

O problema do posicionamento para transporte terrestre no ambiente urbano

RESUMO

O posicionamento por satélites é a principal técnica utilizada para diversas atividades de posicionamento humano. No entanto, para atividades de transportes terrestres que ocorrem no ambiente urbano, a técnica pode apresentar severas restrições devido aos possíveis obstáculos existentes para recepção do sinal do satélite, gerando fenômenos - como bloqueio parcial ou total, refração e difração de sinal. Neste artigo são apresentadas as principais características destes sistemas de posicionamento, analisando-se as propriedades envolvidas em cada tipo de restrição, as principais soluções propostas pela literatura e as oportunidades relacionadas. Busca-se, desta forma, trazer orientações que contribuam para a especificação de tecnologias de posicionamento aplicadas a este contexto.

PALAVRAS-CHAVE: Posicionamento por satélites, LOS, NLOS, Navegação urbana.

Rodrigo de Sousa Pissardini

pissardini@usp.br
orcid.org/0000-0002-8299-2909
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Rafael Henrique de Oliveira

rafa.oliveira@usp.br
orcid.org/0000-0001-6230-9618
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Jhones Alberto Vaz

jhones.vaz@unisantos.br
orcid.org/0000-0003-4503-2711
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas, Universidade Católica de Santos, Santos, Brasil.

Flávio Guilherme Vaz de Almeida

flaviovaz@usp.br
orcid.org/0000-0002-8111-3204
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Edvaldo Simões da Fonseca Jr.

edvaldoj@usp.br
orcid.org/0000-0002-4910-9109
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

Posicionamento pode ser definido como a atividade de atribuir coordenadas a um objeto em um sistema de referência convencionado (HOFMANN-WELLENHOF; LEGAT; WIESER, 2003; MONICO, 2007; GROVES, 2008). Modernamente, no contexto dos transportes terrestres, atividades de navegação, rastreamento e monitoramento de veículos demandam a utilização de tecnologias e técnicas de posicionamento com objetivo de georeferenciamento e controle. Para transportes terrestres, em especial os transportes rodoviários, posicionamento é componente de suporte para os Sistemas Inteligentes de Transportes (em inglês *Intelligent Transportation Systems – ITS*) (DRANE; RIZOS, 1998). Exemplos de ITS que demandam dados de posicionamento para sua operação incluem sistemas de informação ao usuário; monitoramento e gerenciamento de tráfego; navegação veicular autônoma e inteligente; serviços baseados em localização; sistemas de apoio avançado ao motorista; entre outros (DRANE; RIZOS, 1998; OCHIENG; SAUER, 2002; HOFMANN-WELLENHOF; LEGAT; WIESER, 2003; WILLIAMS, 2008; THOMAS *et al.*, 2011).

Atualmente existem diversas opções de sistemas de posicionamento para atender necessidades específicas de transportes rodoviários. Estes sistemas de posicionamento combinam diferentes tecnologias, técnicas e arquiteturas, oferecendo diferentes níveis de acurácia, precisão e disponibilidade. Por padrão, sistemas de posicionamento global por satélite (em inglês *Global Navigation Satellite Systems – GNSS*) têm sido as principais tecnologias utilizadas para as principais necessidades de posicionamento. Isto é resultado das diversas vantagens nativas oferecidas por este tipo de sistema em relação a outros sistemas de posicionamento. Entre tais vantagens pode-se citar (KAPLAN; HEGARTY, 2006; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; MONICO, 2007; GROVES, 2008):

- a) cobertura global (em relação à superfície terrestre) sem necessidade de infraestrutura adicional;
- b) qualidade da solução de posicionamento (em termos de acurácia, precisão, disponibilidade e cobertura) adequada para maior parte das necessidades de posicionamento de uso civil;
- c) relativo baixo custo para desenvolvimento, instalação e manutenção de antenas e receptores; e
- d) o fato de que os erros de posicionamento não são cumulativos com o tempo.

Apesar de suas vantagens evidentes, as tecnologias GNSS não são plenamente funcionais em todo o tempo e em todas as regiões da superfície terrestre. Em especial, estes sistemas trabalham com a emissão de sinais de rádio, que podem sofrer interferências diversas do meio no qual se propagam e dos elementos presentes neste meio. No ambiente urbano, edificações e outros tipos de construções podem bloquear ou interferir na recepção dos sinais GNSS por parte de um receptor, degradando a qualidade da geração da solução de posicionamento. Por este motivo, não se recomenda a utilização exclusiva de tecnologias GNSS para posicionamento em atividades críticas de transportes terrestres ou quando se exige posicionamento de alto desempenho.

