

REDUÇÃO DA DENSIDADE DE NUVENS DE PONTOS LIDAR: AVALIAÇÃO DE TRADE-OFFS ENTRE PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE PROCESSAMENTO PARA SISTEMATIZAÇÃO DE TERRENO AGRÍCOLA

VINÍCIUS SPIERING DA CRUZ¹; MARCELA PLAMER LARROSSA²; TÁSSIA PARADA SAMPAIO³; LARISSA ALDRIGHI DA SILVA⁴; NEFTALI LENIN VILLARREAL CARRENO⁵; DIULIANA LEANDRO⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – vinyspierung@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – marcelalarrossa947@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – tssiap.sampaio@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – larissa.aldrighi@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – neftali@ufpel.edu.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – diuliana.leandro@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Detalhamento do Produto/Serviço: A inovação proposta é um protocolo de processamento de dados LiDAR otimizado para a geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) aplicados à sistematização de terreno agrícola. Os dados foram coletados com sensor DJI Zenmuse L2 e processados no software DJI Terra (versão 5.2.8), testando os três níveis oficiais de densidade de nuvem de pontos oferecidos pelo software, sendo elas: Alta (100%), Média (25%) e Baixa (6,25%), mantendo fixos os demais parâmetros de processamento, o que permite isolar exclusivamente o efeito da densidade sobre a qualidade do MDT gerado. A exatidão vertical de cada modelo foi validada por comparação com pontos de controle levantados por RTK, referência de precisão exigida por projetos de sistematização de terreno.

Diferenciais: O fluxo padrão adotado pela maioria das empresas de aerolevantamento processa a densidade máxima da nuvem de pontos por padrão, independentemente da finalidade dos dados, o que aumenta o tempo de processamento e o volume de armazenamento sem necessariamente agregar precisão útil à aplicação final. Estudos correlatos que avaliaram a subamostragem de nuvens de pontos LiDAR em ambiente agrícola mostram que reduções expressivas de densidade podem manter a exatidão exigida por diferentes aplicações: Bhattarai et al. (2025), processando dados LiDAR no próprio DJI Terra, verificaram que a subamostragem da nuvem em até 90% ainda produzia acurácia satisfatória de altura de dossel, com ganhos relevantes de tempo de processamento e tamanho de arquivo. Hämmerle e Höfle (2014) mostraram que reduzir a resolução de escaneamento LiDAR a 25% ainda preserva mais de 90% de cobertura útil do modelo de superfície. Já Agüera-Vega et al. (2020) demonstraram que a densidade de pontos e o tamanho de grade utilizados afetam diretamente a exatidão de Modelos Digitais de Terreno em nível de microtopografia, sendo justamente a escala de detalhe que interessa à sistematização de terreno agrícola. No contexto nacional, Bueno et al. (2019), em estudo conduzido pela UFPEL e pela Embrapa Clima Temperado em lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, evidenciaram a sensibilidade da exatidão altimétrica na demarcação de taipas conforme a tecnologia empregada, reforçando a importância de validar tecnicamente qualquer alternativa de levantamento antes de sua adoção operacional. Chen et al. (2024), em revisão sobre tecnologias de nivelamento de precisão, também apontam a otimização do processamento de dados como uma fronteira ainda pouco explorada na cadeia de sistematização de terreno. O

diferencial desta inovação é aplicar essa lógica de otimização à sistematização de terreno agrícola, identificando de forma empírica o menor nível de densidade que ainda preserva a exatidão vertical exigida pela engenharia de terreno, com resultados que mostram exatidão vertical do MDT praticamente estável entre as três densidades avaliadas, ainda que com custo de completude espacial em grades finas nas densidades mais baixas.

2. ANÁLISE DE MERCADO

Público-alvo: Empresas de aerolevantamento e geoprocessamento agrícola, consultorias de engenharia rural especializadas em sistematização de terreno, e cooperativas e produtores rurais que demandam nivelamento e controle de gradiente em suas áreas, perfil comum na metade sul do Rio Grande do Sul, onde temos uma região com forte presença de lavouras (Maciel et al., 2024), o que torna a sistematização de terreno uma demanda recorrente.

Concorrentes: O mercado é hoje atendido majoritariamente por fluxos de processamento padronizados que utilizam a densidade máxima do sensor independentemente do uso final dos dados, elevando custo computacional e prazo de entrega. Levantamentos topográficos convencionais por GNSS/RTK ponto a ponto seguem sendo usados, mas têm cobertura espacial e produtividade muito inferiores ao LiDAR aéreo.

Potencial de Mercado: O mercado potencial abrange, em uma escala mais ampla, o mapeamento agrícola por aeronaves remotamente pilotadas em todo o Brasil, hoje em expansão. Pensando em uma escala regional, temos os serviços de sistematização de terreno agrícola no Rio Grande do Sul, com adoção inicial prevista por empresas de geoprocessamento em Pelotas e região.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Modelo de Negócios: O protocolo pode ser incorporado como serviço de valor agregado por empresas de aerolevantamento, com precificação diferenciada conforme o nível de densidade/precisão contratado, ou como metodologia de referência para reduzir custos operacionais no próprio fluxo interno dessas empresas.

Etapas de Desenvolvimento: A coleta de dados já foi concluída (sensor DJI Zenmuse L2), assim como o processamento e a validação por checkpoints RTK nos três níveis de densidade avaliados (Alta, Média e Baixa). As próximas etapas incluem estender a validação a outras áreas e avaliar parâmetros adicionais de processamento no DJI Terra (otimização de acurácia, suavização, classificação de solo).

