



PROCESSAMENTO DE NUVEM DE PONTOS 3D
CGEO- 7028

Detecção e Modelagem 3D de construções

UFPR – Departamento de Geomática
Prof. Jorge Centeno
2023
copyright@ centenet

Introdução

A geração de densas nuvens de pontos com LiDAR aerotransportado, tornou possível a aquisição de nuvens de pontos muito densas e abriu oportunidades para a geração de modelos 3D de cidades (incluindo seus prédios).

Inicialmente era possível detectar edifícios e delinear seus contornos aproximados, como também extrair faces planas do telhado e criar modelos que se assemelham corretamente à estrutura do telhado.



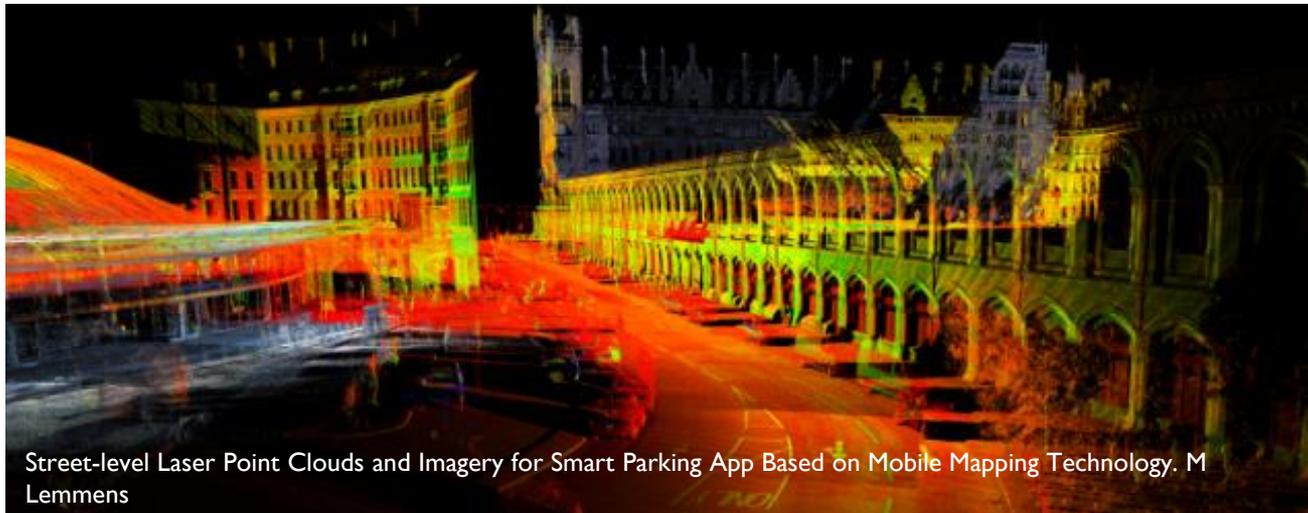
Introdução

Com o passar do tempo, o laser scanner terrestre ganhou espaço e foram propostos sistemas móveis de varredura LiDAR.

Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de ferramentas de processamento de imagens e fotogrametria facilitou a obtenção de nuvens de densas pontos com imagens obtidas a curta distância.

Assim, o grau de detalhe da representação aumenta cada vez mais.

A questão que aflora é, como representar adequadamente os objetos a partir de uma nuvem de pontos? Em que escala? Com que grau de detalhamento?



Acurácia?

O Decreto Lei 89817 de 20 de junho de 1984

- Define Parâmetros para a classificação de cartas segundo a acurácia posicional (planimetria e altimetria)*

Ou o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

Escala (classe)	PEC	PEC
	Planimétrico	Altimétrico
1:1000 (A)	0,5 m	0,5m

Não define o detalhamento dos elementos que devem ser mapeados...

Level of Detail LoD

- Neste sentido, o Open Geospatial Consortium (2012) definiu cinco níveis de representação para ambientes urbanos virtuais, sendo que parte do trabalho se dedica a prédios em modelos de cidades. Estes níveis são chamados níveis de detalhe, ou Level of Detail LOD.
- O conceito destina-se a várias classes temáticas de objetos, mas é focado principalmente em edifícios, e as cinco instâncias descritas aumentam em sua complexidade geométrica e semântica.

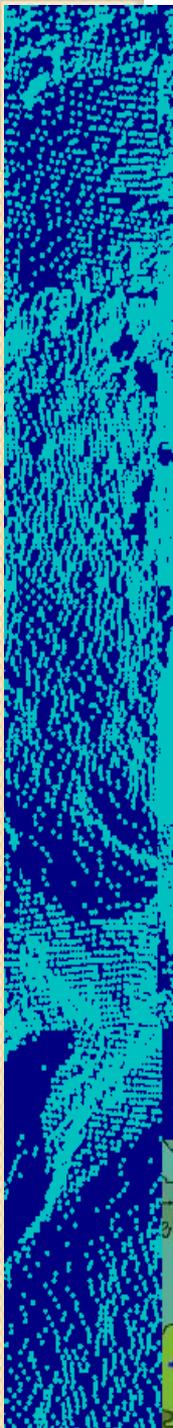
LoD (Kolbe, 2009).

- **LOD0:** representação da projeção vertical do prédio e, opcionalmente, polígonos das bordas do telhado marcando a transição de SIG 2D para 3D.
- **LOD1:** modelo prismático grosseiro, geralmente obtido por extrusão de um modelo LOD0.
- **LOD2** modelo incluindo a forma simplificada do telhado simplificada, e onde as partes do objeto podem ser modeladas em várias classes semânticas (por exemplo, telhado, parede).
- **LOD3** modelo arquitetonicamente detalhado com janelas e portas, sendo consideravelmente mais complexo do que LOD2.
- **LOD4** um LOD3 que inclui elementos do interior

F. Biljecki et al. / Computers, Environment and Urban Systems 59 (2016) 25–37



Fig. 1. The five LODs of CityGML 2.0. The geometric detail and the semantic complexity increase, ending with the LOD4 containing indoor features.



O grau de detalhamento está diretamente associado à densidade de pontos da nuvem.

Considerando o objeto abaixo (telhado claro), quantos pontos por metro quadrado seriam necessários para obter a acurácia desejada?



Airborne LiDAR

Dada uma nuvem de pontos,...

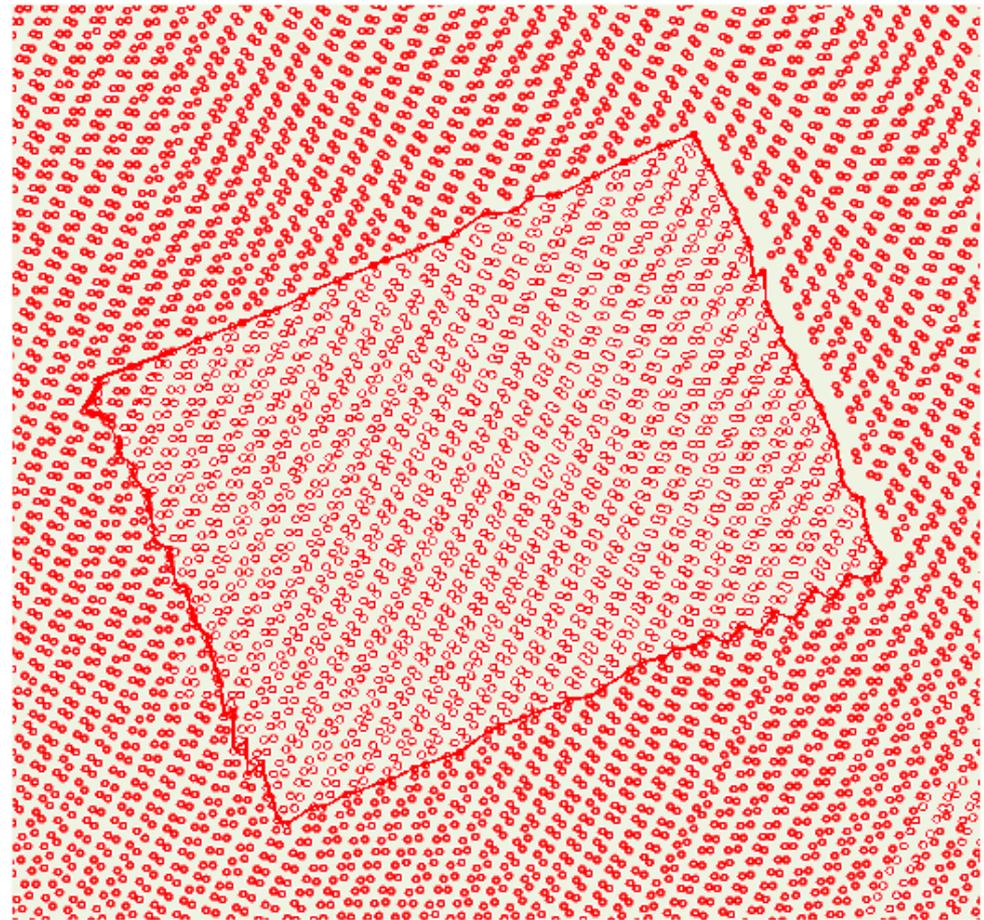
LOD0: como separar os pontos que correspondem à construção?

LOD1: Como estimar sua altura?

LOD2: Como separar cada element de telhado?

LOD3: impossível modelar janelas e portas

LOD4: impossível modelar o interior

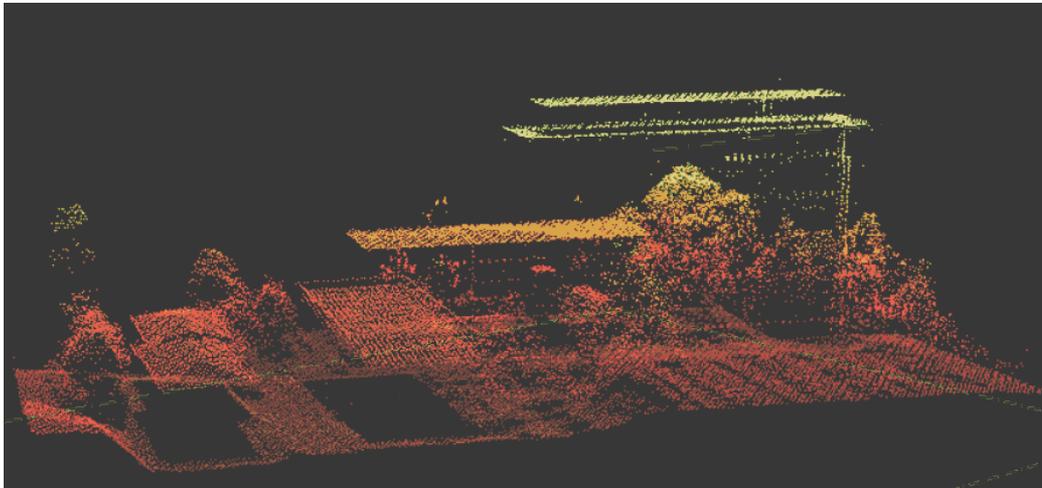


LOD0

Pode ser resolvido com LiDAR

Problema: Separar objetos elevados acima do terreno que sejam parte de uma construção, neste caso, o telhado.