Este artigo estabelece como objetivo principal determinar e avaliar as principais limitações (assim como suas causas) do uso do GNSS no ambiente urbano, sob o contexto dos transportes terrestres com foco nos transportes rodoviários. Não são tratados, assim, elementos de posicionamento para transportes terrestres em outros modais tais como transporte ferroviário ou metroviário: estes modais, por operarem em ambientes controlados e, em geral, com diversos bloqueios para tecnologias GNSS, possuem abordagens diferentes de posicionamento. A partir deste objetivo, realiza-se uma revisão bibliográfica para sistematizar as principais propostas da literatura para eliminar ou reduzir os efeitos das restrições às tecnologias GNSS no ambiente urbano. Sobre esta sistematização, definem-se possíveis recomendações para definição de requisitos para desenvolvimento de sistemas de posicionamento para transportes rodoviários.

POSICIONAMENTO NO AMBIENTE URBANO

DEFINIÇÃO DE AMBIENTE URBANO

Não há, na literatura científica, uma definição formal do que é ambiente urbano. Cada país possui sua própria definição do que é ambiente urbano e ambiente rural para fins legais (UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION, 2014). O Brasil também não apresenta uma definição legal explícita do que é ambiente urbano e ambiente rural, sendo necessário analisar diferentes leis e diretrizes para estabelecer uma definição consensual. O artigo 182 da Constituição Federal do Brasil, sem definir o que é ambiente urbano, estabelece que a política de desenvolvimento urbano deve ser executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes fixadas em lei, com o objetivo de ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes (BRASIL, 1988). Desta forma, a Constituição garante ao poder municipal a definição da área urbana de um município. Isto está em concordância com a definição do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do Brasil (IBGE) que, baseado no Decreto-Lei 311 de 1938, classifica as cidades (sedes de municípios) e as vilas (sedes de distritos) como áreas urbanas e o restante do território como área rural, sendo o perímetro urbano definido através de lei municipal (BRASIL, 1938). O Conselho Nacional do Meio Ambiente em sua resolução nº 302/02 (BRASIL, 2002) define como áreas urbanas consolidadas às regiões que atendam aos seguintes critérios:

- a) definição legal pelo poder público;
- b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana: malha viária com canalização de águas pluviais; rede de abastecimento de água; rede de esgoto; distribuição de energia elétrica; recolhimento de resíduos sólidos urbanos e tratamento de resíduos sólidos urbanos) e
- c) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².

Considerando o posicionamento GNSS, a literatura não apresenta uma definição técnica do que é ambiente urbano. Pode-se considerar, de forma simplificada e para os propósitos deste trabalho, que ambiente urbano é a região do espaço na qual os setores secundário (indústria) e terciário (comércio de bens

e serviços) da economia são mais proeminentes do que o setor primário (uso direto de recursos naturais) e, por isto, obras de infraestrutura, edificações e outros elementos artificiais estão presentes em maior quantidade e com maior adensamento. Tais obras de engenharia podem, dependendo dos materiais utilizado para sua construção, interferir sobre a propagação dos sinais GNSS e a consequente recepção por parte do receptor GNSS, distorcendo a solução de posicionamento. Isto pode ocorrer com receptores que estão dentro das edificações (ambientes *indoor*) e com receptores que estão em ambiente externo com visada restrita em relação aos satélites. Sob o ponto de vista do transporte rodoviário, considera-se que os veículos operam ao nível da rua e que a inclusão de receptores GNSS integrados faz com que estes estejam sujeitos a todo tipo de bloqueio dos elementos ao seu redor.

Deve-se considerar, no entanto, que esta definição apresentada, ainda que conveniente, é limitada por dois motivos principais:

- a) nem toda área urbana apresenta obras de infraestrutura, edificações e adensamento que impactem significativamente sobre a aquisição de sinais de satélites GNSS.
- b) um ambiente considerado rural pode apresentar elementos naturais e artificiais que, combinados, ofereçam restrições com bloqueios mais intensos do que aqueles apresentados em um ambiente considerado urbano.

