



Extração automática de rede geométrica de sistemas viários urbanos baseada em posicionamento GNSS

Bolsista: Manuela Bellodi Canho RA: 202530

Orientador: Prof. Dr. Henrique Candido de Oliveira

● **Resumo das atividades:**

A mobilidade pode ser considerada como a capacidade que cada indivíduo possui de se deslocar entre dois pontos recorrendo aos diferentes modos de transportes disponíveis. Entretanto, esta pode ser dificultada por problemas relacionados à gestão do tráfego, oferta e qualidade do transporte público e aumento da frota de veículos individuais, intensificando congestionamentos e reduzindo a equidade no usufruto do espaço urbano. Sendo assim, uma base cartográfica atualizada e precisa é de extrema importância ao possibilitar melhor coordenação entre diferentes operadoras de transporte público e veículos de uso individual, auxiliando no planejamento urbano. Neste contexto, o desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GNSS permitiu sua aplicação a diversos segmentos da sociedade, sobretudo em relação à mobilidade e à logística urbana, a qual ainda apresenta substancial potencial de desenvolvimento. Sendo a falta de fluidez no trânsito um dos principais problemas atuais da mobilidade urbana, cresce a busca de soluções baseadas, primordialmente, na integração de diversos sensores aos modais de transporte e o sistema GNSS configura, assim, um grande aliado à melhoria de já existentes sistemas relacionados a análises de logística urbana. Logo, o desenvolvimento de um sistema, em que diversos veículos pudessem contribuir automaticamente para a base de malhas de sistemas viários, seria capaz de densificar e expandir a rede já existente.

Sendo assim, esta pesquisa visou desenvolver um algoritmo capaz de extrair uma rede geométrica de um sistema viário utilizando-se um receptor GPS de baixo custo - oriundo do sistema de mapeamento móvel de baixo custo em desenvolvimento (projeto FAPESP 2017/17003-3). Para que isso fosse possível, foi necessário integrar um receptor GPS a um veículo a fim de obter uma nuvem de pontos referente ao sistema viário (levantamento cinemático pós-processado). A partir disso, um algoritmo baseado no princípio de modelagem por meio de arcos e nós foi criado como forma de identificação da rede geométrica do sistema viário. Em seguida, os dados foram organizados em forma sequencial para geração de arquivo de rede.

● **Materiais e Métodos:**

- **Coleta de dados:**

Para a coleta de dados, utilizou-se um receptor GNSS Navspark RAW - SkyTraq acoplado ao teto de um veículo que desloca-se sobre trajetórias de interesse. O processamento dos dados foi realizado pelo método de posicionamento relativo cinemático pós-processado utilizando a estação SPC1 da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE. Tendo as coordenadas conhecidas de um ponto de referência, a posição de outros pontos foram determinadas em relação ao primeiro. Como o equipamento utilizado no veículo coleta observações referentes ao sistema GPS, as coordenadas dos pontos foram referenciadas ao datum WGS84 ou a um sistema compatível (neste caso, o SIRGAS2000). Ao percorrer as vias de interesse, foi coletado um conjunto de coordenadas tridimensionais e organizadas em ordem cronológica possibilitando conectar os pontos que representam uma mesma via de forma sequencial.

- **Processamento de dados:**

O processamento dos dados coletados foi realizado via biblioteca RTKLIB. Foram utilizados dois APs: RTKCONV, o qual converte o arquivo de entrada do receptor SkyTraq (.stq) para o formato RINEX; e RTKPOST, que possibilita o pós-processamento dos dados. O arquivo padrão RINEX fornece dados de observação e arquivos de mensagem de navegação (GPS) fornecidos tanto pelo receptor rover (veículo) como pelo arquivo de dados da base SPC1. Como resultado são obtidas as coordenadas de cada ponto da trajetória, assim como a data e o horário em que cada uma foi coletada juntamente com suas incertezas.