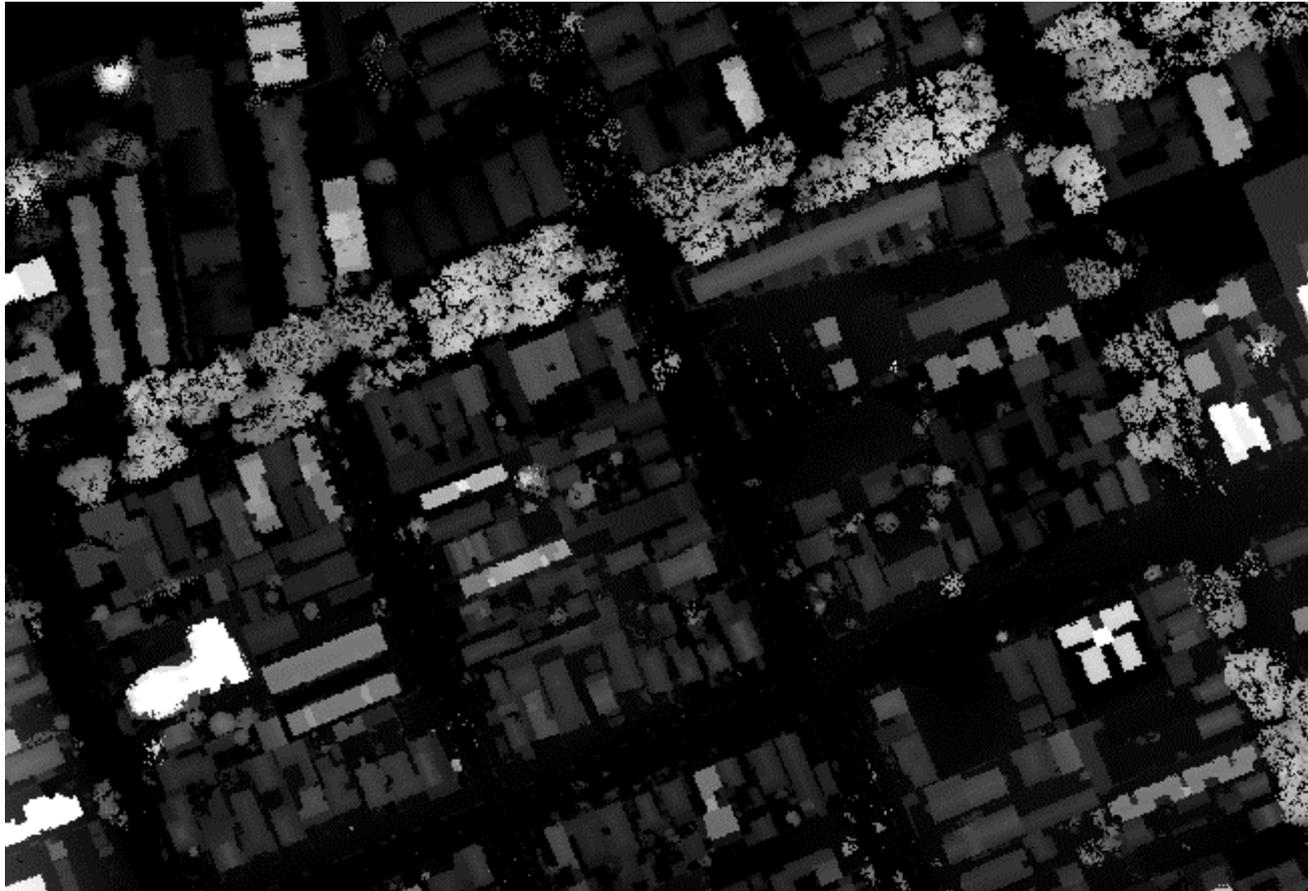
- A) separar o terreno de objetos elevados acima do terreno
- B) separar vegetação de telhados



Um exemplo: MDS - Curitiba



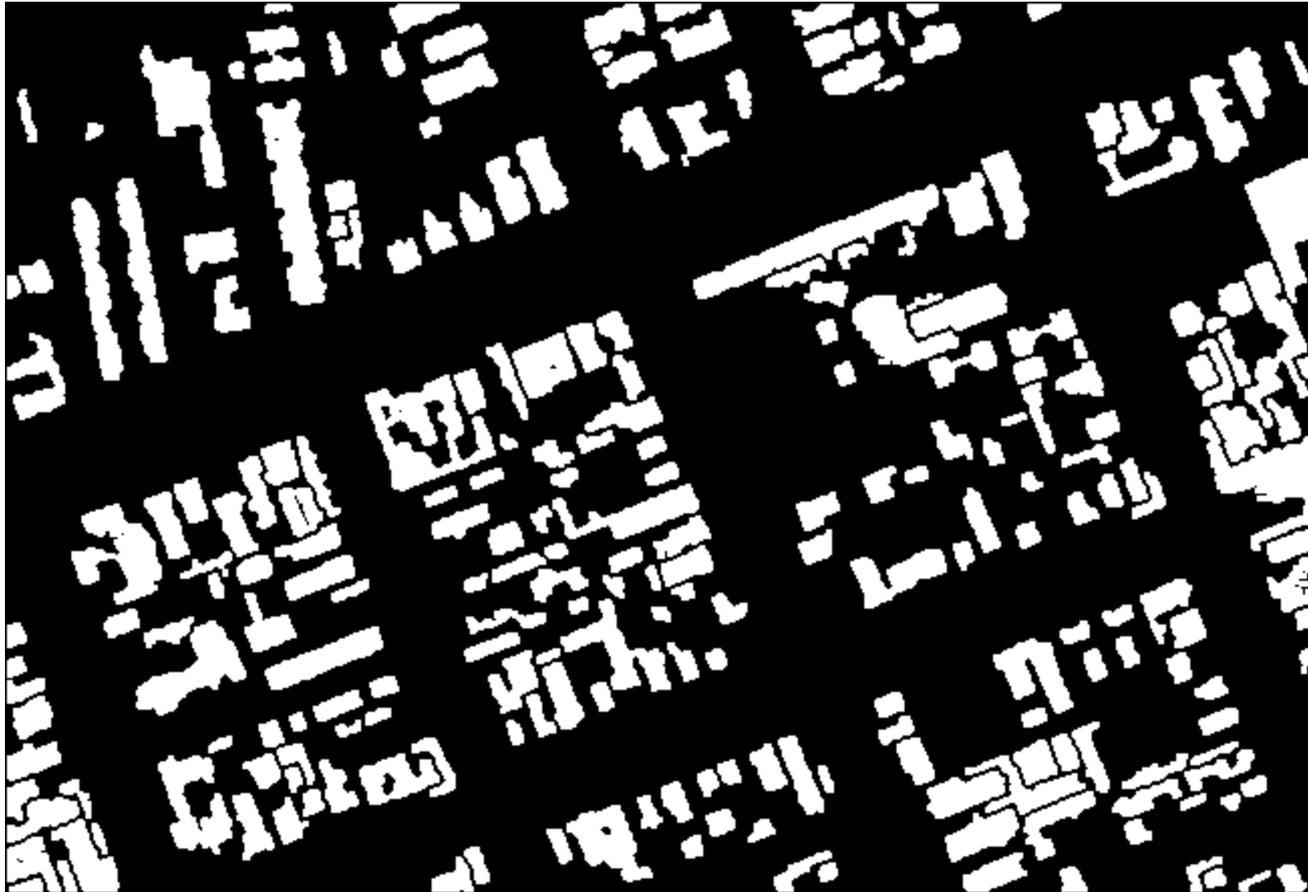
MDSn



Construções e árvores



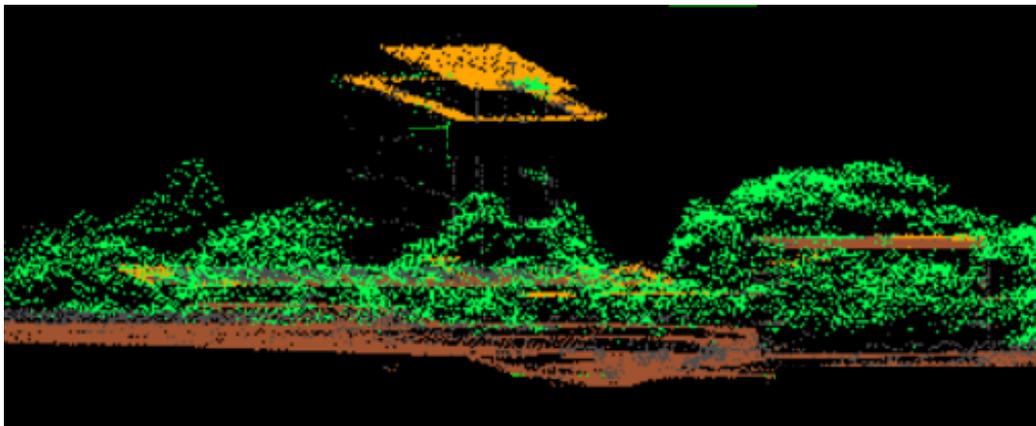
Supressão de árvores por textura



LODI

Pode ser resolvido com airborne LiDAR

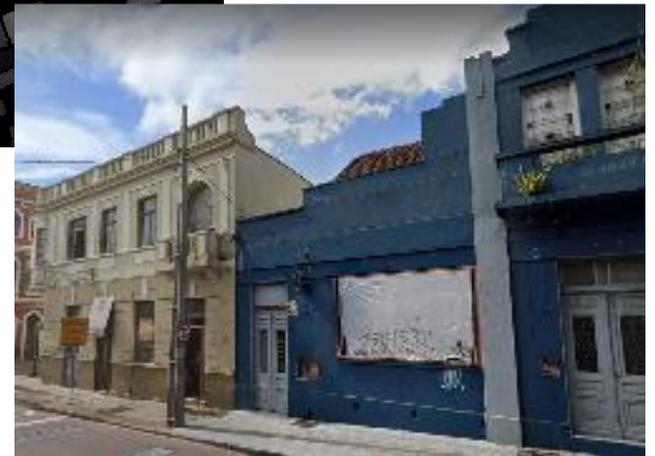
Obter um LOD0 e estimar a altura máxima ou média do prédio.



Exemplo...



Problema: como separar prédios diferentes se os mesmos são adjacentes?
Mais fácil para prédios isolados...



LOD2



Demanda a identificação dos elementos do telhado

Uma estratégia:

Segmentar os segmentos planos, por exemplo, por uma análise da planaridade ou curvatura da superfície, ou pelo agrupamento de regiões coplanares.