Neste trabalho, no entanto, não serão consideradas estas exceções e não serão avaliadas a interferência que elementos naturais (como grandes elevações de terra ou concentrações de água) podem realizar sobre sinais GNSS. Será adotada a definição de ambiente urbana supracitada como base para avaliar as técnicas de posicionamento da literatura em relação a elementos artificiais do ambiente. Quando houver alguma distinção pertinente entre a definição estabelecida e uma pesquisa citada, isto será explicitamente citado.

NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)

Para posicionamento em geral, a principal abordagem modernamente utilizada são as tecnologias baseadas em navegação global por satélite (em inglês *Global Navigation Satellite Systems* – GNSS). GNSS é o nome genérico dado aos sistemas de satélite com cobertura global estruturados para fornecer posicionamento sobre a superfície terrestre. GNSS oferece solução de posição tridimensional a partir de uma constelação de satélites que transmite dados posicionais sobre a superfície terrestre. Com a aquisição dos sinais de um mínimo de quatro satélites, o receptor calcula suas coordenadas através de trilateração (KAPLAN; HEGARTY, 2006; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; MONICO, 2007; GROVES, 2008).

Antes do advento das tecnologias GNSS, o posicionamento para transportes rodoviários não oferecia uma qualidade adequada para atividades de alto desempenho: isto decorria especialmente do fato que os sistemas existentes não possuíam garantias de disponibilidade, acurácia, precisão e confiabilidade. Exemplos de sistemas pré-GNSS incluem o *Long Range Navigation* (LORAN) (1958) e o sistema de navegação OMEGA (1971) (OCHIENG; SAUER, 2002). Com o surgimento dos GNSS na década de 1970 e sua consequente popularização a

partir da década 2000, GNSS tornou-se a principal opção no desenvolvimento de tecnologias de posicionamento.

Até a presente data, dois sistemas GNSS estão plenamente operacionais (i.e., com cobertura global e funcionais durante as 24 horas do dia): o estadunidense GPS (em inglês *Global Positioning System*) e o russo GLONASS (em russo *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), que podem ser utilizados de forma independente ou integrada em soluções multiconstelação. A Tabela 1 apresenta as principais características destes dois sistemas (para dados mais recentes acesse <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus> - GPS e <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/> - GLONASS).

Tabela 1 - Comparação entre os sistemas GPS e GLONASS

	GPS	GLONASS
Satélites Operacionais	31 satélites	23 (+4 em outros status)
Planos Orbitais	6	3
Inclinação da Órbita	55º	64.8º
Altitude da Órbita	20200 km	19100 km
Período de Revolução	11h50m00s	11h15m40s
Sistema de Referência	WGS-84	PZ-90
Sistema de Tempo	TUC (USNO)	TUC (SU)
Frequência das Portadoras	L1: 1575,42 MHz L2: 1227,60 MHz	L1 = 1602 + 0,5625 * n (MHz) L2: 1246 + 0,4375 * n (MHz) (onde n é o número do satélite)
Frequência de Código	C/A 1,023 Mhz P: 10,23 Mhz	C/A: 0,511 Mhz P: 5,11 Mhz
Técnica de Divisão do Sinal	CDMA	FDMA CDMA
Garantia de funcionalidade e disponibilidade	Nenhuma	Nenhuma

Fonte: Os autores (2017) baseados em Kaplan e Hegarty (2006), Monico (2007), NAVCEN (2016) e IAC (2016)

Deve-se notar, entre as diversas características da Tabela 1, que o GPS e o GLONASS são sistemas com objetivos militares, sendo administrados pelas forças armadas destes países e que não há nenhuma garantia de desempenho, disponibilidade e continuidade no futuro (OCHIENG; SAUER, 2002). Isto significa que tais sistemas podem ser desabilitados ou terem sua qualidade degradada conforme a conveniência dos seus administradores. Isto pode ser problemático para desenvolvimento de sistemas, inclusive de transportes, em nível civil ou militar que dependam exclusivamente de posicionamento baseado nestas constelações. Por isto, tanto quanto possível, GPS ou GLONASS, de forma individual ou combinada, não deveriam ser utilizados de forma exclusiva para atividades críticas de posicionamento (CARROLL, 2003). Além do GPS e do GLONASS, existem outros sistemas de posicionamento em desenvolvimento, com destaque para o europeu GALILEO e o chinês COMPASS-BEIDOU. Esses sistemas ainda não estão totalmente operacionais (ou seja, não possuem sua constelação completa), entretanto já existem receptores que permitem a utilização de sinais dos satélites já existentes destas constelações com aqueles dos outros dois sistemas que já estão operacionais (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; GROVES, 2008).

