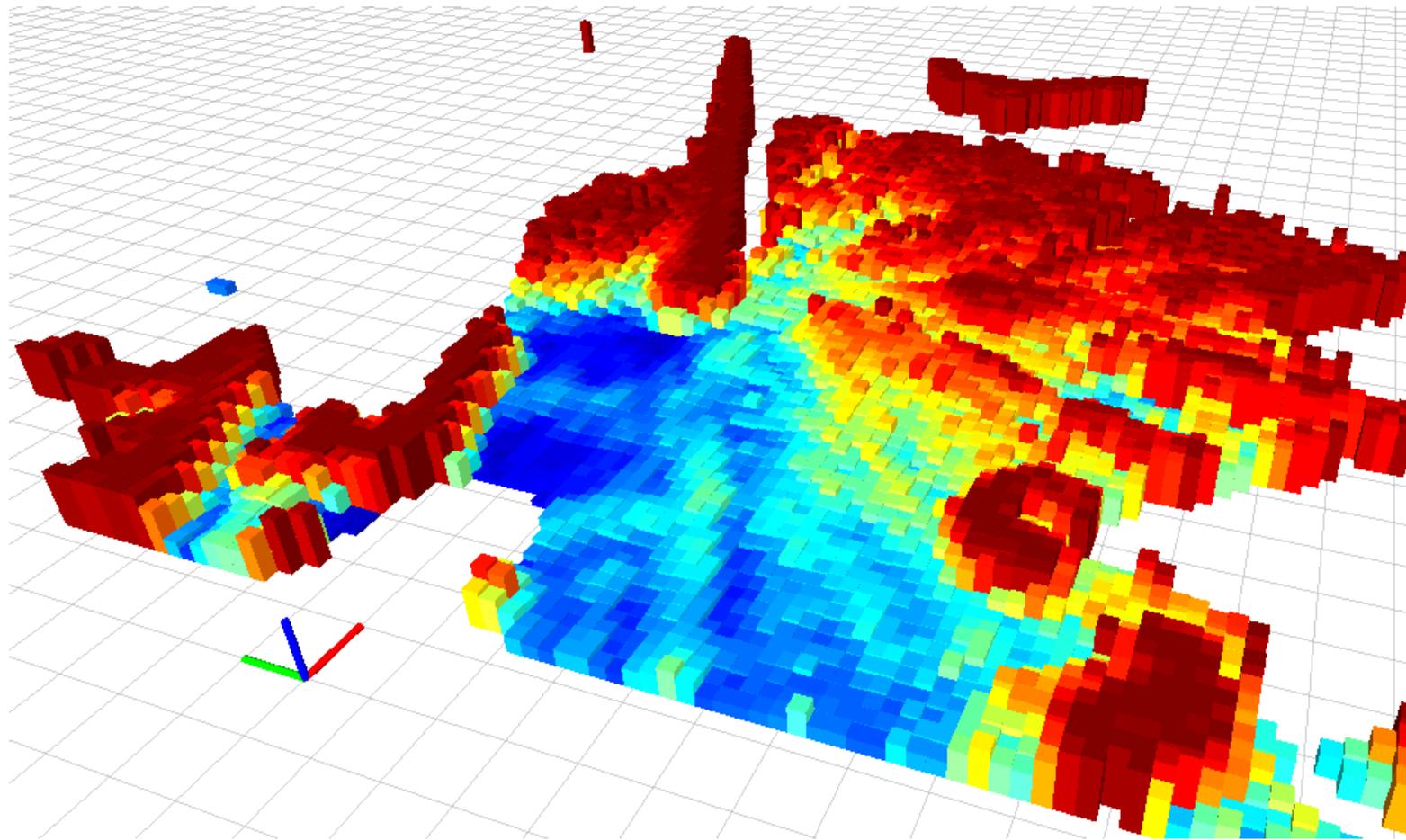
$$\varpi_\alpha^n = 1 - \frac{\vartheta_\alpha^n}{Th_\alpha}$$
$$\varpi_\gamma^n = 1 - \frac{\vartheta_\gamma^n}{Th_\gamma}$$