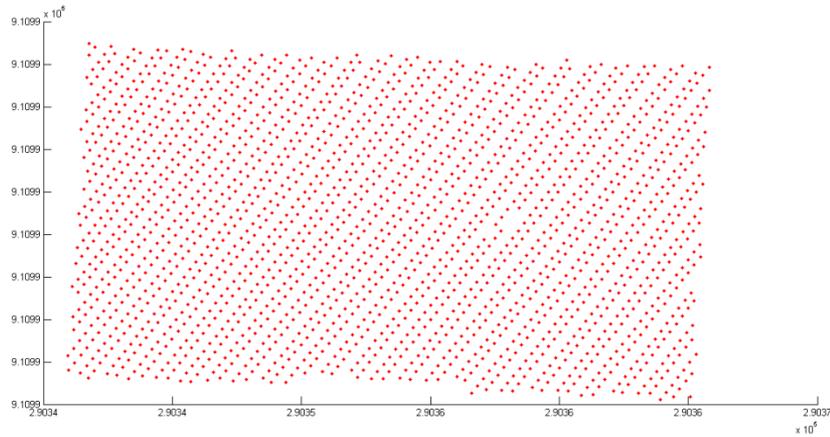
Uma vez detectados os segmentos planos, agrupar segmentos coplanares vizinhos para definir os polígonos que delimitam as bordas dos elementos que compõem o telhado

Combinar os elementos planos para obter o modelo do telhado

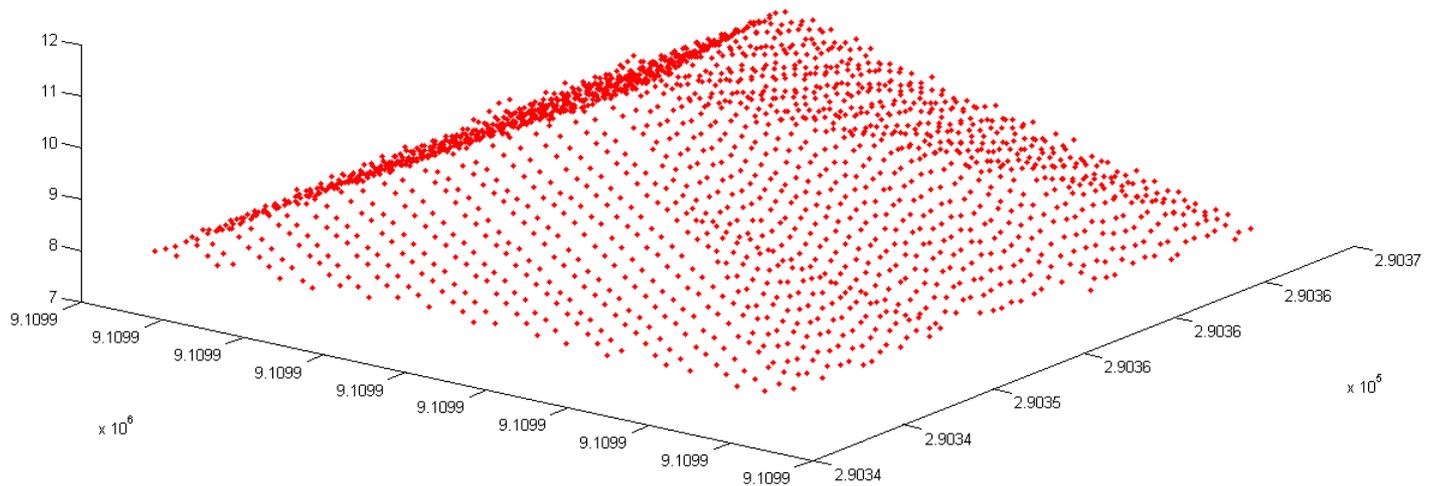
Os modelos são completados por paredes verticais e por um piso.

LOD2

- planta



- 3D

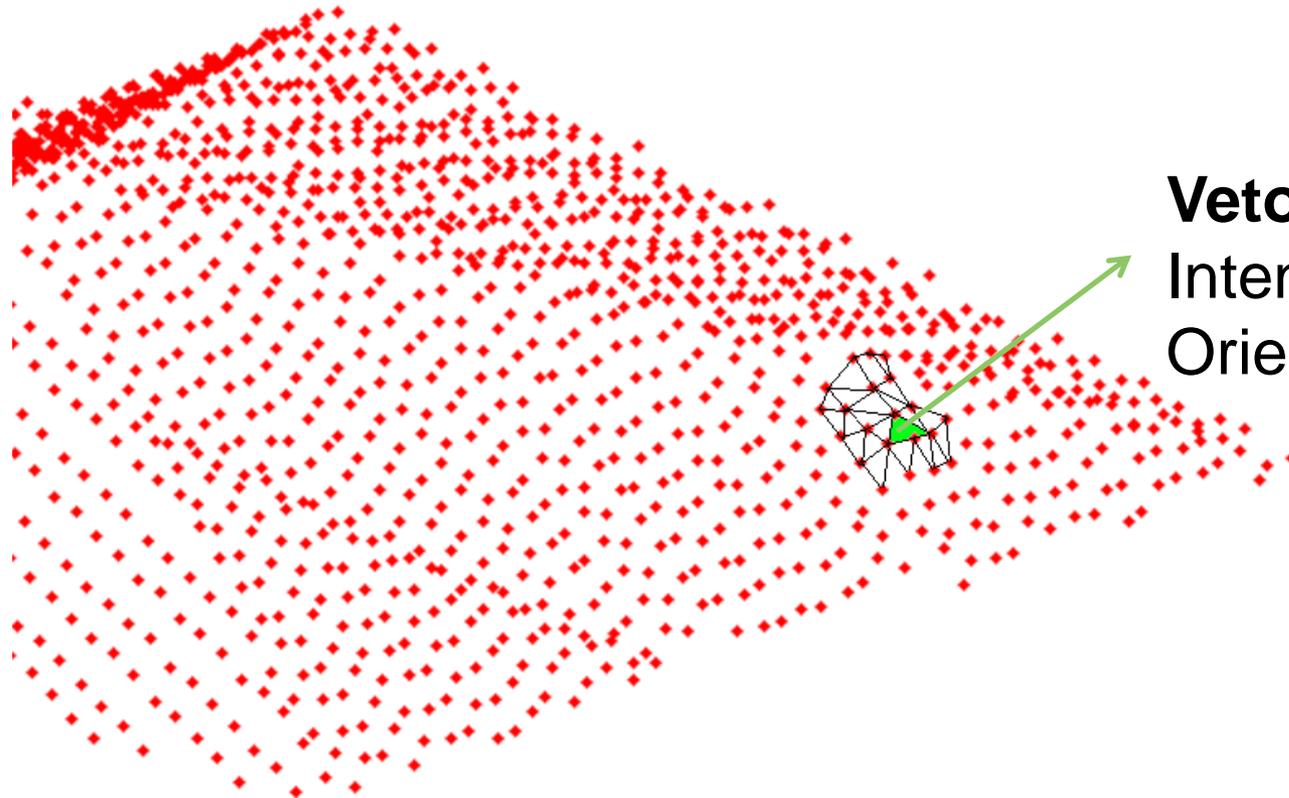


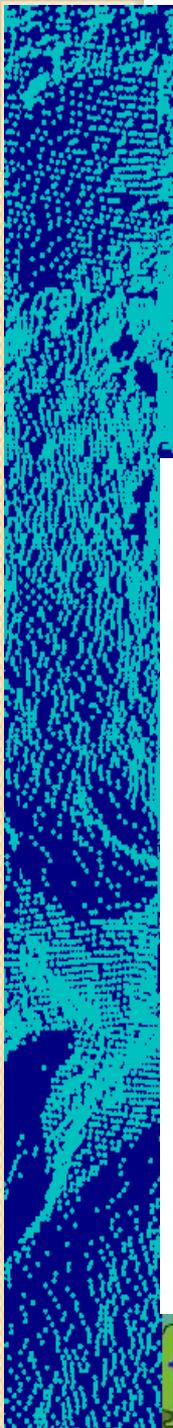
Uso de nuvem de pontos lidar como subsídio à estimativa de potencial fotovoltaico
Mitishita , Centeno (2014)

Uma estratégia

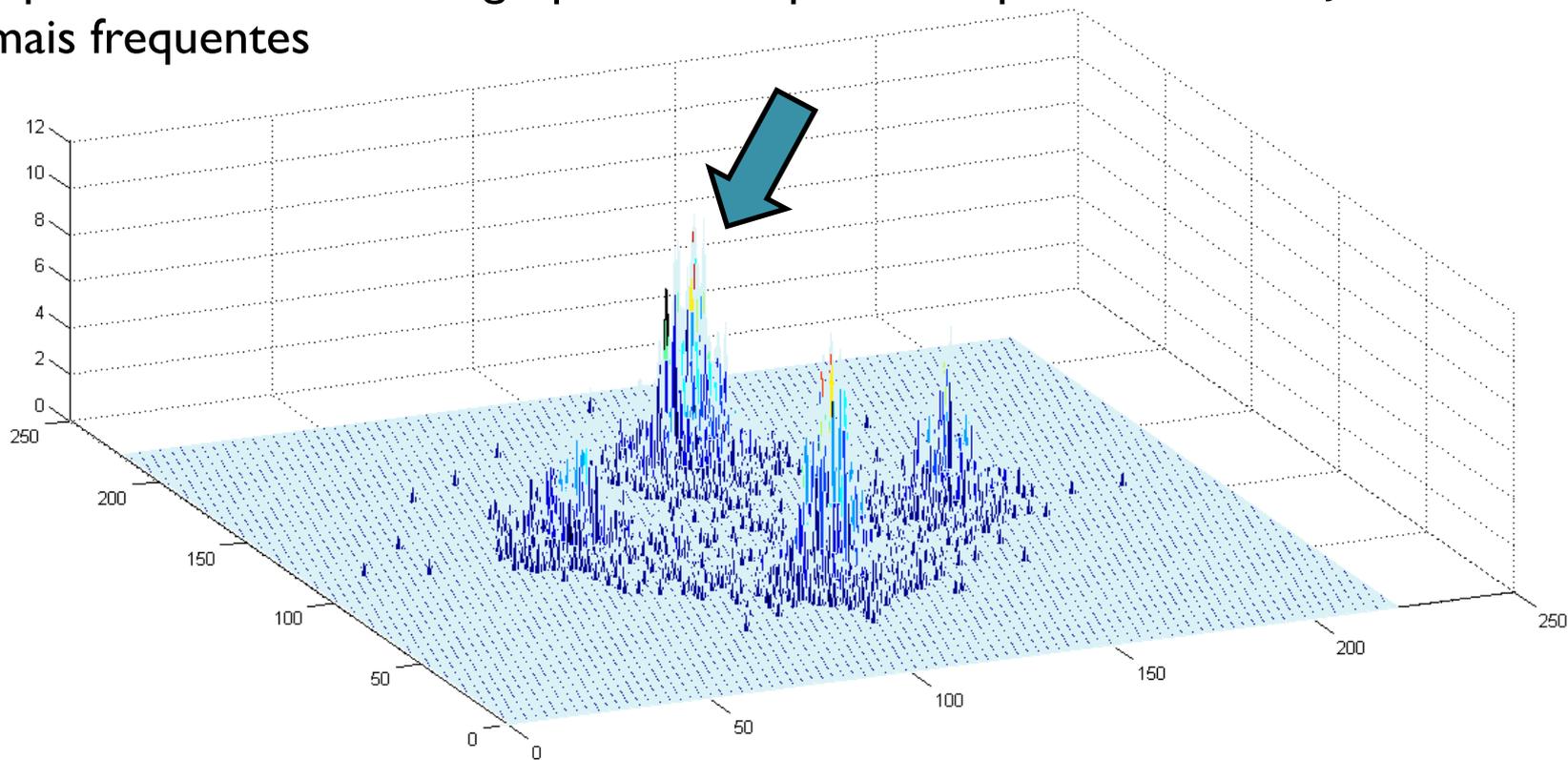
- Criar uma triangulação de Delaunay dentro do telhado.
- Calcular a orientação de cada triângulo
- Identificar as direções predominantes
- Agrupar triângulos coplanares e adjacentes até atingir as bordas de cada plano (crescimento de regiões)

- Criar uma triangulação de Delaunay dentro do telhado.
 - Calcular a orientação de cada triângulo