Modernamente, diferentes técnicas GNSS podem ser utilizadas para atividades de transportes rodoviários (Tabela 2) (MCDONALD, 2002; KAPLAN; HEGARTY, 2006; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; MONICO, 2007).

Tabela 2 - Principais técnicas de posicionamento utilizando GNSS

Técnica GNSS	Características	Qualidade oferecida	Recursos externos demandados
Posicionamento por Ponto Simples	Técnica na qual um receptor obtém os sinais de quatro ou mais satélites. O receptor calcula para cada satélite, a distância (chamada de pseudo-distância) entre o centro de fase de sua antena e o centro de fase da antena do satélite através do tempo de propagação do sinal. A partir destas distâncias e de dados de navegação transmitido pelos satélites, é possível calcular a posição através da trilateração dos sinais.	A acurácia do GPS, neste método, é ~ 5-10 m para receptores baseados em código C/A (o mais comum) e ~2-9 metros para receptores de código P/Y. Não há valores padronizados de acurácia para GLONASS, mas se considera que são similares ao do GPS.	Nenhum.
Posicionamento Diferencial (DGNSS)	Nesta técnica, um ou mais receptores fixos (chamados de receptores-base ou estações de referência) com coordenadas ou tempo conhecidos, calculam sua posição, estabelecem a diferença em relação às suas coordenadas conhecidas e calculam os dados de correção para corrigir a diferença. Os dados de correção da pseudodistância, da taxa do intervalo, da integridade dos dados e outros dados auxiliares são transmitidos ao receptor do usuário, que aplica tais correções sobre seus próprios resultados.	A acurácia horizontal da técnica diferencial utilizando o GPS (i.e., o DGPS) é de ~ 0,7 – 3 metros para receptores com código C/A e ~ 0,5-2,0 metros para receptores com código P/Y. A acurácia prevista é de 0,67m por 100 km (MONTEIRO; MOORE; HILL, 2005).	Dependência de estações de referência e de <i>link</i> de comunicação para transmissão de informações. A distância recomendada entre a estação de referência e o receptor é de, no máximo, 100 km.
Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real (<i>Real-Time Kinematics</i> – RTK)	Nesta técnica, utilizam-se uma ou mais estações de referência. Uma estação obtém a fase da onda portadora de um sinal e busca estabelecer (fixar) sua ambiguidade. Isto é realizado para um mínimo de cinco satélites que são utilizados para calcular a posição da estação e obter	A acurácia horizontal utilizando GPS possui ~0,02 – 0,2 metros.	Dependência de uma estação-base de referência para obtenção da solução de posicionamento. A distância recomendada entre a estação de referência e o receptor deve ser, no máximo, de 20 km.

	<p>as correções em relação às coordenadas conhecidas. A estação de referência disponibiliza, então, suas correções diferenciais produzidas a partir da fase da portadora e do código para o receptor.</p> <p>O receptor compara as correções recebidas com sua própria medição da fase, aplicando as correções necessárias e estabelecendo sua posição.</p>		
Posicionamento Relativo Cinemático Pós-processado	Posicionamento relativo similar ao RTK, mas com processamento de dados realizado após a coleta dos dados. É utilizado para aplicações que não sejam de tempo real.	Acurácia horizontal de 3 a 0,5 m para GPS.	Dependência de uma estação-base de referência para obtenção da solução de posicionamento.
Posicionamento por Ponto Preciso	Técnica de posicionamento baseada no uso de efemérides precisas, correções dos dados de relógios dos satélites e outros recursos para corrigir possíveis erros na geração da solução de posicionamento.	A acurácia utilizando GPS possui $\sim 0,02 - 0,04$ metros.	Efemérides e correções dos relógios dos satélites a serem obtidos de um serviço de terceiros (em geral, do <i>International GNSS Service (IGS)</i>).