└─ Mapas para navegação

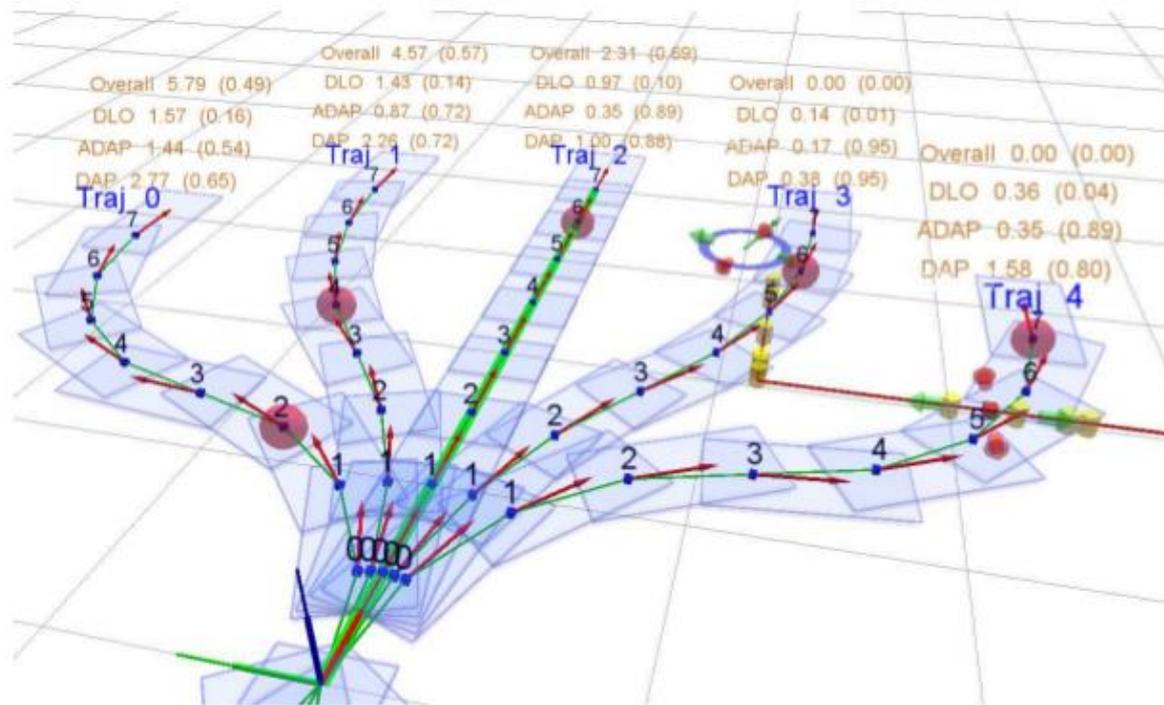
└─ Mapas de acessibilidade

Mapa de acessibilidade



Mapas de navegabilidade

Para calcular a navegabilidade de uma qualquer trajetória pode recorrer-se ao mapa de acessibilidade, sobrepondo as trajetórias sobre as células e determinando qual a trajetória possível de realizar para alcançar a zona que se pretende.



Influência dos parâmetros do algoritmo na criação dos mapas de acessibilidade

Foi avaliada a influência :

- Do raio de procura da vizinhança para o cálculo das normais da nuvem de pontos;
- Da constante normalizadora, σ_0 , do valor de confiança de cada célula;
- Das dimensões das células S_x e S_y .

Para avaliar a influência dos parâmetros no cálculo da acessibilidade, foram consideradas quatro nuvens de pontos diferentes.

Foi identificado com um polígono uma zona acessível e outra não acessível com base na informação visual de uma imagem captada por uma câmara presente no *AtlasCar*.



Influência dos parâmetros do algoritmo na criação dos mapas de acessibilidade

Verificou-se que células quadradas entre 20 cm e 50 cm de dimensão apresentam maior eficiência na deteção de zonas acessíveis e inacessíveis.

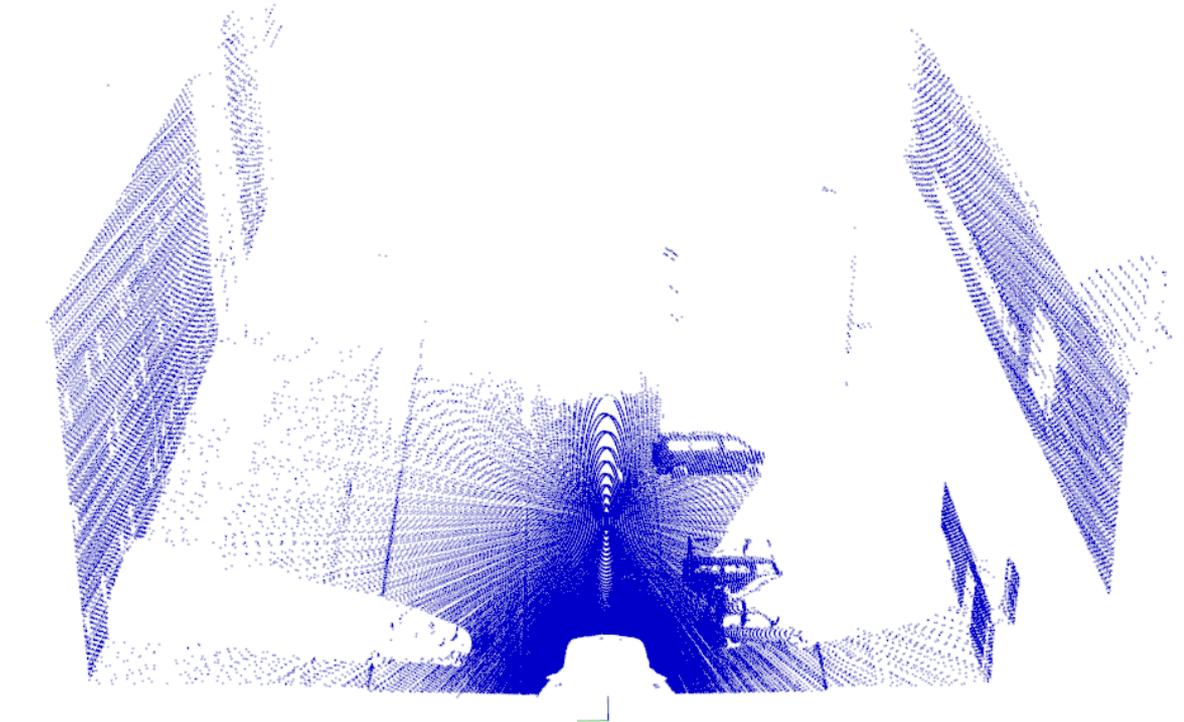
A utilização de células não quadradas não traduziu uma clara melhoria na deteção de zonas acessíveis e inacessíveis.