- **Desenvolvimento do algoritmo:**

No desenvolvimento do algoritmo para extração da malha viária, os pontos coletados foram inseridos em ordem cronológica no cálculo recursivo para ajuste linear. Em seguida, foi utilizado o princípio de diferença entre azimutes consecutivos calculados a partir das coordenadas x e y de cada dois pontos para generalização (equação abaixo) e comparado com um limiar estipulado experimentalmente a partir da plotagem dos dados obtidos em comparação com os dados iniciais, que neste caso foi de 0.02 radianos. Este cálculo foi feito recursivamente até o final da lista resultando em uma nova lista de coordenadas – obtendo uma generalização cartográfica dessa representação do sistema viário.

$$\text{Azimute} = \arctg\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right)$$

Tendo essas coordenadas, foi verificado se haviam interseções entre os segmentos de retas e, em caso positivo, as coordenadas desta interseção eram inseridas na lista - etapa fundamental para geração de arquivos de rede de malha viária para fins de roteirização. Para que fosse possível encontrar a coordenada de um ponto de interseção e ao mesmo tempo inseri-la na lista de coordenadas foi usado o conceito de lista dinâmica encadeada. Desta forma, ao encontrar um

ponto de interseção sua coordenada era inserida entre as coordenadas do primeiro segmento de reta e também do segundo segmento de reta. Logo, dois segmentos de retas se tornam quatro segmentos, e é dada continuidade ao cálculo recursivo que busca por interseções. Ao final deste cálculo uma nova lista de coordenadas representa os novos segmentos de reta.

Além disso, foi verificada a sobreposição de segmentos, que representa o registro do percurso por mais de uma vez na mesma via. Para isso, ainda na forma de lista dinâmica encadeada, foi usado o conceito de “quase” paralelismo entre retas e de distância máxima entre ponto e reta, unificando segmentos repetidos.

Com a nova relação de pontos, foi gerada a lista final de coordenadas, com os pontos que representam as três etapas: seleção dos pontos com base em proximidade de azimutes, interseções e sobreposições de segmentos.

- **Obtenção de grafo:**

Com isso, tem-se um conjunto formado por retas e interseções que representa a malha viária a ser estudada. Para que esses dados possam ser interpretados e utilizados em arquivos de rede a fim de complementar o sistema já existente é necessário organizá-los em forma de grafo.

Para esta aplicação, foi utilizado o modelo de grafo orientado, ou dígrafo, caso em que as arestas apresentam uma direção e sentido definido, sendo chamadas de arcos [3]. Logo, o grafo fornece de forma organizada e de fácil compreensão informações capazes de serem integradas com direção e sentido das vias, pontos de interseções e eventuais informações adicionais relevantes (lombadas, semáforos, sinais de pare, etc).

Os grafos e arquivos de rede foram obtidos a partir do ArcGIS e nele foi possível verificar a funcionalidade das redes. O arquivo do ArcGIS é configurado para usar o sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zone 23S (caso dos testes na região de Barão Geraldo - SP e de Monte Carmelo - MG). Foi necessário fazer um tratamento inicial dos dados, usando os comandos “Points to Line” e “Split Line at Points”, ferramentas do ArcToolbox, a lista de coordenadas foi transformada em uma única polilinha e em seguida em segmentos de retas. Dessa forma, cada segmento para a ter suas especificações de comprimento, direção e sentido. São ainda adicionadas informações de direção permitida para o percurso, velocidade máxima da via e elevação (em níveis). Sendo assim, os dados estão prontos para serem transformados em rede utilizando o “Network Dataset”, com o tempo entre dois pontos escolhido como impedância principal. Dessa maneira, o arquivo de rede está pronto para calcular rotas.

● **Resultados:**

Como resultado do algoritmo desenvolvido é obtida uma lista de coordenadas que determinam cada novo segmento de reta gerado pela interligação sequencial desses pontos. A partir dessa lista, é possível plotar sequencialmente os pontos e obter uma imagem que representa o caminho percorrido a partir de segmentos de retas com uma precisão conforme previamente determinada.