Fonte: Os autores baseados em McDonald (2002), Kaplan e Hegarty (2006), Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger e Wasle (2007) e Monico (2007)

Para atividades de transportes rodoviários, a técnica GNSS a ser escolhida é dependente da qualidade exigida. As diferentes técnicas GNSS, incluindo posicionamento por ponto simples são, em geral, eficientes e adequadas para atividades de monitoramento e posicionamento geral para atividades não-críticas (CARROLL, 2003; MARAIS *et al.*, 2014). Devido ao baixo custo envolvido no posicionamento por ponto simples, esta é a principal técnica GNSS utilizada para as atividades gerais de transportes rodoviários quando não há exigência de alta qualidade do posicionamento. Exemplos típicos incluem sua utilização para atividades de rastreamento e monitoramento de ônibus, caminhões e automóveis.

Em casos mais exigentes de transportes rodoviários, se uma rede de telecomunicação estiver disponível, pode-se utilizar técnicas de melhor qualidade como RTK e DGNSS. No entanto, deve-se reconhecer os limites de operação (em especial, cobertura e disponibilidade de rede de telecomunicação) de cada técnica. Se não há necessidade de aquisição da solução de posicionamento em tempo real, técnicas pós-processadas podem ser utilizadas para atividades de transportes.

ELEMENTOS DE RESTRIÇÃO GNSS NO AMBIENTE URBANO

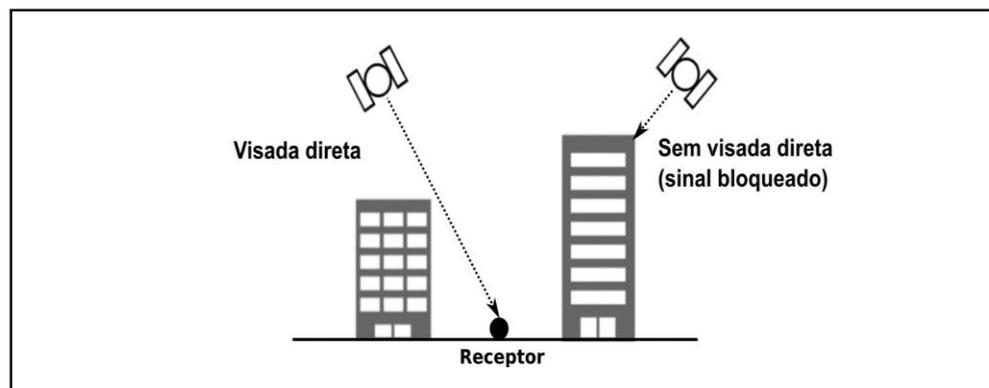
Um cenário urbano oferece diversas restrições às tecnologias GNSS. Algumas destas restrições, no entanto, são consideradas mais preeminentes quando posicionamento GNSS é tratado sob o enfoque dos transportes rodoviários. Entre estas restrições estão o bloqueio, a refração e difração de sinais GNSS, que podem gerar cenários de recepção de sinais sem visada direta e multicaminhamento.

BLOQUEIO DE SINAL GNSS

Um cenário de posicionamento GNSS pode ser descrito como a relação entre os satélites de uma determinada constelação GNSS, a antena do receptor do usuário e os bloqueios artificiais/naturais do ambiente entre os satélites e a antena do receptor.

Satélites GNSS emitem sinais de rádio sob a forma de onduletas (em inglês *wavelets*) em frentes de onda sequenciais a partir do centro de fase de suas antenas em direção à superfície terrestre (MA *et al.*, 2001). Chama-se de sinal de visada direta (em inglês *line-of-sight* - LOS) àquele que é obtido diretamente entre um satélite GNSS e o receptor do usuário (entre os centros de fase de suas antenas), sem interferências de bloqueio de outros elementos na propagação (GROVES, 2008) (Figura 1). Mesmo neste cenário ideal outros tipos de interferência sobre a propagação do sinal GNSS – como erros de relógio, erros de órbita, interferência da ionosfera, etc. Ver Kaplan e Hegarty (2006) e Monico (2007) para descrição pormenorizada destes tipos de interferência. Os erros provocados por estas interferências podem ser reduzidos com o uso, por exemplo, de técnicas diferenciais, pois tais erros são espacialmente correlacionados.