Verificou-se um valor preferencial de cerca 40 cm para raio de procura da vizinhança para o cálculo das normais.

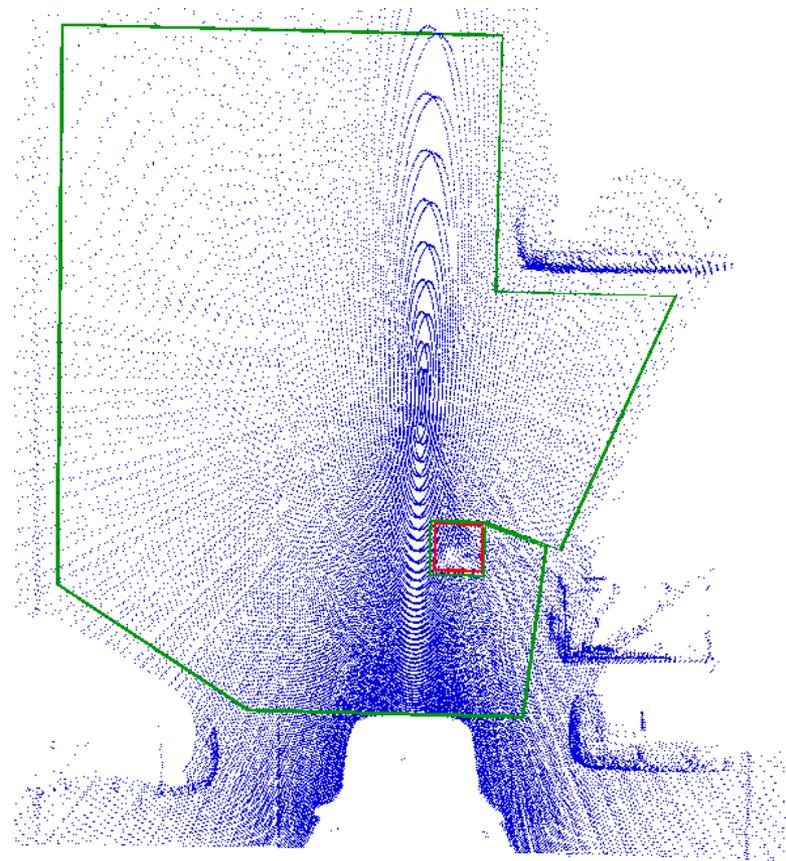
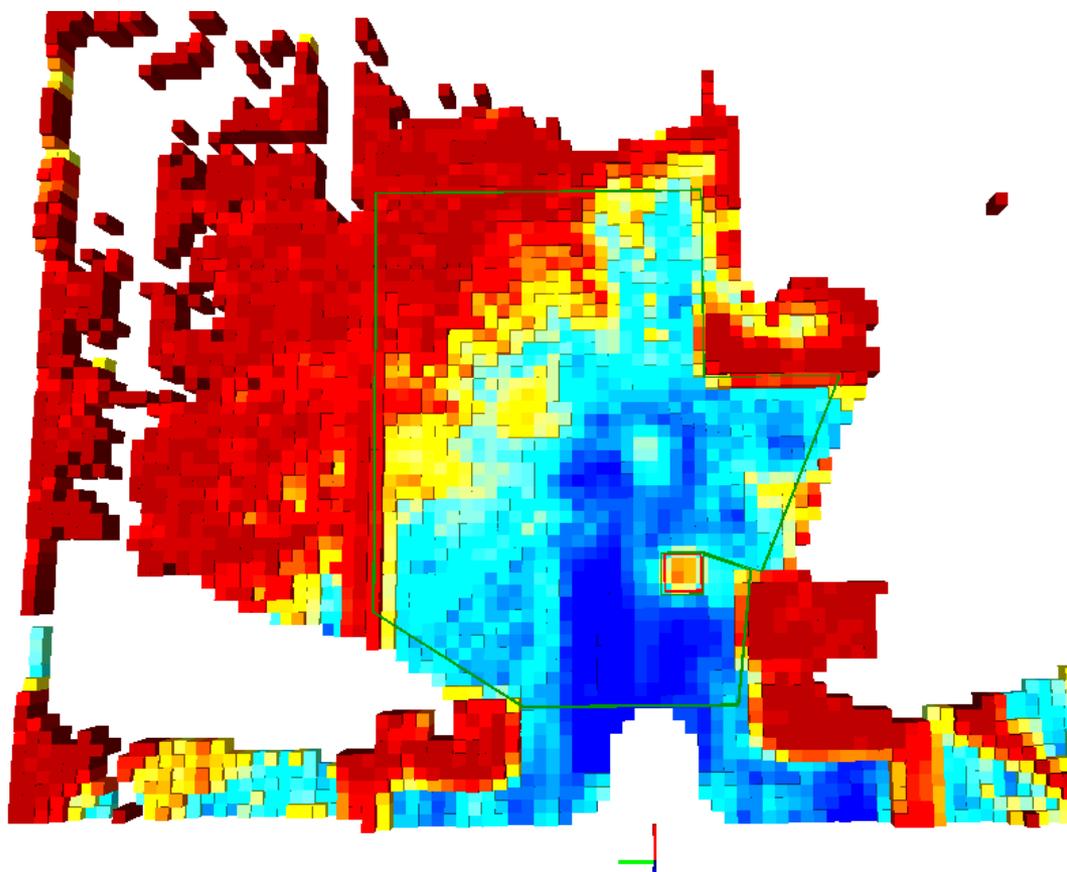
A constante σ_0 não é particularmente relevante na eficiência do algoritmo.



Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



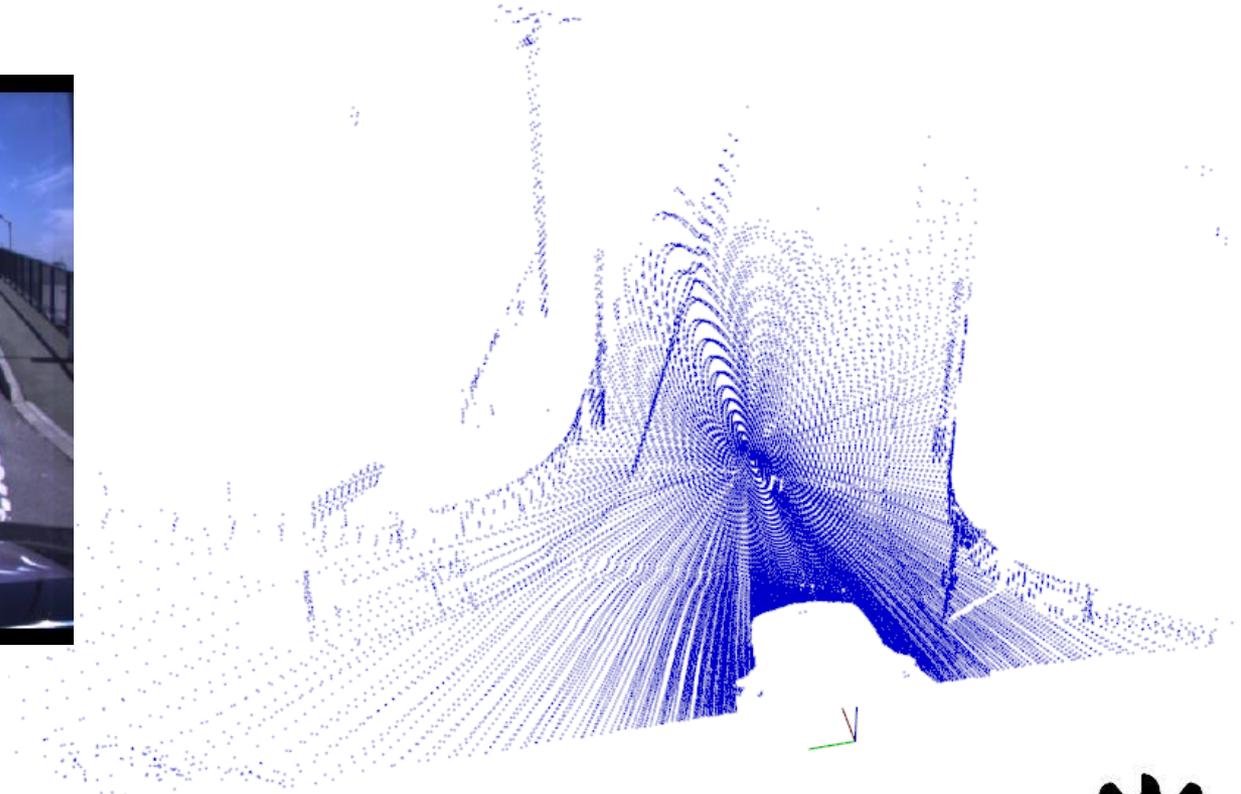
Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