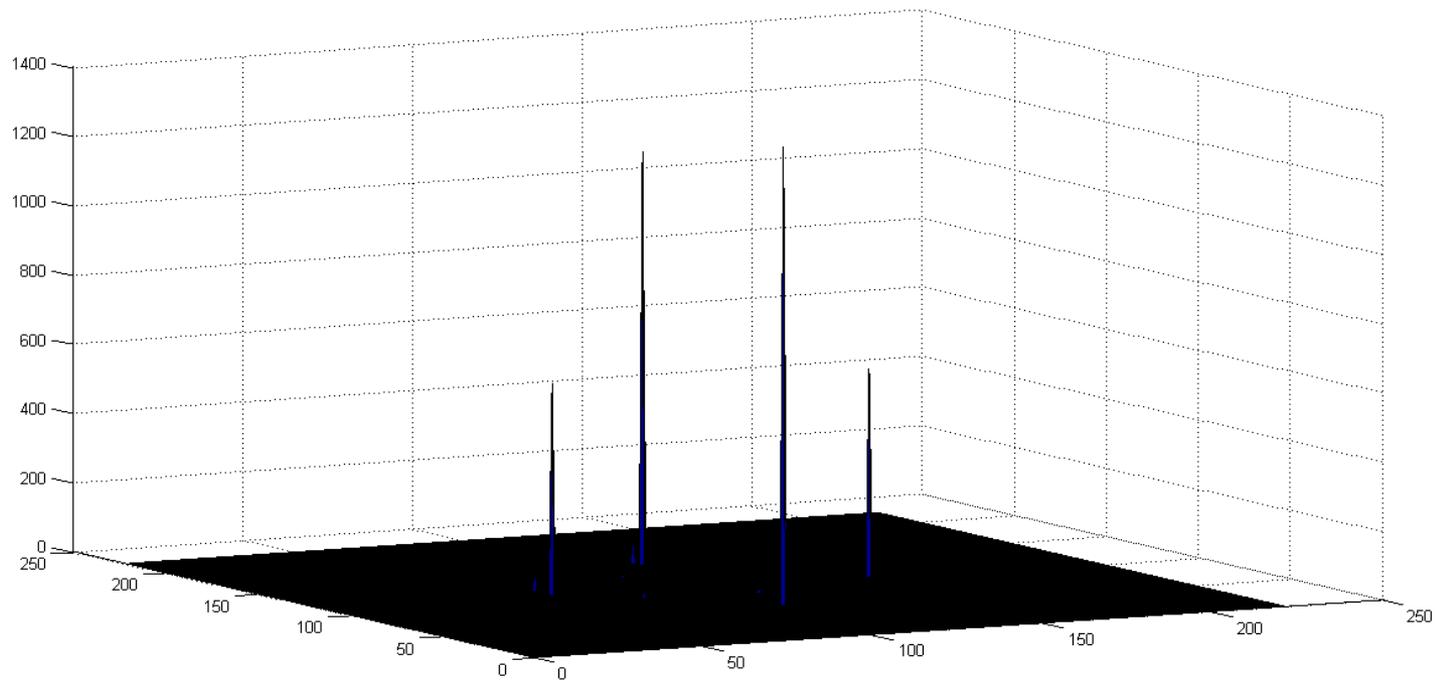




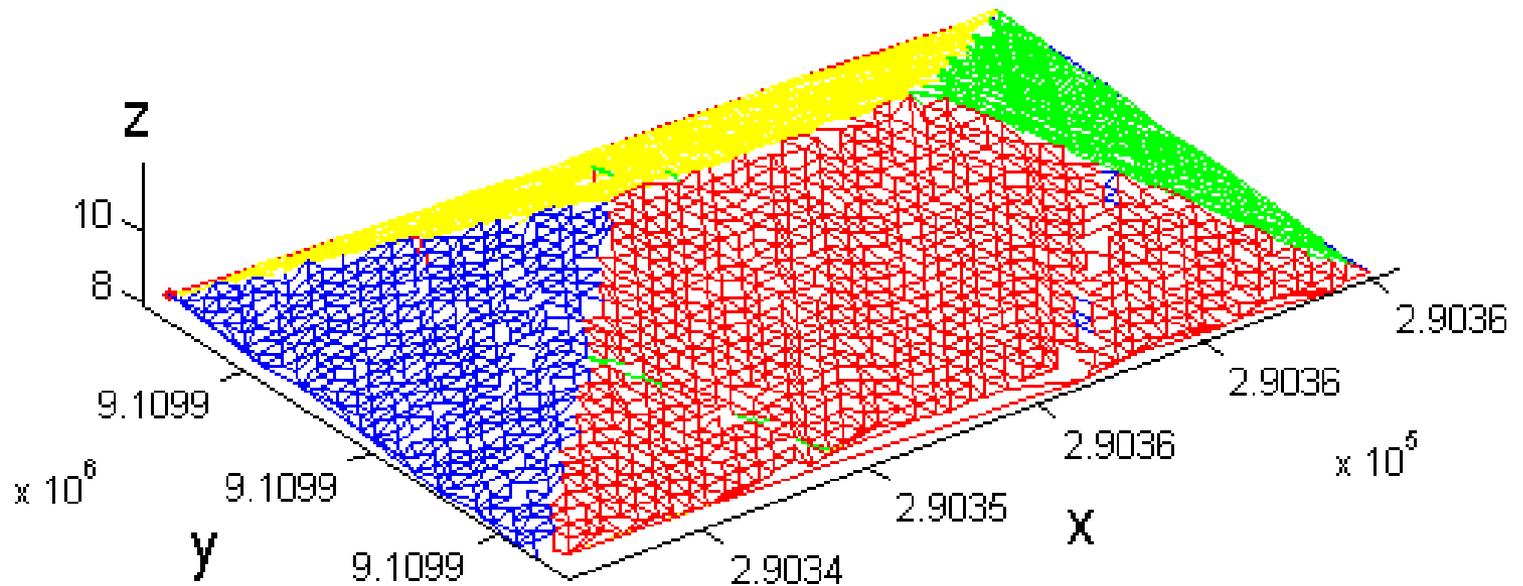
Identificar as direções predominantes:
projetar as componentes X e Y do vetor normal em uma grade discreta
e procurar os maiores agrupamentos, que correspondem às direções
mais frequentes



- direções mais frequentes



- Agrupar triângulos adjacentes com mesma direção (coplanares)

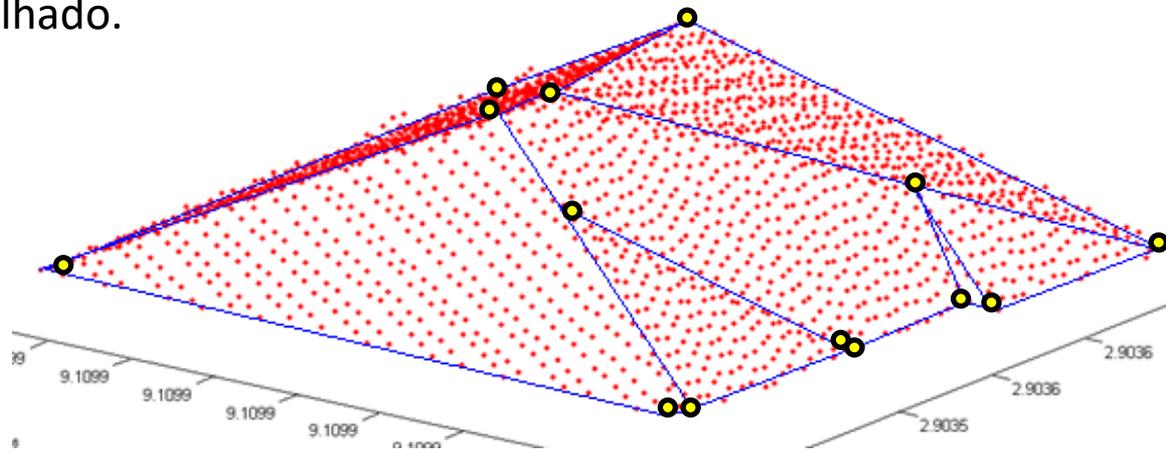


Outra opção

Modeling of roofs from point clouds using genetic algorithms. SABARIEGO, N.; CENTENO, J. A. S. Bulletin of Geodetic Sciences. 26(1): e2020004, 2020.

Alguns métodos de extração e modelagem de telhados usando dados LIDAR assumem que o telhado é composto por superfícies planas e são baseados na detecção de regiões planas e o agrupamento de segmentos coplanares.

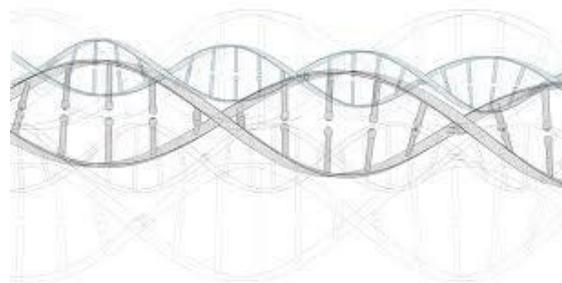
Foi proposta uma abordagem diferente usar algoritmos genéticos (AGs) para encontrar automaticamente os pontos significativos na nuvem de pontos de um telhado.



Algoritmos genéticos

Algoritmos genéticos são um conjunto de algoritmos de otimização inspirados no processo evolutivo natural.

- Técnicas de otimização são utilizadas para descobrir a solução óptima (ou sub-óptima) dentro de um universo de possíveis soluções.
- São geralmente utilizadas quando uma solução determinística, por meio de uma equação ou modelo, é difícil mas ela pode ser estimada pesquisando as possíveis soluções dentro de um espaço de variação dos parâmetros necessários.



Algoritmos Genéticos (AGs)

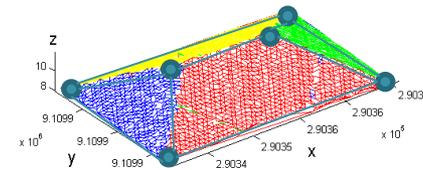
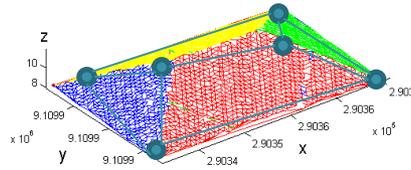
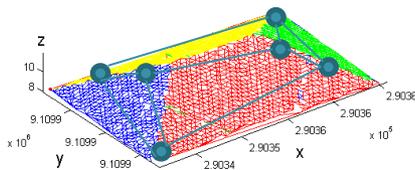
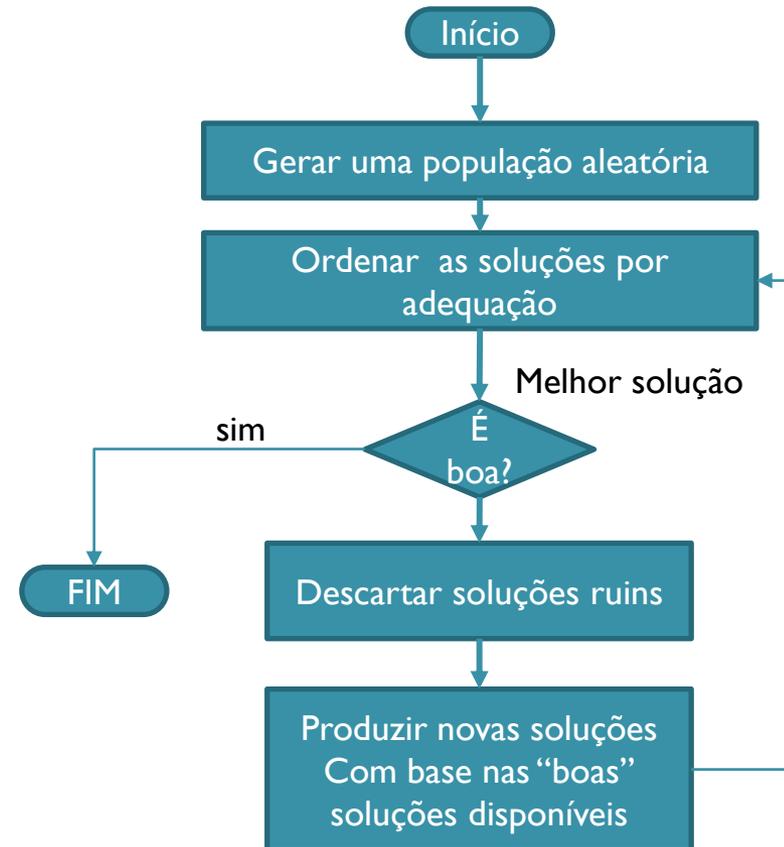
AGs simulam processos de evolução biológica (seleção natural, recombinação genética e sobrevivência do mais apto) no universo computacional para resolver um problema.