Foram executados quatro testes de forma a aumentar a complexidade de processamento a cada um deles, sendo três deles realizados em Barão Geraldo - SP, próximo à Unicamp, e um na cidade Monte Carmelo - MG. Os caminhos percorridos e pontos selecionados pelo algoritmo desenvolvido estão representados pelas Figuras (1), (2), (3) e (4).

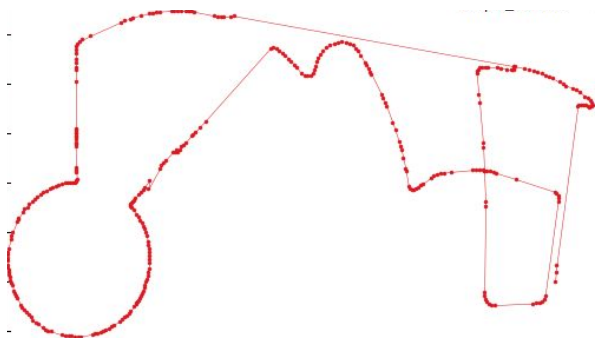


Figura 1: output teste 1 Fonte: autora



Figura 2: output teste 2 Fonte: autora



Figura 3: output teste 3 Fonte: autora

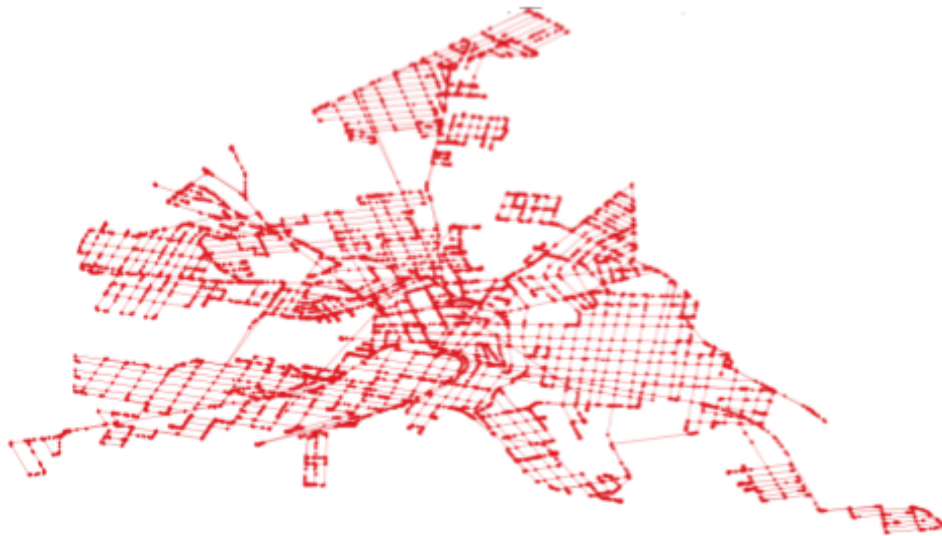


Figura 4: output teste 4 Fonte: autora

Além da lista de coordenadas, a partir do processamento das mesmas no ArcGIS é obtido o arquivo de rede. Utilizando a ferramenta “New Route”, disponibilizada pela “Network Analyst Tools”, é possível gerar rotas entre dois pontos. Para verificar o correto funcionamento de cada teste, estes foram inseridos no ArcGIS e tiveram alguns pontos estratégicos escolhidos para traçados de rotas, ilustrados nas Figuras (5), (6), (7) e (8).

Para os testes com baixo número de pontos (testes 1, 2 e 3) os seus respectivos arquivos de rede foram gerados a partir de um único arquivo de entrada do Excel no ArcGIS. Ou seja, é considerado que apenas um veículo fez a coleta de dados ininterruptamente da rede em questão. Já para o teste 4 foi executada uma simulação de contribuição de dados por mais de um veículo, possivelmente em momentos diferentes, devido ao seu alto número de pontos iniciais (o mesmo também poderia ser feito com todos os pontos em um único arquivo de entrada). Os dados foram segmentados e adicionados ao ArcGIS, em seguida foram unificados para formar a rede completa com alguma redundância de informações.