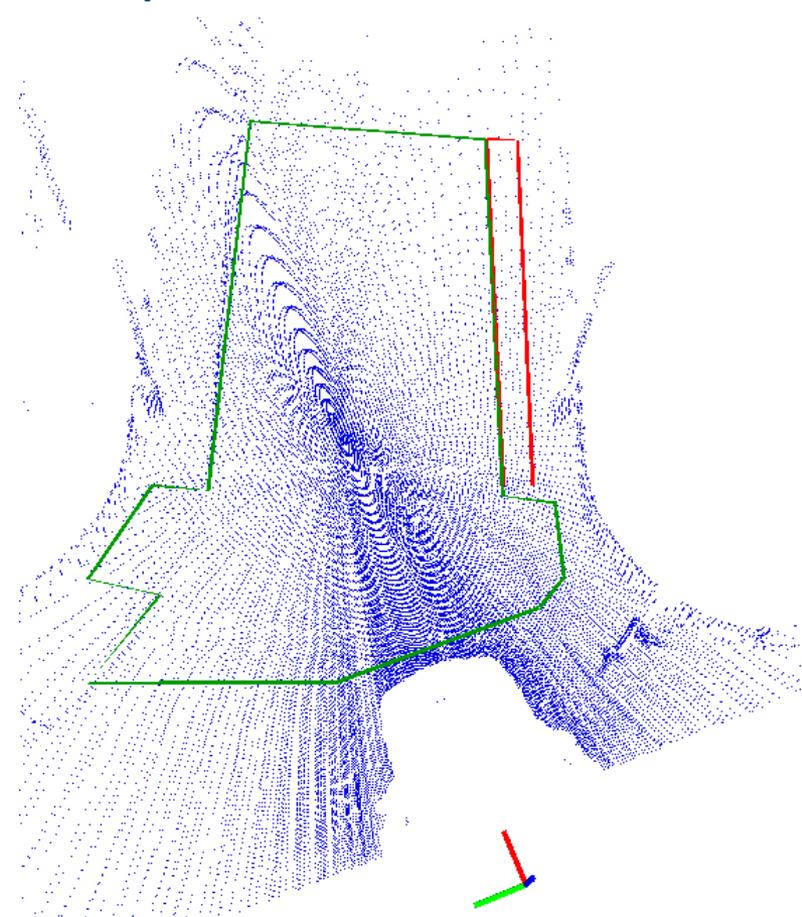
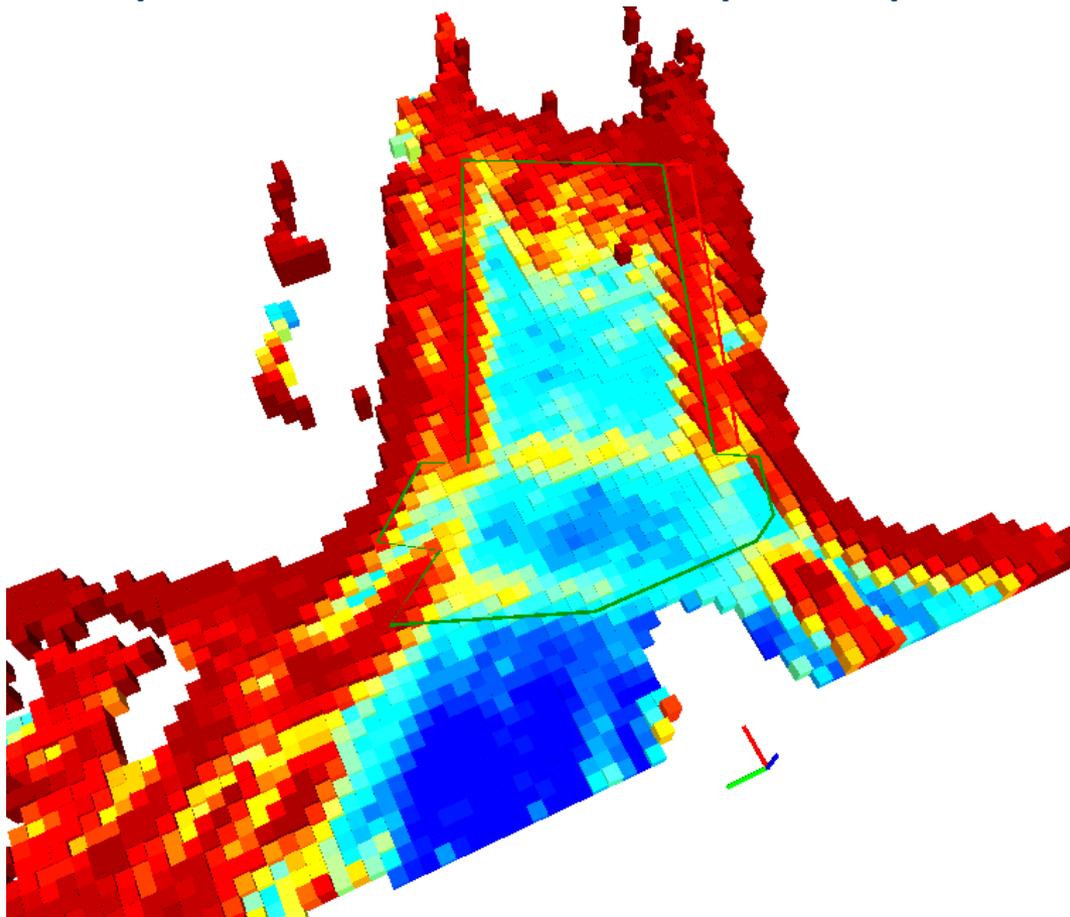
% zona acessível detetada – 79,25; % zona inacessível detetada - 66,66.



Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



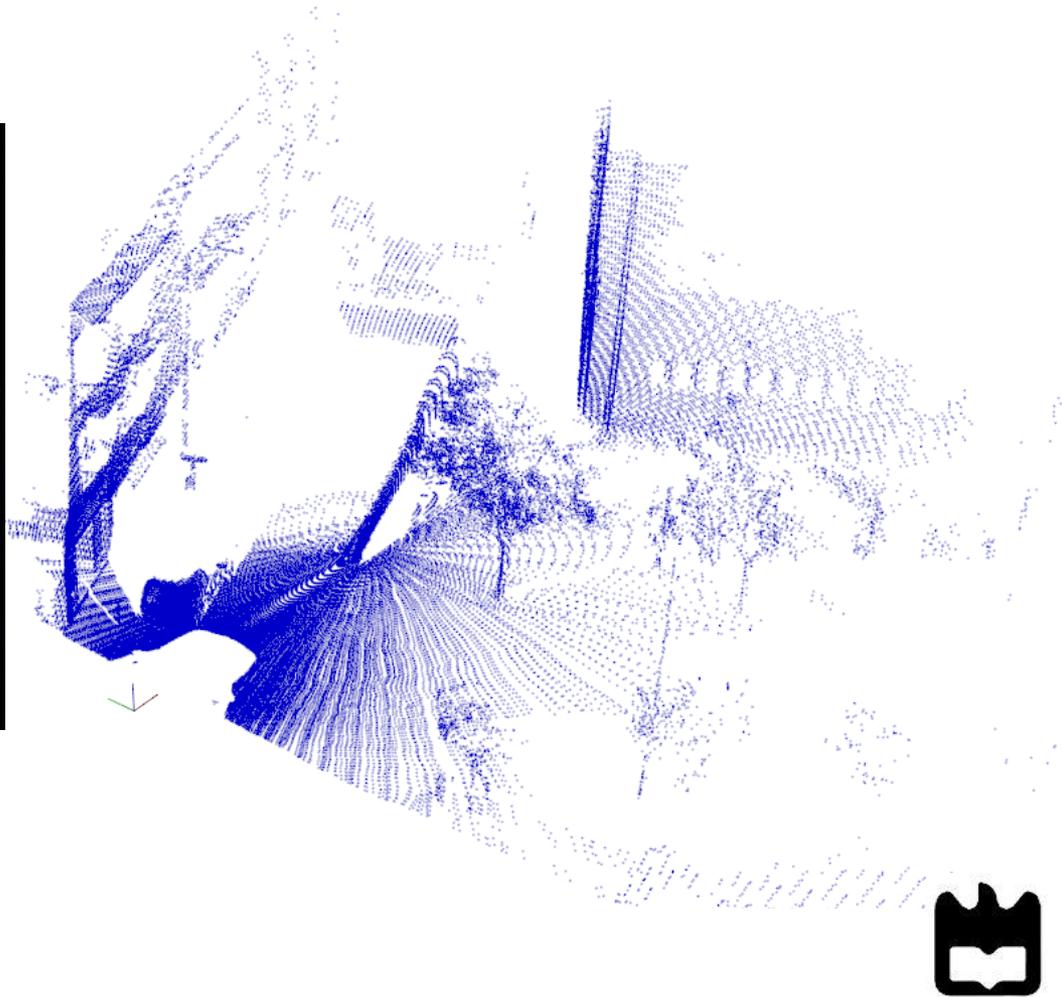
Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



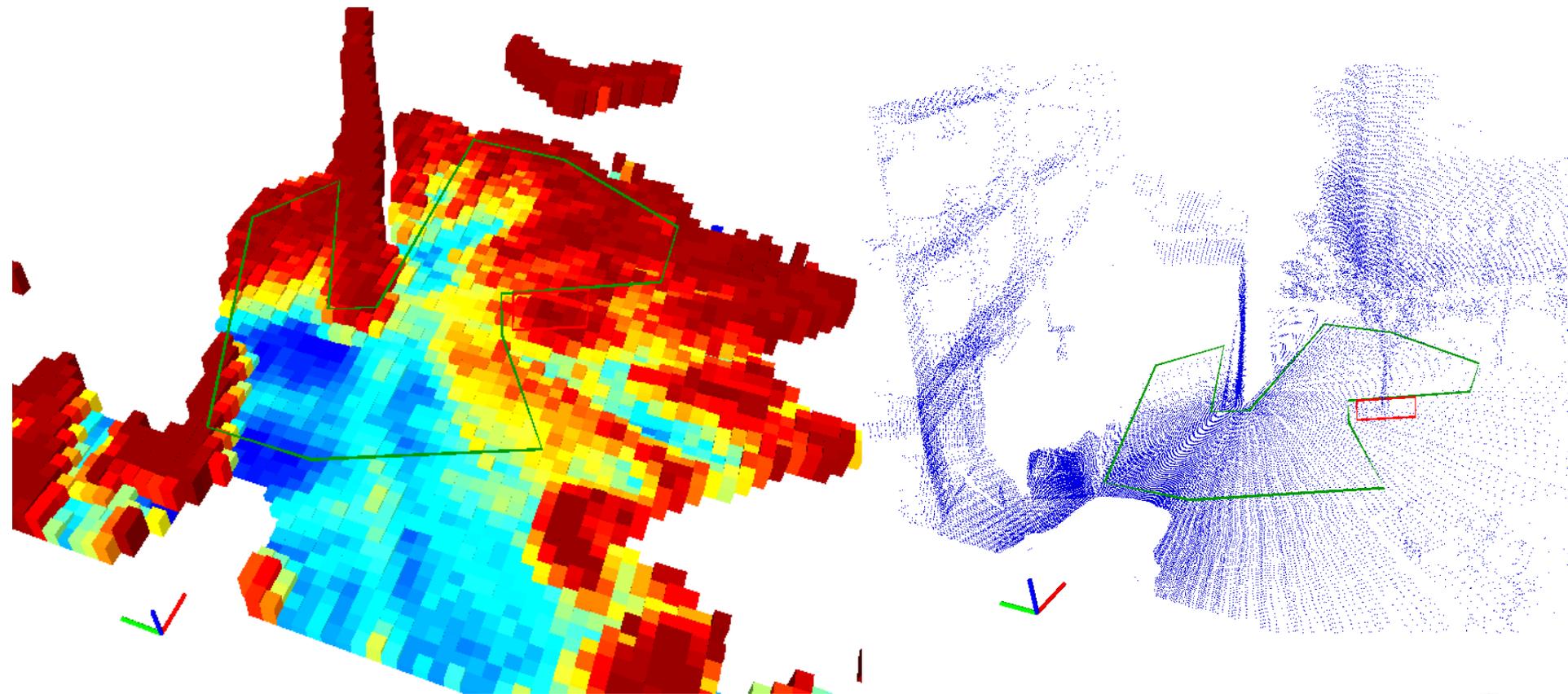
% zona acessível detetada – 81,51; % zona inacessível detetada - 100.



Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



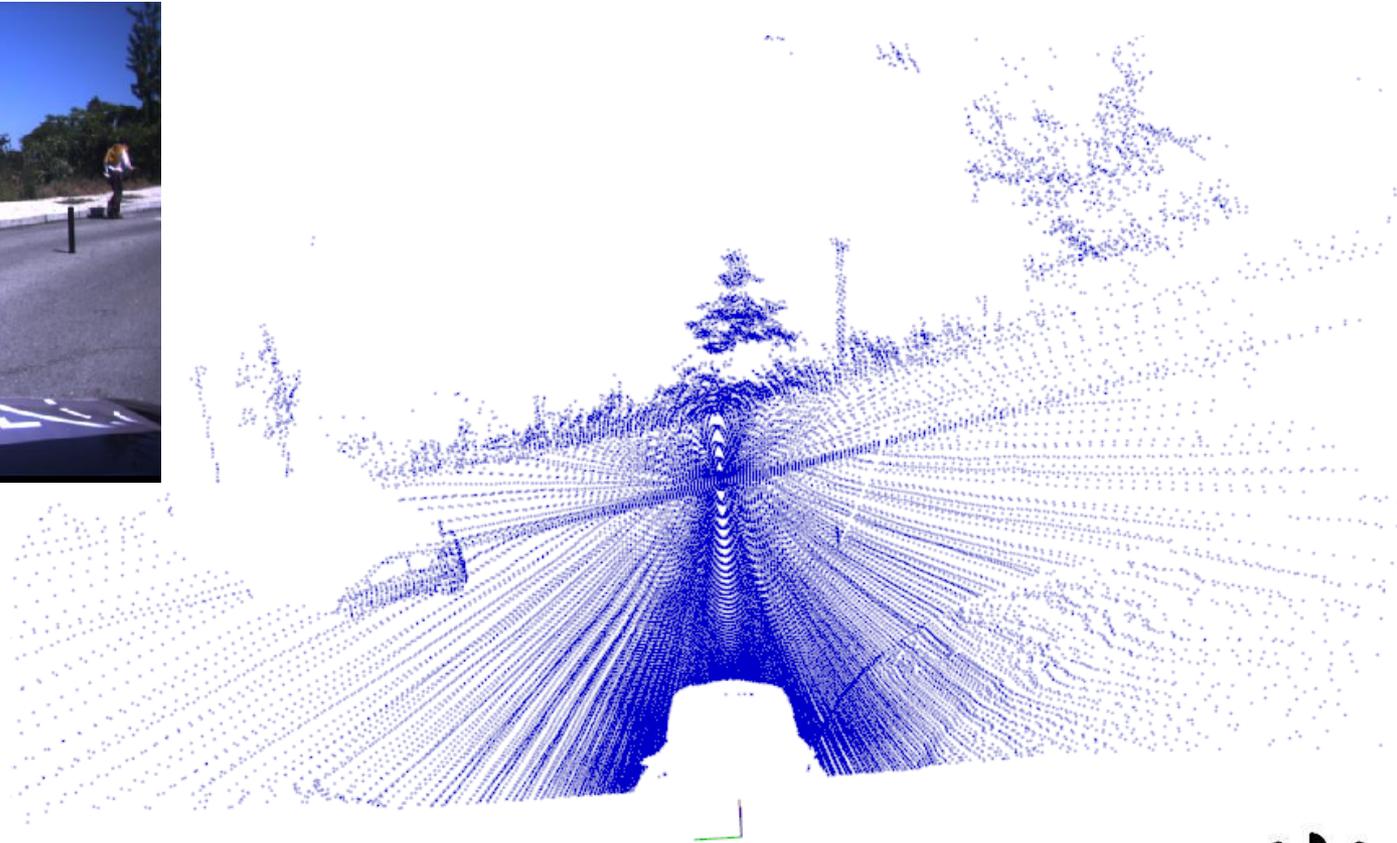
% zona acessível detetada – 60,22; % zona inacessível detetada - 100.