Para isso, as soluções possíveis são tratadas como indivíduos de uma população que evoluirá dentro de um processo iterativo, buscando a solução ótima (ou subótima) combinando soluções anteriores (indivíduos). B

Trata-se de uma busca direcionada controlada por uma função de aptidão, que determina a adequação de uma solução com base em seu escore de aptidão em um determinado momento do processo evolutivo. Assim, uma vez conhecida a adequação de cada solução, as melhores são então selecionadas e combinadas para produzir soluções melhores.

O algoritmo

- A partir de soluções aleatórias, gerar soluções melhores combinando as melhores soluções disponíveis e descartando as piores.



Modelo do telhado

O problema de otimização pode ser abordado da seguinte forma:

- O conjunto total de pontos é dividido em dois grupos:
 - P (pontos localizados em bordas);
 - Q (pontos localizados em áreas planas).

O objetivo é encontrar o sub-conjunto ótimo (ou sub-ótimo) S , um subconjunto de P ($S \in P$), que representa adequadamente os vértices dos planos do telhado.

O sucesso da seleção do sub-conjunto de pontos deve ser medido a cada iteração.

Para isto, propõe-se otimizar uma função objetivo que mede a proximidade entre o modelo calculado e a nuvem original

Seleção de pontos candidatos

Inicialmente são detectados pontos relevantes, aqueles localizados em regiões com alta curvatura, com base em parâmetros de

- linearidade (L)

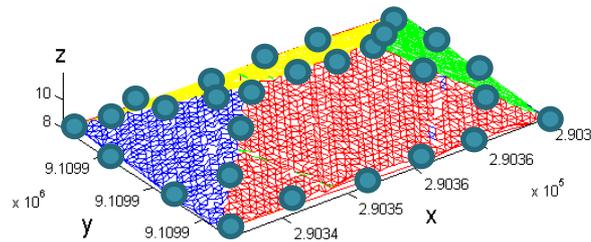
$$L = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1}$$

- planaridade (P), e

$$P = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_1}$$

- Curvatura (C)

$$C = \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$

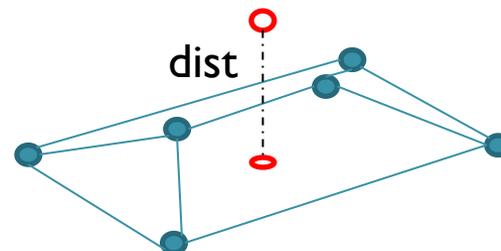


Função objetivo

A função objetivo deve medir a proximidade entre o modelo produzido e os pontos medidos originalmente.

- Com os pontos selecionados calcula-se uma triangulação (o modelo estimado)
- Todos os pontos da nuvem localizados em planos são projetados neste modelo
- Calcula-se a distância entre os pontos e o modelo disponível.

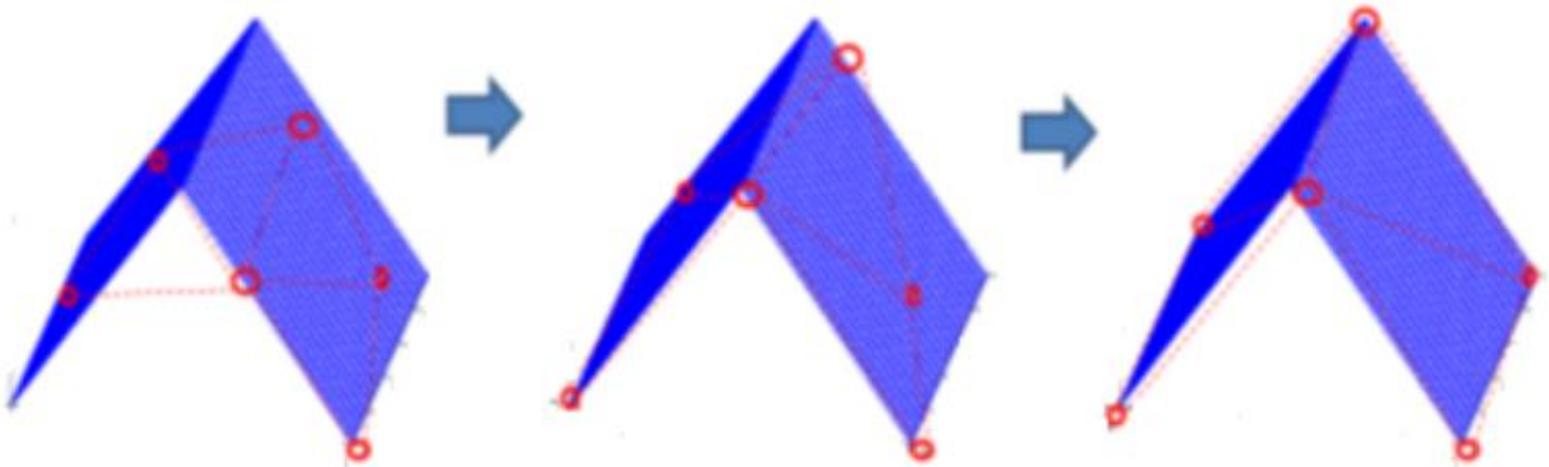
Na prática, não é esperado um erro nulo, pois existe variação das coordenadas XYZ, como consequência do processo de aquisição de dados. Portanto, o objetivo foi minimizar a distância média entre a nuvem de pontos e os planos definidos pela triangulação final.



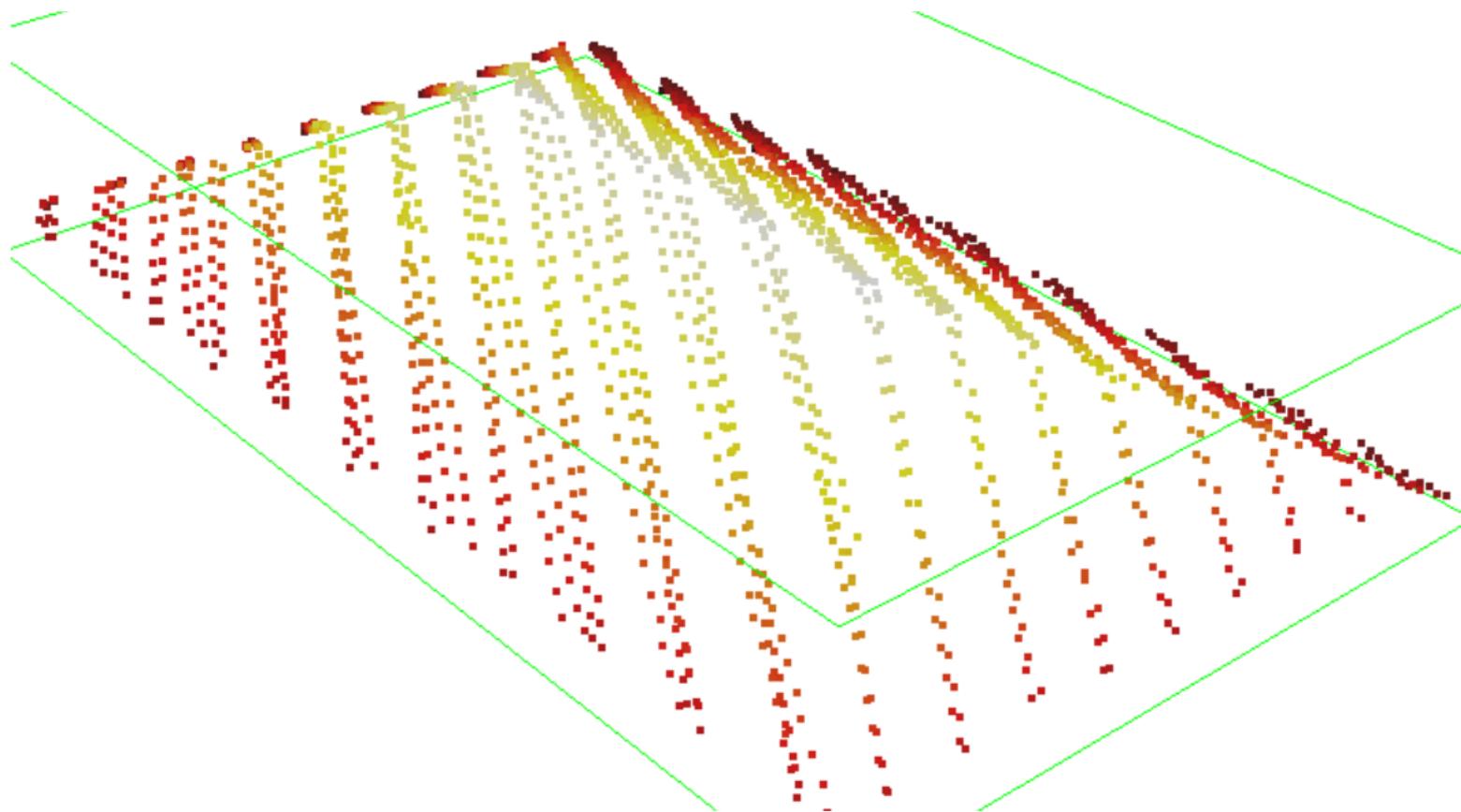
exemplo

- O escore de aptidão representa a proximidade entre a solução e os dados. Uma alternativa é penalizar diferenças maiores usando uma função quadrática.
- Maxi: maior diferença entre as cotas da nuvem

