COBRAC 2026

VÉRTICES VIRTUAIS TOOLBOX: Ferramenta de Código Aberto para Propagação Rigorosa de Incertezas no Cadastro Territorial Brasileiro



Autores:

Ellyon Magri Martins | UFPR | ellyon@ufpr.br

Tiago Lima Rodrigues | UFPR | tiagorodrigues@ufpr.br

Ivandro Klein | IFSC | ivandroklein@ufpr.br

UFSC PPGTG UFSC GOTT

Contexto e a Lacuna Prática

- **O Desafio:** A legislação brasileira (INCRA e ABNT NBR 17.047) exige que vértices definidores de limites possuam e incertezas posicionais associadas.

- **O Problema dos Vértices Virtuais (VVs):** Vértices virtuais, inacessíveis, ou ocultos exigem métodos indiretos de cálculo. Pela falta de ferramentas automatizadas, profissionais frequentemente atribuem a esses vértices as incertezas dos pontos de apoio de forma equivocada.

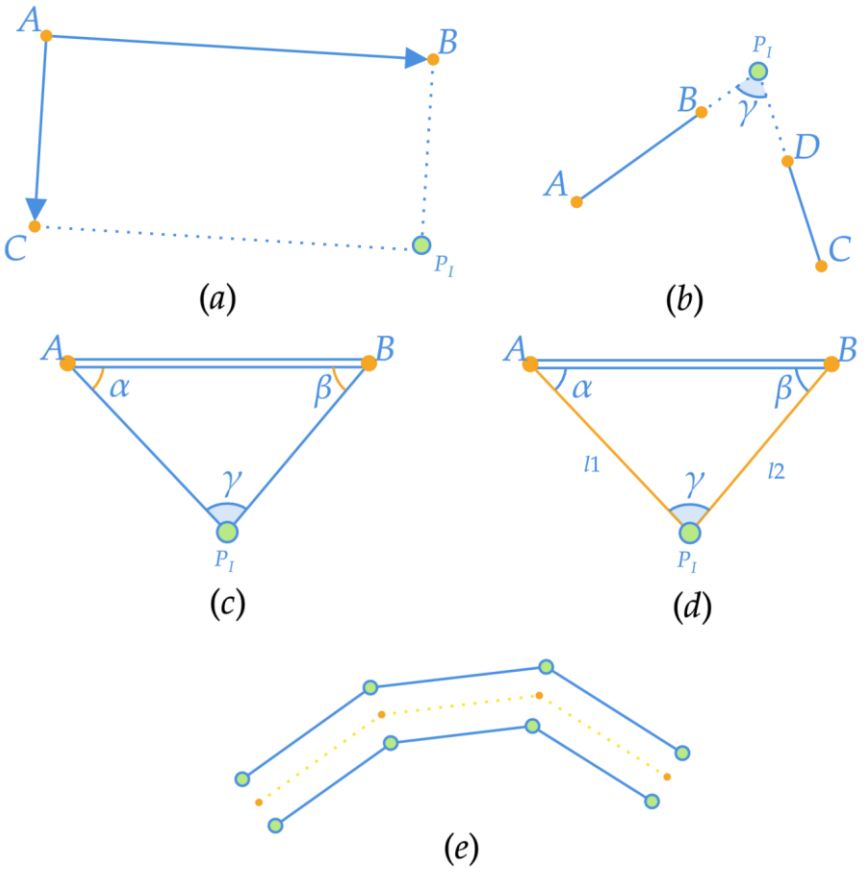
- **A Proposta:** Desenvolver os modelos matemáticos de cada método e aplicar a Lei de Propagação de Variâncias e Covariâncias (LPVC) para quantificar a incerteza posicional de forma metodológica e rigorosa.

A Solução - Modelagem Estocástica (LPVC)

- **Base Matemática:** Utilização da LPVC de primeira ordem ($\Sigma = J \cdot \Sigma_i \cdot J^T$) e matrizes de covariância completas.

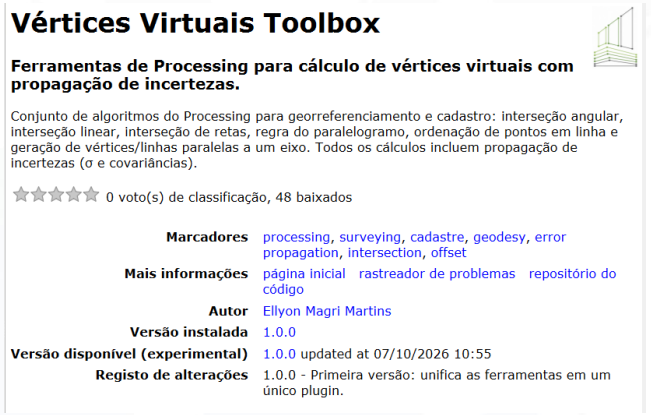
- **Métodos Abrangidos:** Modelagem funcional desenvolvida para os 5 métodos indiretos do cadastro nacional:
  a. Regra do Paralelogramo
  b. Interseção de Retas
  c. Interseção Angular
  d. Interseção Linear
  e. Linhas Paralelas