TRL: O desenvolvimento encontra-se em nível TRL 3–4, tendo o conceito validado experimentalmente em condição real de campo, ainda sem replicação em escala comercial.

Desafios e Riscos: É necessário validar o protocolo em terrenos com diferentes coberturas vegetais e condições topográficas. Outros desafios são o alto investimento inicial em sensoriamento LiDAR e a possível resistência das empresas do setor à mudança de fluxos de processamento já estabelecidos.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Impacto Social ou Ambiental: O principal registro de impacto está no uso racional da água na agricultura irrigada. Com um fluxo de processamento mais eficiente, temos a redução dos custos técnicos da sistematização de terreno, ajudando no controle da água e facilitando o acesso aos pequenos produtores às tecnologias da agricultura de precisão

Projeções Financeiras: Os resultados obtidos (Quadro 1) mostram que a redução da densidade de pontos processados em mais de 93% mantém o RMSE vertical do MDT praticamente inalterado e reduz o tempo de processamento, representando menor custo computacional e de armazenamento por levantamento, especialmente relevante para empresas que processam múltiplas áreas. Em contrapartida, a proporção de células sem dados suficientes em grades finas aumenta de forma expressiva na densidade mais baixa, evidenciando um trade-off que deve orientar a escolha da densidade conforme a resolução de MDT exigida pelo projeto.

Quadro 1 – Comparação de resultados entre as três densidades de nuvem de pontos avaliadas

Métrica	Alta (100%)	Média (25%)	Baixa (6,25%)
Densidade final (pts/m ²)	188 pts/m ²	48pts/m ²	12pts/m ²
RMSE nuvem bruta (m)	0,164m	0,176m	0,179m
RMSE do MDT final (m)	0,182m	0,184m	0,185m
Células não conformes, grid 0,25 m (%)	1,25%	9,51%	44,75%
Tempo de processamento	36min32s	29min04s	26min33s

Fonte: elaboração dos autores (2026), a partir dos relatórios de qualidade do DJI Terra.

Visão de Futuro: A validação do protocolo de densidade inicia uma matriz experimental mais ampla, que avaliará outros parâmetros do DJI Terra, como classificação do solo, suavização e resolução do MDT. O objetivo é elaborar um guia com os parâmetros de processamento mais adequados a cada aplicação dos resultados.

5. CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que a redução da densidade da nuvem de pontos LiDAR mantém a exatidão vertical do MDT praticamente inalterada e reduz o tempo de processamento, mostrando que processar na densidade máxima por padrão nem sempre é necessário para a finalidade de sistematização de terreno. Por outro lado, em grades finas a proporção de células sem dados suficientes para interpolação confiável aumenta de forma expressiva, indicando que a densidade reduzida é adequada para MDTs de resolução mais grosseira, mas não para aplicações que exigem detalhamento de microrrelevo, portanto, temos um limite prático importante para orientar a escolha da densidade conforme o objetivo do levantamento.

Convida-se empresas de aerolevantamento, consultorias de engenharia rural e cooperativas de produtores rurais a testar e validar o protocolo proposto em suas próprias áreas de atuação, contribuindo para consolidar o guia para o processamento de dados LiDAR aplicado à sistematização de terreno agrícola.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÜERA-VEGA, F.; AGÜERA-PUNTAS, M.; MARTÍNEZ-CARRICONDO, P.; MANCINI, F.; CARVAJAL, F. Effects of point cloud density, interpolation method and grid size on derived Digital Terrain Model accuracy at micro topography level. *International Journal of Remote Sensing*, v.41, n.21, p.8281-8299, 2020.

BHATTARAI, A.; SCARPIN, G.J.; JAKHAR, A.; PORTER, W.; HAND, L.C.; SNIDER, J.L.; BASTOS, L.M. Optimizing Unmanned Aerial Vehicle LiDAR Data Collection in Cotton Through Flight Settings and Data Processing. *Remote Sensing*, v.17, n.9, artigo 1504, 2025.

BUENO, M.V.; CAMPOS, A.D.S.; SILVA, J.T.; FARIA, L.C.; TERRA, F.S.; PARFITT, J.M.B. Demarcation of Levees in Irrigated Rice Fields: Laser Technology vs. GNSS-RTK. *Applied Engineering in Agriculture*, v.35, n.3, p.431-437, 2019.

CHEN, G.; HU, L.; LUO, X.; WANG, P.; HE, J.; HUANG, P.; ZHAO, R.; FENG, D.; TU, T. A review of global precision land-leveling technologies and implements: Current status, challenges and future trends. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.220, artigo 108901, 2024.

DJI. *Introduction to DJI Terra LiDAR Point Cloud Processing*. Shenzhen: DJI Enterprise, 2024. Online. Disponível em: <https://support.dji.com/help/content?customId=01700004818>

HÄMMERLE, M.; HÖFLE, B. Effects of Reduced Terrestrial LiDAR Point Density on High-Resolution Grain Crop Surface Models in Precision Agriculture. *Sensors*, v.14, n.12, p.24212-24230, 2014.

MACIEL, É.C.; SILVA, C.N. da; CUNHA, V. dos S.; CONCEIÇÃO, C.G. da; FONTANELA, E.; SANTOS, A.R.P. dos; JACQUES, L.B.A.; DIAS, V. de O. Plataformas de aquisição de dados planialtimétricos para criação de projetos de suavização do terreno para cultivo de soja em terras baixas. *Caderno Pedagógico*, v.21, n.13, e12121, 2024.