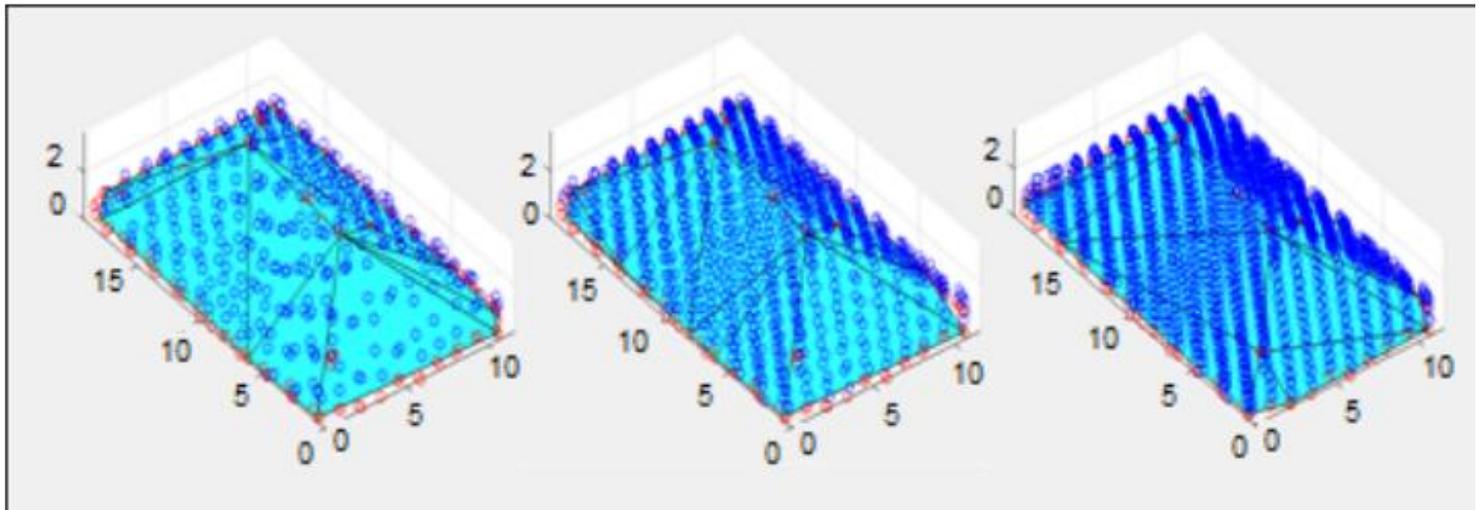
$$Fitness = 1 - \frac{Dist^2}{maxi^2}$$



exemplo

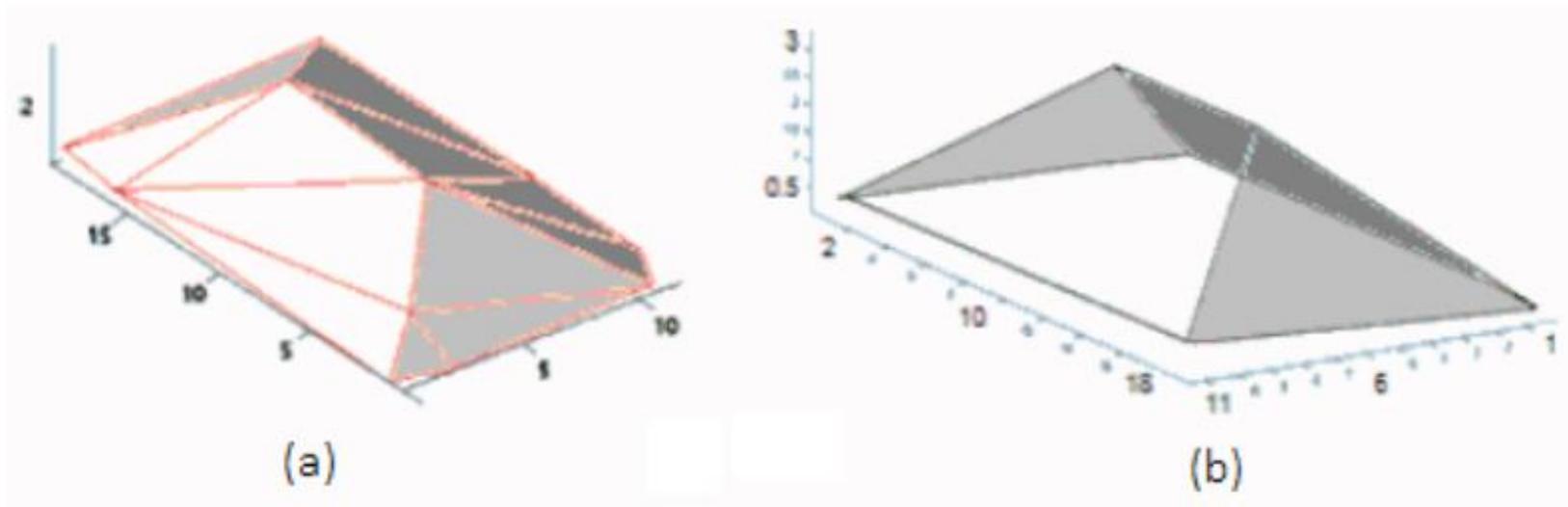


iterrações

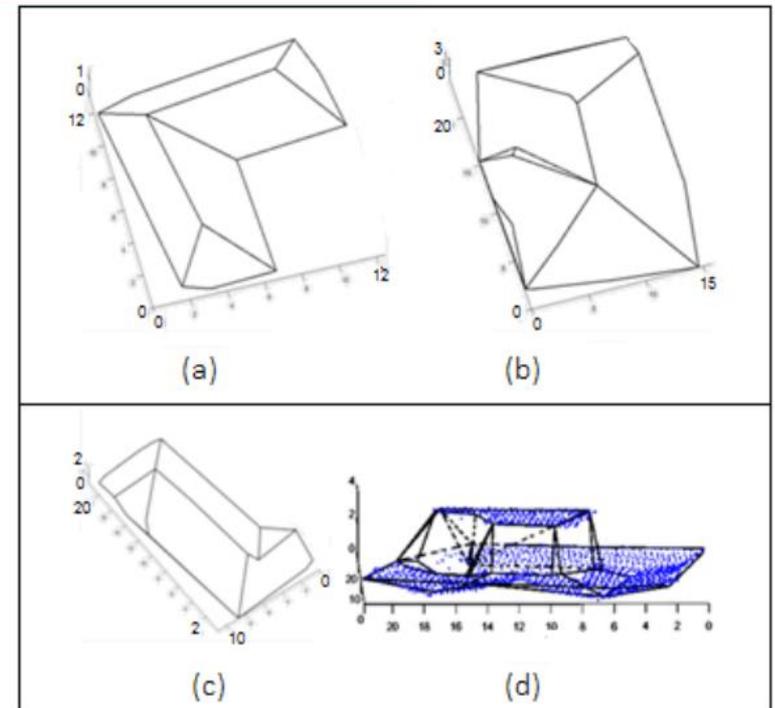
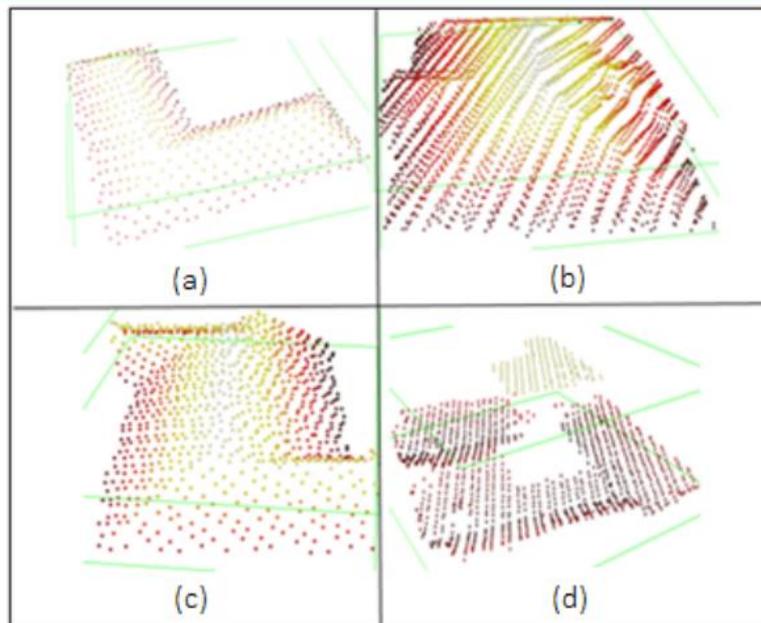


Mais é melhor no início...

- A princípio não se conhece a quantidade de pontos necessária para modelar o objeto. Por isso, um maior número de pontos do necessário é usada. Na fase final, pontos redundantes são removidos



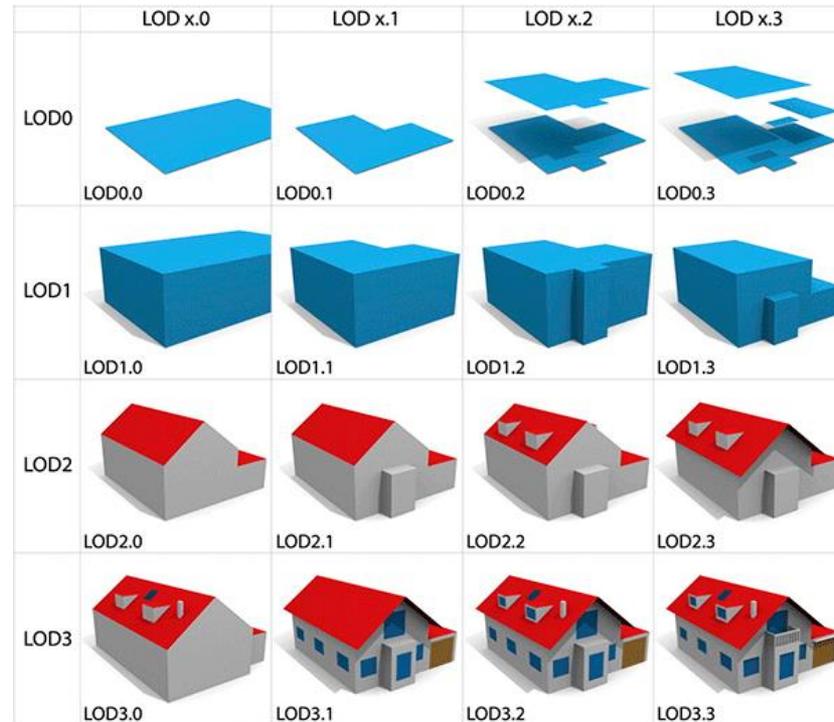
4 exemplos



Como a abordagem se baseia nos pontos, as bordas são aproximadas, mas devem ser refinadas

Voltando...

- BIM
- LoD



LOD3 modelo arquitetonicamente detalhado com janelas e portas, sendo consideravelmente mais complexo do que LOD2.

LOD4 um LOD3 que inclui elementos do interior

LOD3

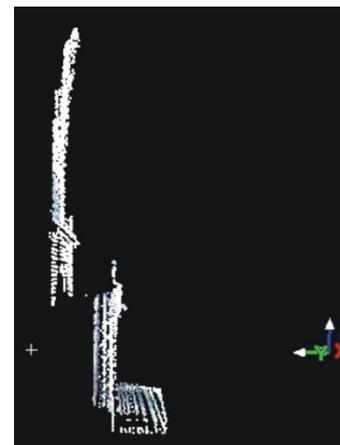


Objetivo: modelo arquitetonicamente detalhado com janelas e portas,

Pode ser resolvido com LiDAR terrestre ou fotogrametria terrestre (ou VANT) a curta distância

Detectar e modelar : Paredes diferentes, janelas, portas,

Medina A.



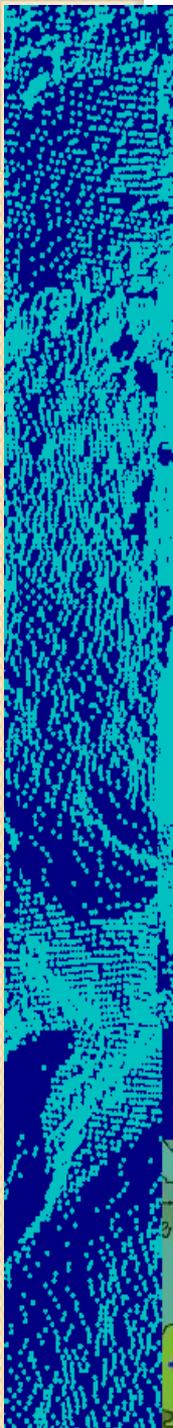
LIDAR terrestre móvel

FIGURA 9 - INSTALAÇÃO DO SISTEMA E VEÍCULO COM O SISTEMA INSTALADO.