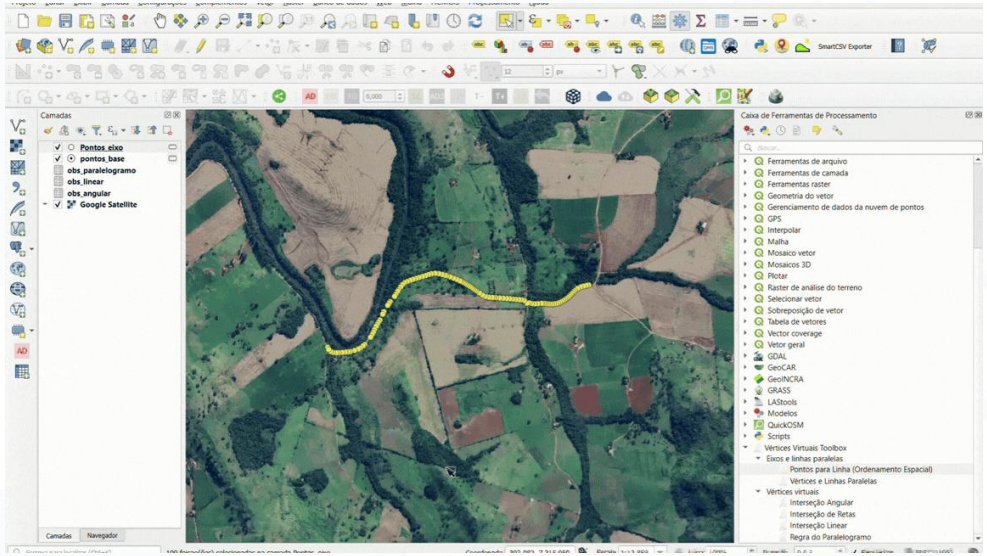
- **Inovação Teórica:** Obtenção de matrizes Jacobianas analíticas exatas (via derivação simbólica) para todos os modelos.



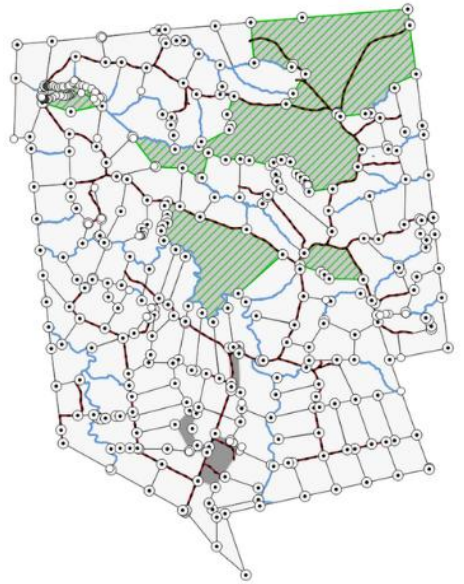
O Plugin - Vértices Virtuais ToolBox

- **A Ferramenta:** Desenvolvimento de um plugin de código aberto integrado diretamente ao ambiente QGIS.
- **Arquitetura:** Separa a geometria (Camada de Pontos) dos atributos estocásticos e de campo (Tabelas de Observações), automatizando o cruzamento de dados.
- **Contribuição Operacional:** Elimina a fragmentação tradicional (uso de planilhas externas e softwares independentes), centralizando o cálculo de coordenadas e incertezas (σ_E, σ_N) em um único ambiente SIG.





Resultados da Validação - Dados TED-INCRA



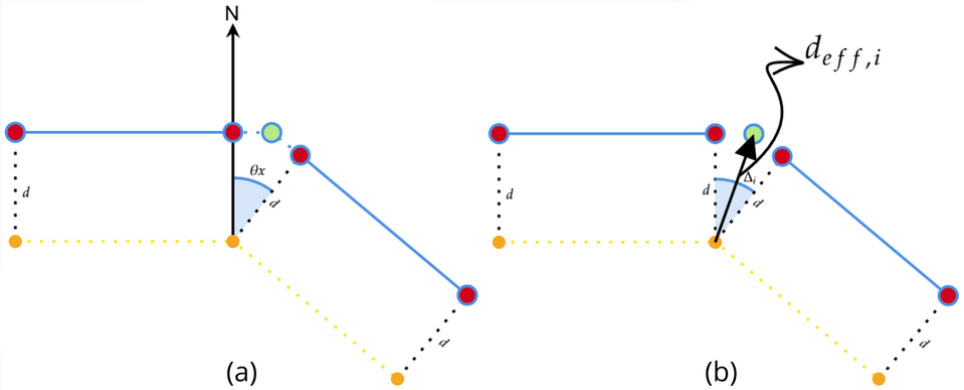
- **Validação Real:** Aplicação em dados do Projeto de Assentamento Modelo (TED-INCRA/UFPR).