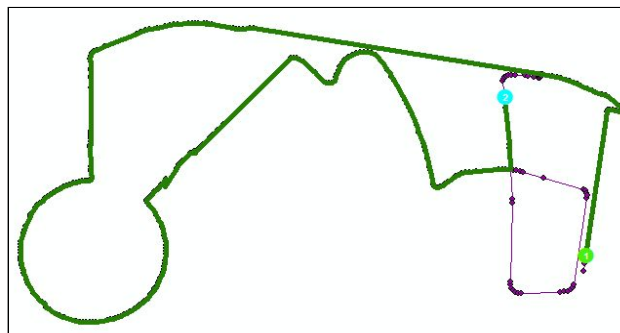


Figura 5: rota teste 1 Fonte: autora

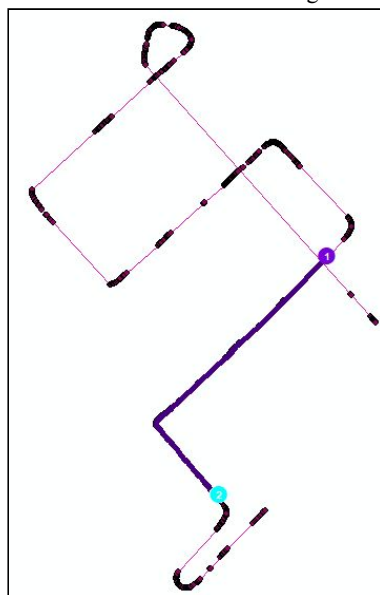


Figura 6: rota teste 2 Fonte: autora

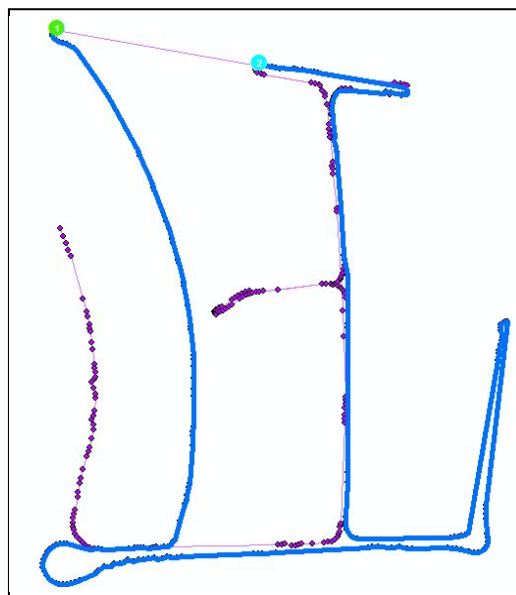


Figura 7: rota teste 3 Fonte: autora

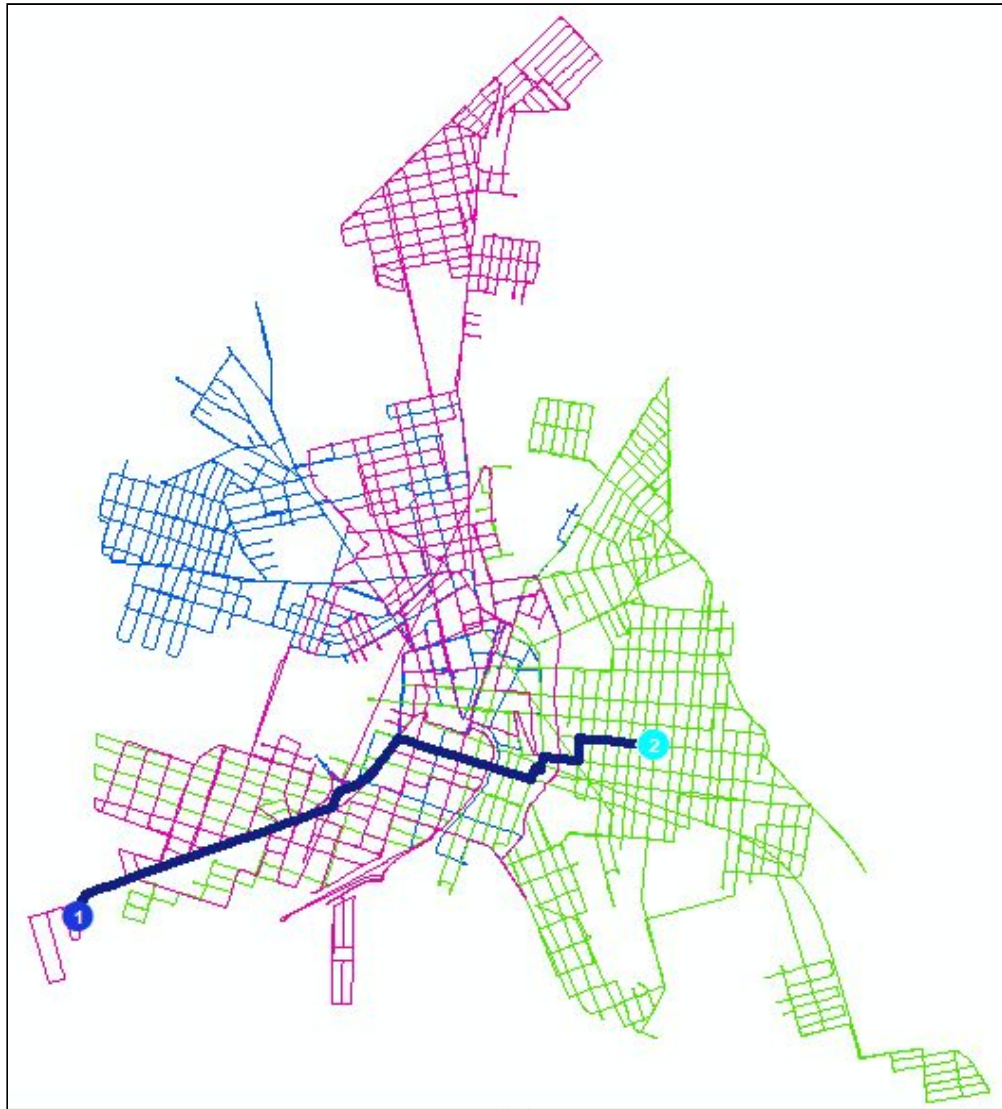


Figura 8: rota teste 4 Fonte: autora

- **Discussão/Conclusões:**

Os arquivos finais dependem de duas etapas principais para uma boa representação da realidade. A primeira diz respeito ao resultado do algoritmo desenvolvido que é função dos valores adotados para os parâmetros necessários. O parâmetro referente ao paralelismo entre os segmentos de reta determina a precisão com que vias curvas e sinuosas são representadas, quanto menor o valor, em radianos, do “grau de paralelismo”, maior é o detalhamento das regiões curvas da lista de coordenadas. A partir dos testes realizados foi possível notar que valores entre 0.05 e 0.005 radianos apresentavam bons resultados e dependiam da geometria das vias. A distância máxima determina o valor máximo, em metros, que um ponto poderia ser considerado próximo o suficiente para fazer parte do segmento de reta “paralelo”. Este valor girou em torno de 0.8 a 1.2 m dependendo da precisão requerida. O ângulo para sobreposição de segmentos teve uma variação tolerável de 0.2 a 0.4 radianos. Este último é o principal responsável pelo tempo de processamento do algoritmo e um valor alto demais pode significar um tempo exagerado de processamento quando da presença de muitos pontos. Por esse motivo, o processamento é iniciado com um pequeno valor adotado, aumentando-o apenas se houver necessidade.