Figura 1-Exemplo de sinais obtidos diretamente ou bloqueados por elementos do ambiente

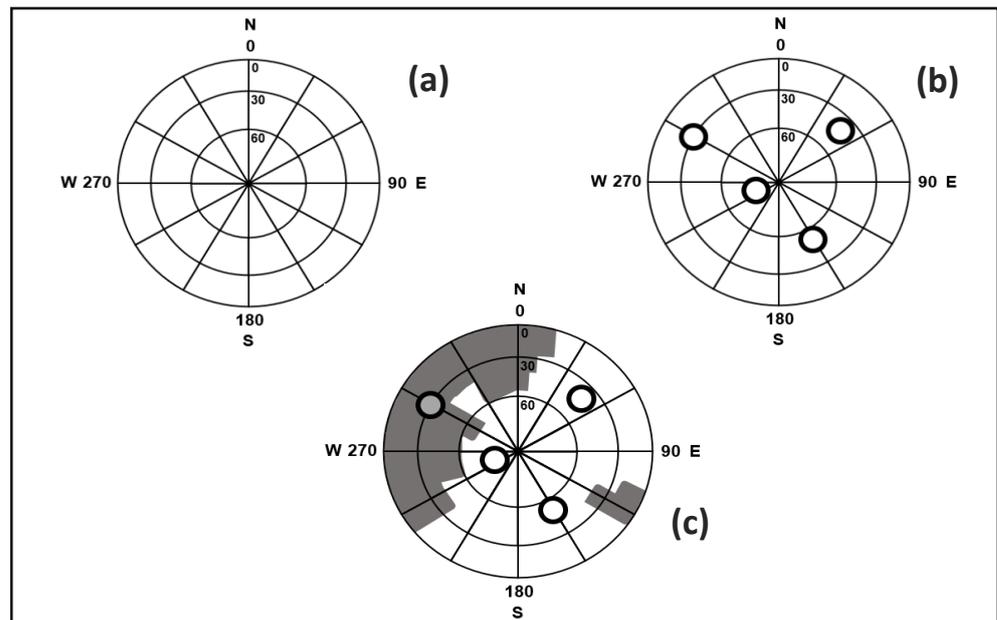


Fonte: Os autores (2017)

Chama-se de bloqueio GNSS a qualquer elemento do ambiente que impeça a propagação total ou parcial do sinal GNSS para uma determinada região da superfície terrestre. Para um receptor GNSS, um bloqueio pode ser descrito como qualquer elemento que obstrui uma parte da visão do céu para a antena GNSS

associada ao receptor, impedindo a visada direta. Desta forma, bloqueios GNSS podem ser representados no gráfico de horizonte de visibilidade do céu por parte da antena associada em termos do ângulo de elevação e do azimute os quais bloqueia. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de representação de bloqueios na visão do céu por parte de uma antena GNSS. Em (a) apresenta-se uma descrição da visão do céu sem satélites e bloqueios. Em (b) apresenta-se a visão do céu com satélites GNSS conforme apresentada por muitos programas de computador de gerenciamento de receptores GNSS. Em (c) apresenta-se visão do céu com satélites e exemplos de bloqueios (em cinza).

Figura 2 - Exemplo de uso de bloqueios na visão do céu da antena GNSS



Fonte : Os autores (2017).

No cenário típico dos transportes rodoviário (ambiente urbano ao nível da rua) é praticamente impossível que não exista nenhum bloqueio GNSS em relação à antena de um receptor. No entanto, considera-se que um bloqueio é relevante a partir do momento no qual reduz significativamente a quantidade de satélites GNSS disponíveis gerando uma região do espaço que não permite que a solução de posicionamento possa ser calculada. Mesmo quando há uma quantidade de satélites suficientes para gerar a solução de posicionamento, bloqueios podem impedir a aquisição de sinais com geometria adequada, o que pode piorar o DOP (em inglês *Dilution of Precision* ou Diluição da Precisão), indicativo da precisão do posicionamento (MONICO, 2007).