- **Interseção de Retas:** Alta robustez. 81,1% dos vértices calculados cumpriram a rigorosa tolerância do INCRA para limites artificiais ($\leq 0{,}50$ m).

- **Linhas Paralelas:** 52,5% de conformidade com a norma rural.

i. **Alerta Prático:** Geometrias mal condicionadas (trechos quase colineares) geravam forte instabilidade numérica nas matrizes (a).

ii. **Adendo/Atualização:** Para solucionar isso, a ferramenta foi atualizada com a formulação por **azimute bissetor** e um filtro de **otimização pelas incertezas**. Essa atualização remove colinearidades redundantes e garante a estabilidade numérica na geração das faixas(b).



Resultados da Validação - Rede Topográfica UFPR

- **Interseções Angular e Linear:** As incertezas propagadas alcançaram a casa dos milímetros. O Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) validou o modelo estocástico, mantendo-se estritamente dentro da tolerância normativa de $3\sigma_H$.

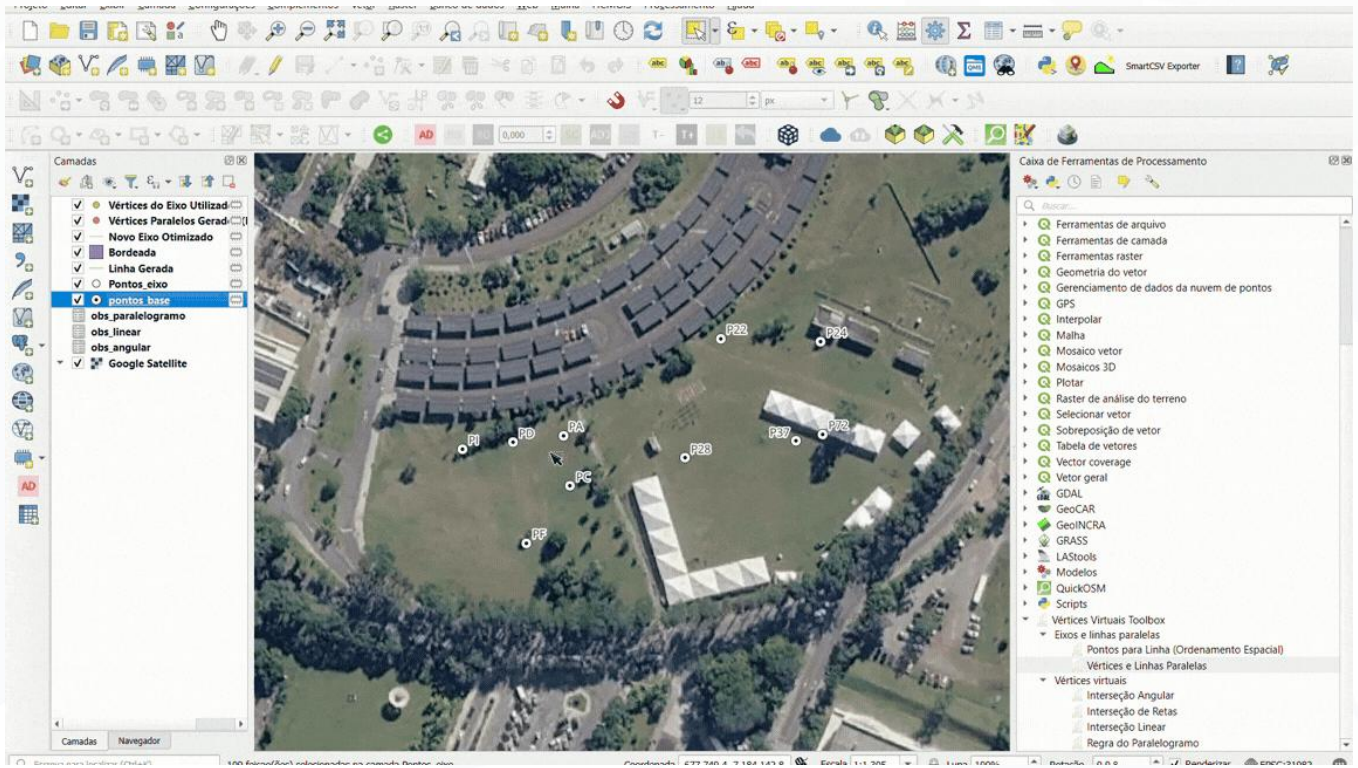
- **Regra do Paralelogramo:** Demonstrou eficácia geométrica e teórica, porém com uma *desconexão crítica* em campo: a rigidez do método mascara erros métricos severos se o quadrilátero materializado no terreno for fisicamente assimétrico.



COBRAC

TED INCRA
UFPR

LAGEAMB
Laboratório de Geoprocessamento
e Estudos Ambientais



Realização

UFSC
GOTT
PPGTG UFSC

Patrocíninador Master

INCRA

Patrocínio

PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS
ENGEFOTO
geopixel
INTELIGÊNCIA MUNICIPAL