A segunda etapa corresponde ao traçado de rotas no ArcGIS o qual depende dos dados de entrada, ou seja, do resultado do algoritmo, e de configurações que permitem vetorizar os pontos sequenciais e transformá-los em arquivo de rede. Os quatro novos campos adicionados para cada ponto (direção permitida do percurso, velocidade e elevação - 2 campos) são responsáveis por características que tornam possível a ligação entre os segmentos de reta, determinando a direção e indicando o sentido a ser percorrido. Além disso, as velocidades permitem que as rotas sejam calculadas com base em duas impedâncias diferentes, de tempo mais curto ou de distância mais curta. É nessa etapa que outros campos também podem ser adicionados, como dados de nomes das vias, presença de sinalizações, lombadas etc. Ou também, esses dados podem ser adicionados a um novo shapefile, convertidos para Feature Class e, assim, integrar mais uma camada do arquivo final.

Identificar qual o melhor valor para cada parâmetro adotado influencia no sucesso dos resultados e para isso pode ser necessária a realização de vários testes para encontrar cada um. Mas de uma forma geral o processo para

obtenção do arquivo final é prático, relativamente rápido e simples de ser feito. Como também fornece uma boa precisão dos dados que representam as vias mapeadas, dependendo da precisão dos dados de entrada.

Dessa forma, a extração automática de rede geométrica de sistemas viários a partir do algoritmo desenvolvido e o arquivo de rede gerado permitem que regiões sejam mais frequentemente mapeadas, com uma certa redundância de informações, e contribua para uma base cartográfica atualizada e precisa de baixo custo e fácil operação, sem necessidade de equipamentos especiais para o processamento ou mão de obra especializada. Com isso, haveria uma melhoria em sistemas já existentes ao facilitar e permitir a integração de diversos sensores aos modais de transporte e densificando e expandindo a malha atual, melhorando a coordenação entre diferentes operadoras de transporte público e veículos de uso individual, auxiliando no planejamento urbano e em questões de mobilidade e logística.

Contribuindo a rede para a diferenciação do espaço urbano, disparidades de infraestruturas e oportunidades por deficiência de mapeamento, gestão do tráfego e oferta do transporte público seriam reduzidas, ao facilitar a sistematização e análise desses componentes do transporte urbano (THOMSON, 1977). Dado que, segundo Noviello (2018), a mobilidade urbana engloba também questões sociais, econômicas e ambientais, além das relacionadas à locomoção de pessoas, as regiões mais bem mapeadas apresentariam maior chance de desenvolvimento ao otimizar longos deslocamentos pelas cidades, reduzindo poluição e impactos ambientais, como também incentivando e desenvolvendo o comércio e os serviços locais, atraindo investimentos, pessoas, turismo, empresas e movimentando a economia.

● Referências Bibliográficas:

FORTES, L.P.S.: **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 1997.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros: 2015**. Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016. 61 p.

LA LUNA, Giovana; OLIVEIRA, Henrique Cândido de. **Tutorial ArcGIS - Localização e Traçado de Rotas**. Disponível em: <https://sites.google.com/view/henriquecartografia/work/tutorials/arcgis_networkanalyst?authuser=0> Acesso em: 10 ago. 2020.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

NETWORK Analyst: Creating Network Datasets. Patrick Stevens e Alan Hatakeyama. 2019. 1 vídeo (51:10 min) Publicado pelo canal Esri Events. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=odzI3rC5ErQ>> Acesso em: 19 ago. 2020.

NOVIELLO, Paulo. **O futuro da mobilidade urbana em 7 insights**. Disponível em: <<http://www.aberje.com.br/o-futuro-da-mobilidade-urbana-em-7-insights/>> Acesso em: 14 nov. 2018.

SANTOS, Jefersson Alex dos. **Modelagem de malhas viárias urbanas aplicando conceitos de grafos**. Dourados: UEMS, 2006.

TAKASU, T. **RTKLIB ver. 2.4.1 Manual** Disponível em: <http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.1.pdf> Acesso em: 05 jan. 2019.

THOMSON, J. M. **Great Cities and their Traffic** (London, Victor Gollancz). 1977.