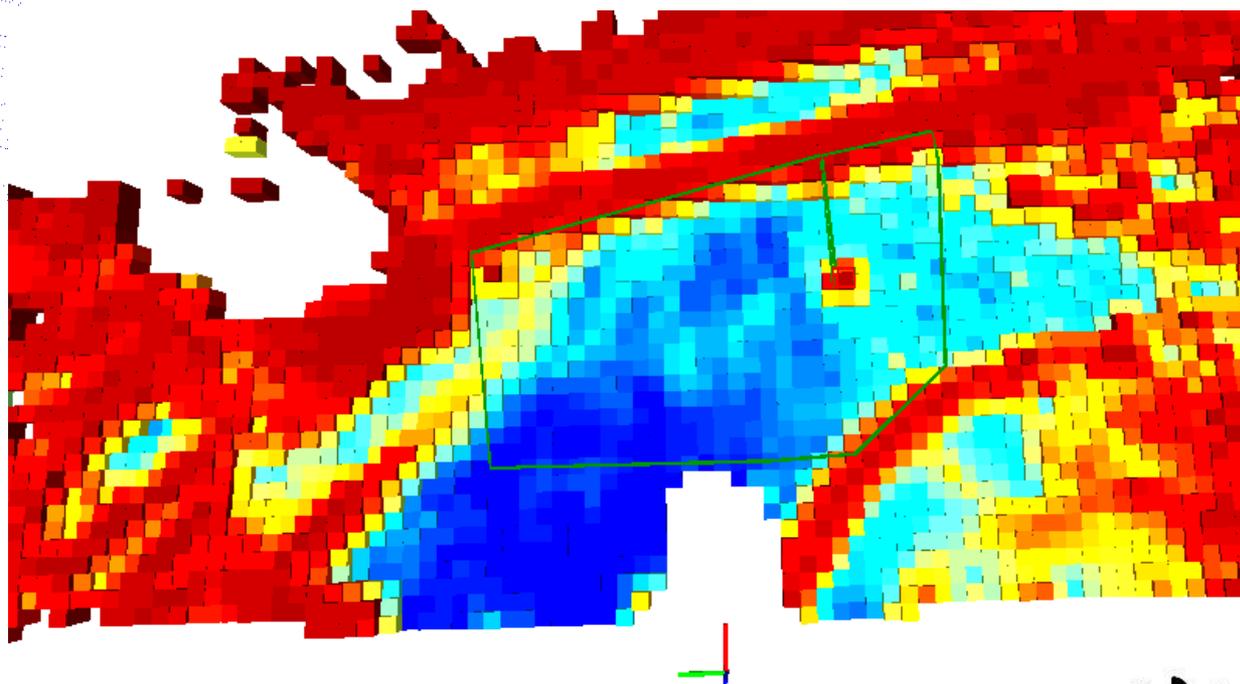
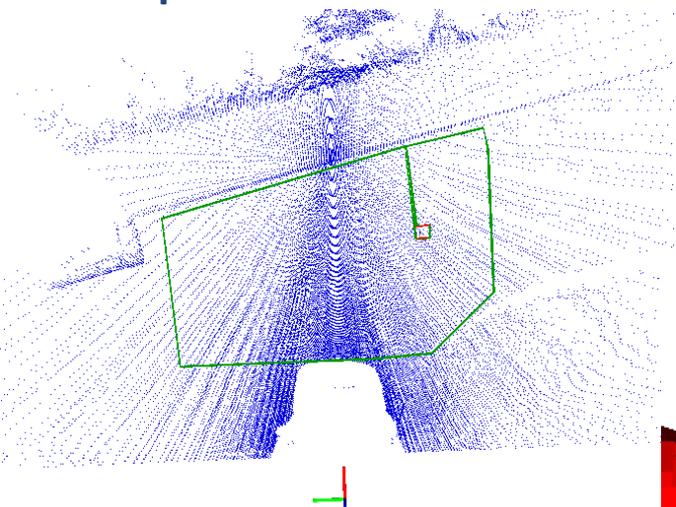
Mapas para navegação

Resultados

Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



Mapas de acessibilidade criados para as quatro nuvens de ponto estudadas



% zona acessível detetada – 92,35; % zona inacessível detetada - 100.



Conclusões

- Nos mapas de acessibilidade foram identificadas com taxas de sucesso superior a 60 % as zonas em que o veículo pode circular, bem como aquelas em que não o pode fazer; sendo de 78.33% e 91.67%, a taxa média de sucesso para essas mesmas zonas.

Trabalho futuro

- Criar uma função responsável por calcular a normal de cada célula utilizando apenas os pontos presentes nessa célula, ou caso se revele necessário utilizando também pontos em células vizinhas.



Deteção do Espaço Navegável para o ATLASCAR usando informação 3D

Diogo Artur Fonseca Matos

Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Mecânica

16 de Julho 2013