ELIZABETE BUGALSKI DE ANDRADE PEIXOTO
DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE POSTES UTILIZANDO
NÚVEM DE PONTOS DO SISTEMA LASER TERRESTRE MÓVEL

Mestrado CPGCG/FPR



Um exemplo:

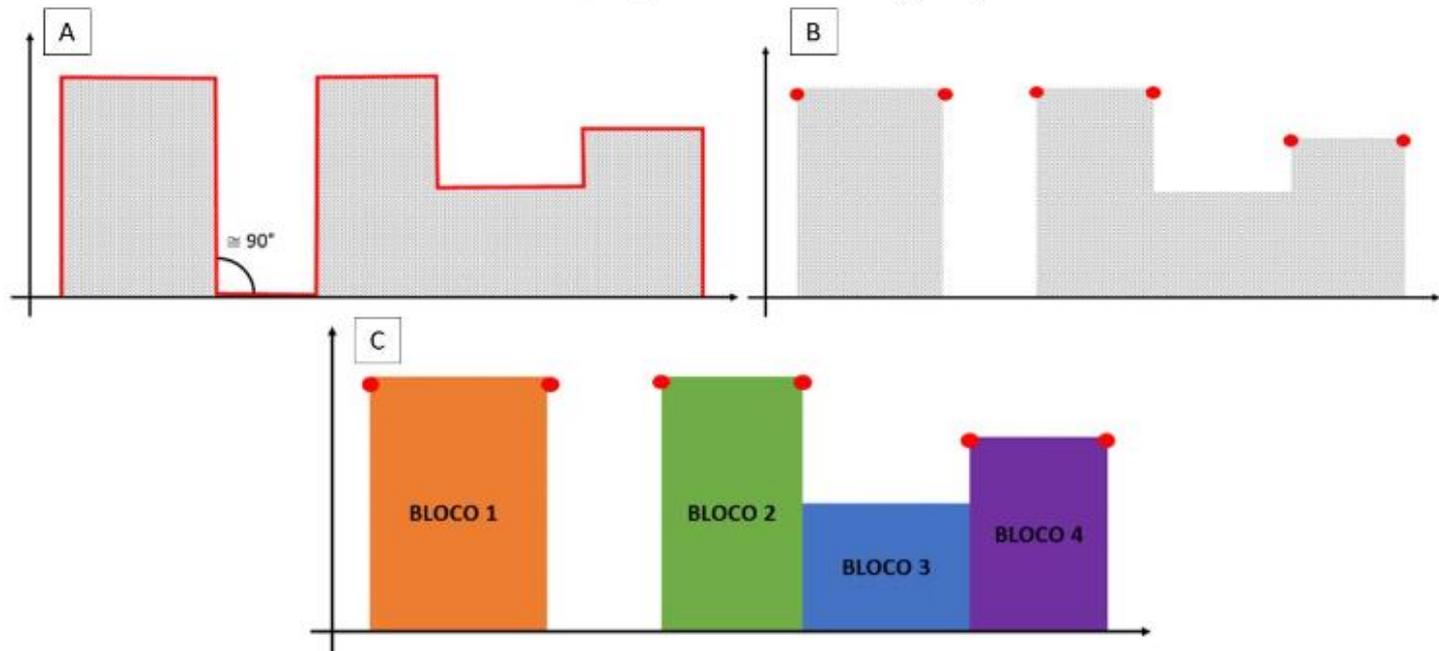
SOUSA, L.A.S. MODELAGEM GEOMÉTRICA DE EDIFICAÇÕES USANDO NUVENS DE PONTOS LIDAR. Mestrado UFPR/CPGCG

1. separar prédios adjacentes
2. separar diferentes planos de uma fachada
3. detectar e modelar janelas e portas em cada plano
4. Construir modelo 3D
5. agregar texturas

Separar objetos

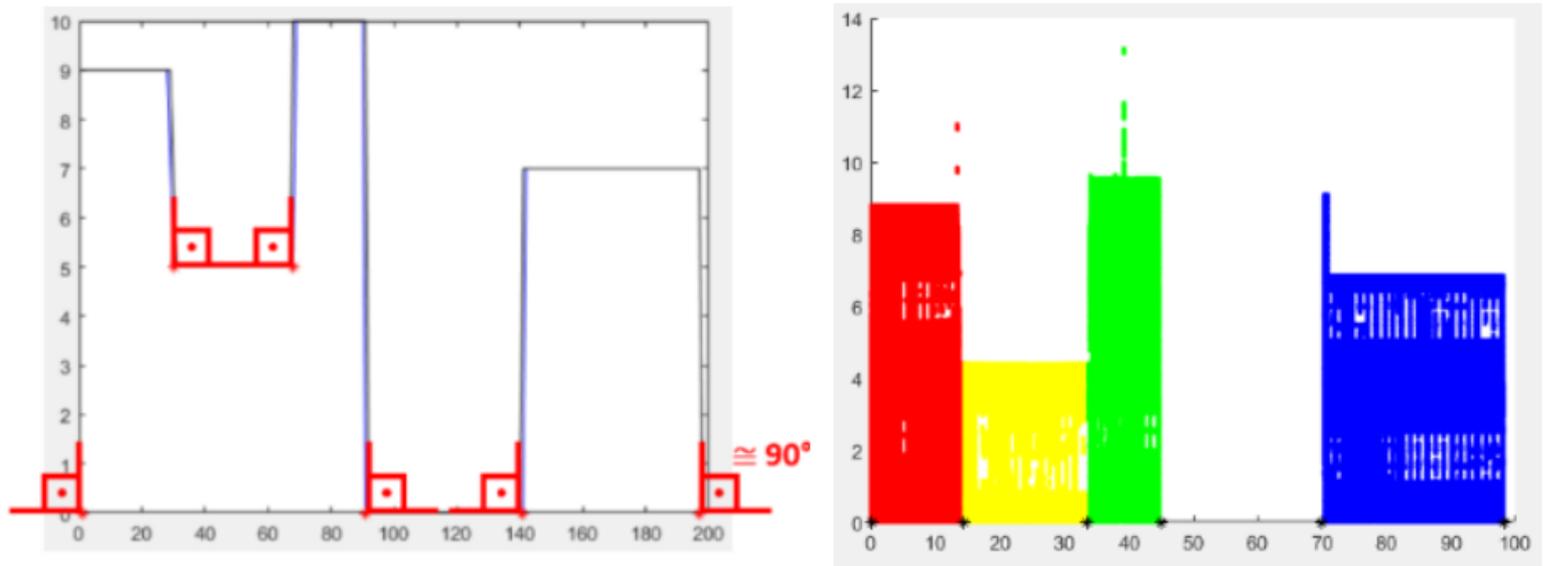
- Analisar a borda da nuvem de pontos e procurar variações bruscas

Figura 5 – Análise de um perfil longitudinal. A) Aproximação do contorno por segmentos de reta; B) detecção de bordas entre blocos; C) resultado da separação e blocos.



exemplo

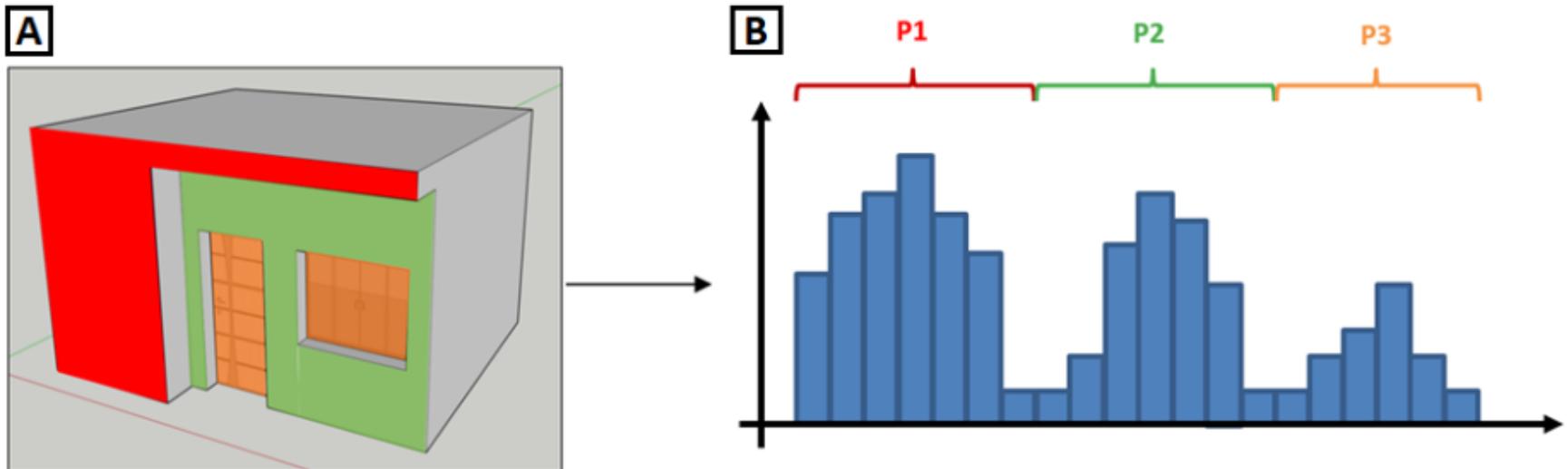
Figura 11 – Divisão da nuvem em blocos de fachada pela análise dos ângulos que a formam.



planos

- Separar os planos que formam a fachada analisando a profundidade. Buscar picos dos aglomerados das profundidades.

Figura 6 – Geração do Histograma de Profundidade. A) fachada formada por três planos (vermelho, verde e laranja). B) histograma de profundidades desta fachada.

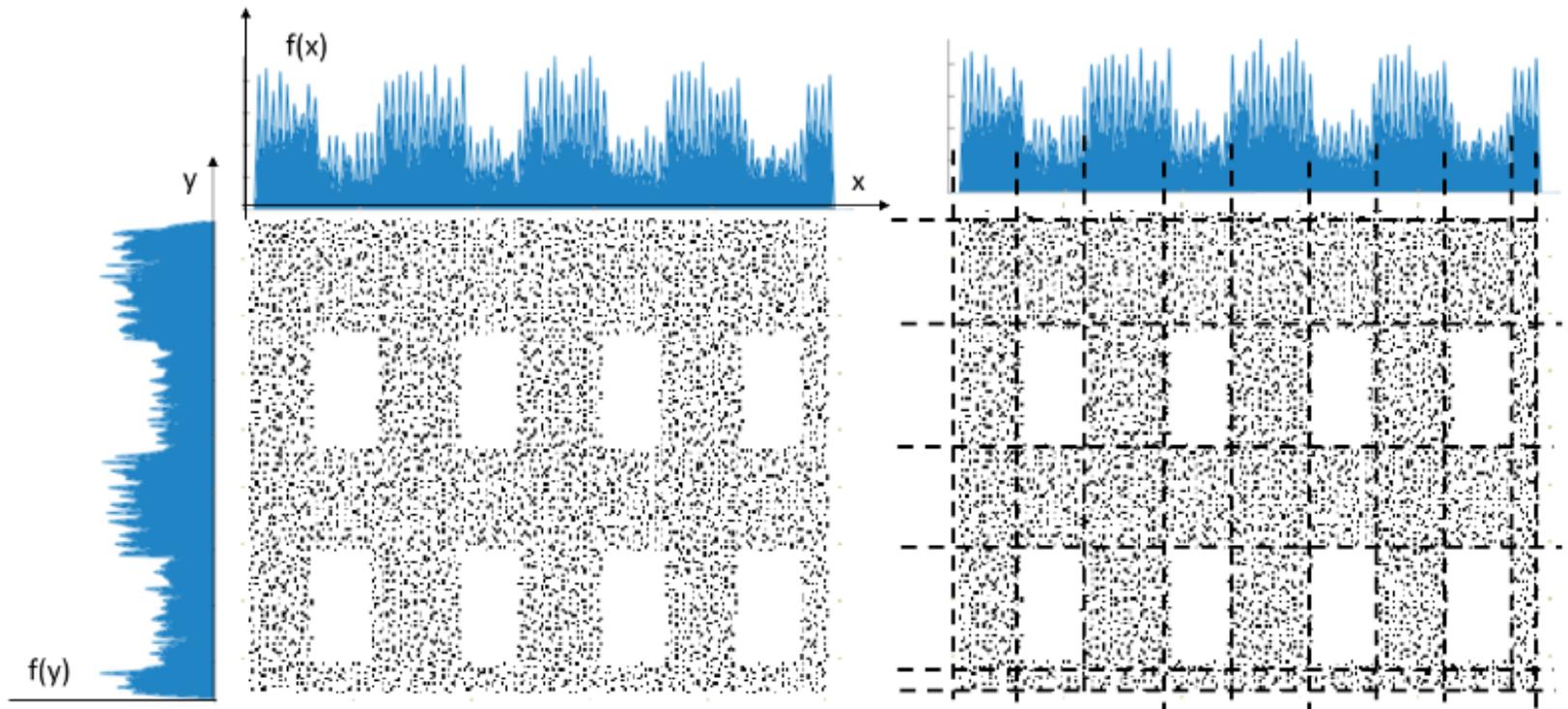


Exemplo real



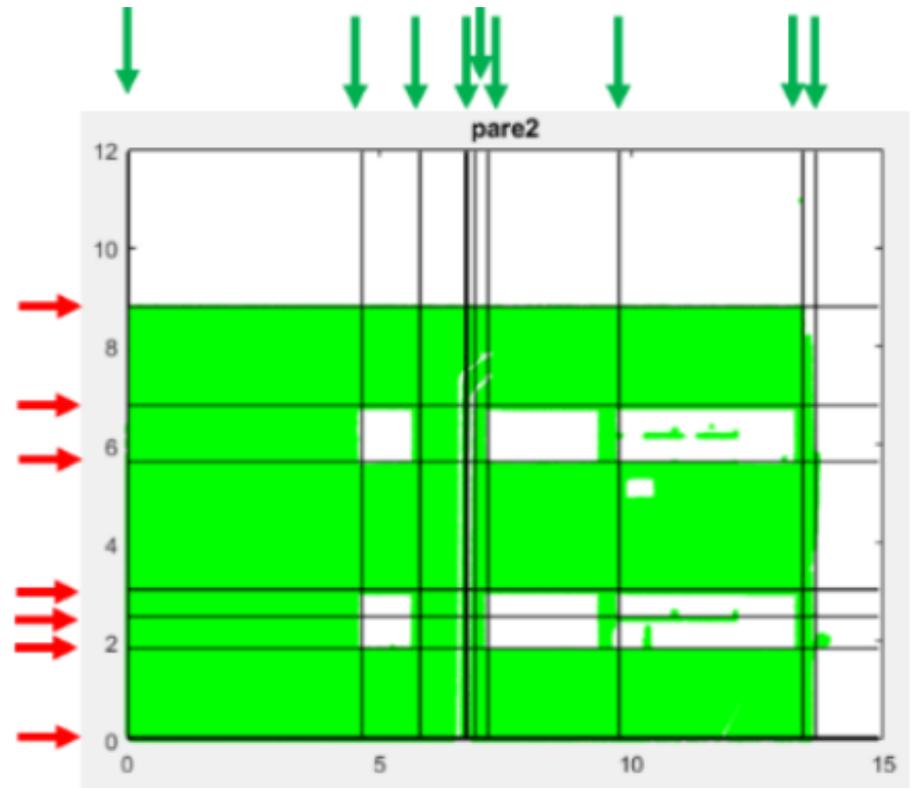
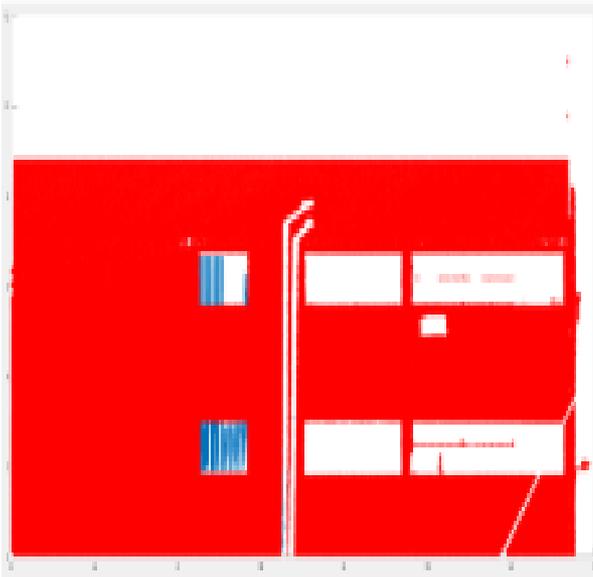
Detectar janelas e portas

Figura 3 – Exemplo de histogramas da nuvem de pontos em direções determinadas.



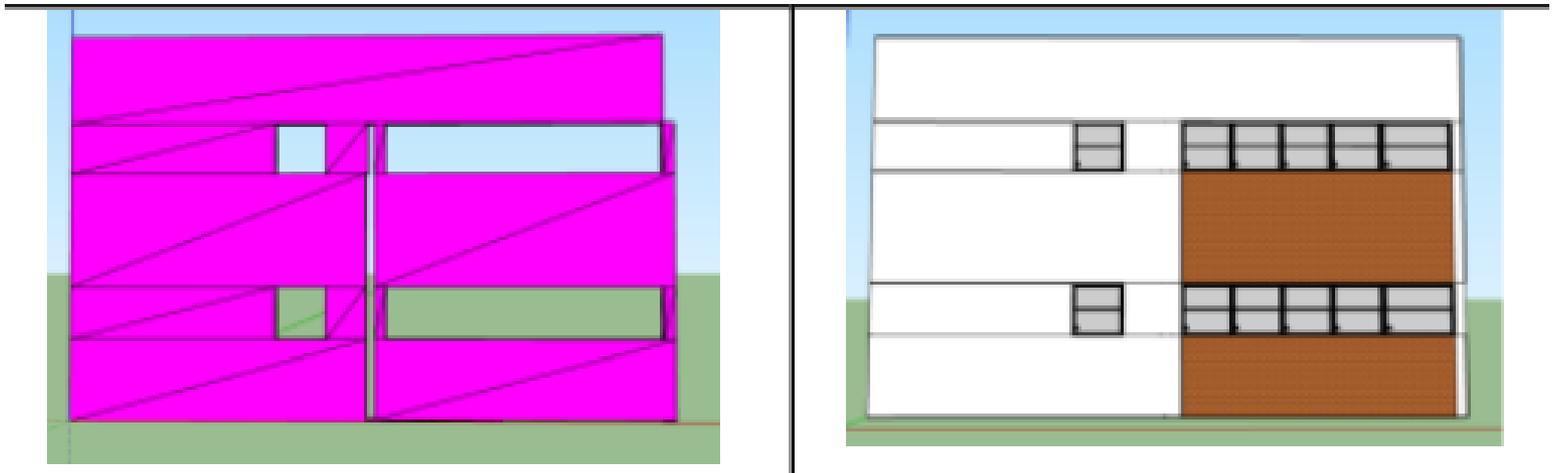
Análise de densidade parcial

Exemplo real



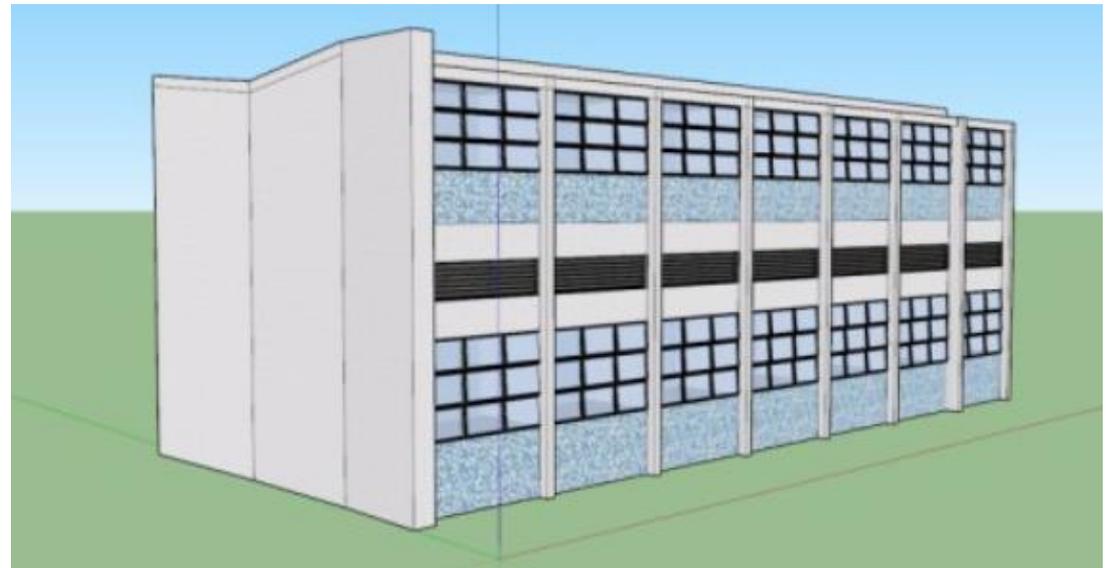
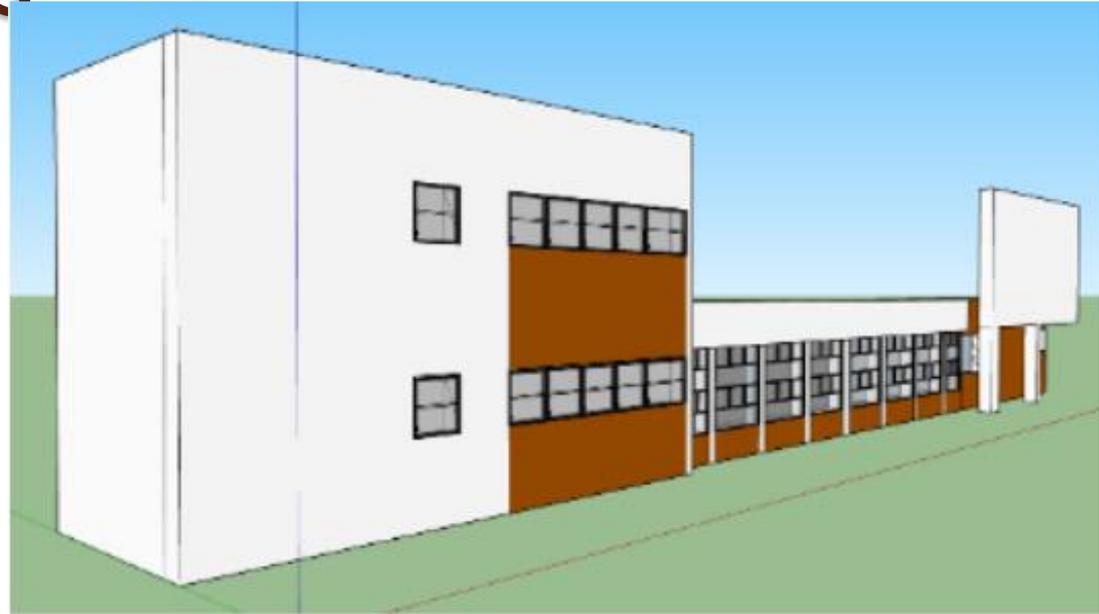
Modelagem 3D

- Com base nos blocos definidos na etapa anterior:
- A) agrupar blocos adjacentes
- B) alinhar
- Produzir representação com textura



Resultados

Após
edição



LUÍS ANTÔNIO SOARES E SOUSA; Jorge
Antônio Silva Centeno
MODELAGEM GEOMÉTRICA DE
EDIFICAÇÕES USANDO NUVENS DE
PONTOS LIDAR
Rev. Bras. Cartogr, vol. 73, n. 3, 2021

Discussão

Proponha uma estratégia para avaliar o Potencial Fotovoltaico de Telhados de uma pequena cidade.



www.blom-uk.co.uk