Não é simples detectar os bloqueios no ambiente e estabelecer mecanismos de correção de forma contínua. Em um cenário típico de levantamento topográfico no qual o receptor GNSS e os elementos do ambiente são estáticos, mapeiam-se todos os possíveis bloqueios ao redor da antena do receptor GNSS, seleciona-se uma máscara de elevação adequada para tratar a maior parte dos bloqueios e posiciona-se a antena do receptor GNSS no melhor lugar disponível de modo a obter o maior número possível de sinais de satélites. Para atividades de transportes rodoviários, deve-se considerar que um receptor GNSS integrado

a um veículo recebe sinais que podem sofrer interferência de elementos estáticos (e.g. edificações e obras de infraestrutura) e de elementos dinâmicos (e.g. outros veículos, pessoas, etc.). Além disto, como o próprio receptor está em movimento (por estar integrado a um veículo), a relação do receptor, dos satélites e dos bloqueios variam constantemente no tempo e no espaço, tornando mais complexo o processo de modelar possíveis restrições no ambiente e estabelecer as melhores visadas.

A literatura científica apresenta diversas pesquisas com a proposta de tratar estas restrições. Uma proposta da literatura neste sentido consiste em utilizar câmeras de vídeo e sensores *laser* integrados ao teto dos veículos para monitorar continuamente o céu, detectando possíveis bloqueios no ambiente e determinando as melhores visadas para os satélites (MARAIS, BERBINEAU, HEDDEBAUT, 2005; MEGURO *et al.*, 2009; HONG *et al.*, 2014). Outra proposta envolve a utilização de modelos tridimensionais de cidade para prever os bloqueios e as melhores visadas em um determinado ambiente (OBST; BAUER; WANIELIK, 2012; GROVES *et al.*, 2012). Deve-se considerar, no entanto, que estas propostas são limitadas pela capacidade e velocidade de processamento de dados necessárias para obter solução de posicionamento em intervalos aceitáveis de acordo com o movimento do veículo.

Em cenários nos quais o bloqueio GNSS não é total e sinais ainda podem chegar de maneira fraca à antena do receptor do usuário, pode-se utilizar receptores GNSS de alta sensibilidade para sinais fracos. Este tipo de receptor baseia-se no conceito de maximizar o intervalo de integração coerente, minimizando erros de frequência residual. Apesar de oferecer vantagens em relação ao posicionamento por ponto simples, a utilização de sinais degradados pode gerar solução de baixa qualidade que pode não ser adequada para uso em transportes (LACHAPPELLE *et al.*, 2004).

Outra proposta da literatura inclui o uso de receptores GNSS que combinem dados de satélites de diferentes constelações para aumentar a oferta de visada direta dos satélites e melhorar a geometria da solução de posicionamento gerada. Até a presente data, o sistema estadunidense GPS e o sistema russo GLONASS estão plenamente operacionais e podem ser utilizados de forma combinada. Além destes, outros sistemas como o europeu GALILEO e o chinês COMPASS, mesmo que não plenamente operacionais ainda, podem ser utilizados em combinação com outros sistemas. O uso de multiconstelação pode permitir a eliminação, para cálculo do posicionamento, dos sinais dos satélites mais degradados, privilegiando aqueles mais adequados (GROVES; JIANG, 2013). Deve-se considerar, no entanto, que devido às características individuais de acurácia e precisão de cada constelação, a combinação obtida pode oferecer uma solução de posicionamento de pior qualidade do que seria obtida por uma constelação de forma individual por alguma constelação. Além disto, a combinação multiconstelação pode exigir processamento adicional para combinar diferentes sistemas de tempo, sistemas de referência e afins que podem tornar mais custoso e demorado o processamento de soluções de navegação.

Propostas para minimizar efeitos de bloqueios GNSS envolvem aumentar a disponibilidade de sinais de sistemas GNSS através de estações fixas e retransmissores que replicam os sinais dos satélites ou da solução de posicionamento para ambientes de dificuldade (GROVES, 2008; HEGARTY; CHATRE, 2008). Repetidores GNSS (compostos por antenas e amplificadores de

senal) podem ser utilizados para adquirir sinais GNSS em boas condições e retransmiti-los dentro de ambientes como túneis, edifícios e outros, nos quais os sinais chegariam muito fracos ou de forma bloqueada. Uma abordagem com conceito semelhante, mas mais poderosa é chamada de sistema de augmentação. Um sistema de augmentação é uma tecnologia utilizada para aumentar o alcance dos sinais GNSS para grandes áreas. Este tipo de tecnologia pode ser utilizado para fornecer outros recursos como correções diferenciais, dados de efemérides, dados de relógio, parâmetros de ionosfera e outras informações pertinentes (GROVES, 2008; HOFMANN-WELLENHOF; LEGAT; WIESER, 2003). Há dois diferentes tipos de sistemas de augmentação:

- a) Sistemas baseados em satélites (em inglês *Satellite-based augmentation system*- SBAS), que utilizam satélites geoestacionários que permitem a cobertura ao nível de um país; e
- b) Sistemas baseados em terra (em inglês *Ground-Based Augmentation System* – GBAS), que utilizam estações fixas com cobertura local para envio de sinais semelhantes a uma constelação GNSS. Busca-se, deste modo, a aumentar a oferta de sinais e gerar alternativa de posicionamento que seja independente dos sinais GNSS propriamente ditos.

Tanto SBAS quanto GBAS são ferramentas de alta qualidade em termos de acurácia, integridade e cobertura: é possível obter alta acurácia (menor do que 1 metro) e precisão sub-centimétrica (GROVES, 2008; HOFMANN-WELLENHOF; LEGAT; WIESER, 2003). Devido à garantia de integridade e cobertura, estes sistemas são utilizados em diversos modais de transportes, em especial, transporte aéreo e transporte terrestre. As principais limitações tanto SBAS quanto GBAS possuem alto custo de implantação e que SBAS atualmente existentes não estão disponíveis para qualquer cenário da superfície terrestre.

Outra abordagem proposta pela literatura para minimizar os efeitos de bloqueio de sinais GNSS consiste em utilizar outras tecnologias de posicionamento como substitutas ou como suporte ao GNSS. Exemplos de tecnologias de posicionamento independentes ou auxiliares ao GNSS incluem:

- a) Posicionamento através da aquisição de sinais de redes sem fio (ZIEDAN, 2006; BENSKY, 2008), de sinais de telefonia celular (DE ANGELIS; BARUFFA; CACOPARDI, 2013) e por *Bluetooth* (SADHUKHAN *et al.*; 2010; WANG *et al.*, 2013);
- b) Posicionamento com tecnologias *Ultra-Wide Band* (UWB) (SAHINOGLU; GEZICI; GUVENC, 2008);
- c) Posicionamento Inercial (GROVES, 2008);
- d) Posicionamento por sinais de oportunidade (rádio, televisão, etc.) (RABINOWITZ; SPILKER JR., 2005);
- e) Posicionamento utilizando mapas ou modelos tridimensionais (*map-matching*) (TAYLOR; BLEWITT, 2006; QUDDUS; OCHIENG; NOLAND, 2007); e
- f) Cálculo da posição através da relação com outros elementos do ambiente com coordenadas conhecidas (LEE *et al.*; 2012). Uma abordagem relacionada inclui o uso de posicionamento compartilhado, na qual diferentes receptores GNSS atuam em uma rede compartilhando os dados obtidos dos satélites e as distâncias relativas com outros receptores, de forma a obter a posição de cada

nó na rede (EKAMBARAM; RAMCHANDRAN, 2010; CHEN; TAN, 2011; KO; KIM; KONG, 2015).

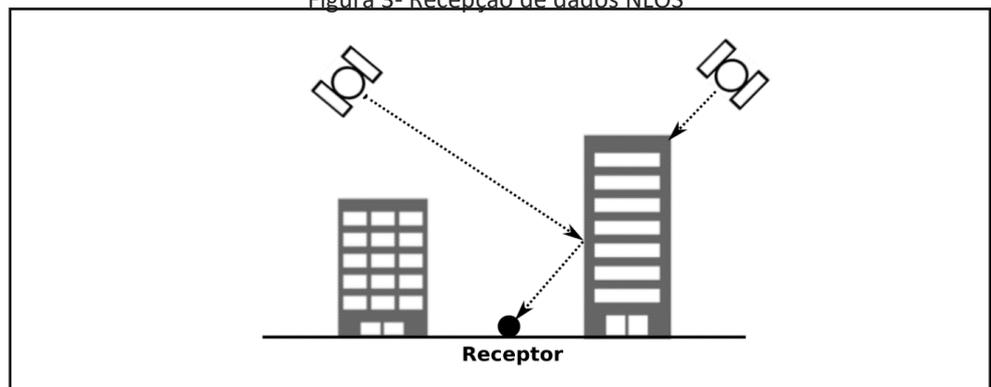
Enquanto muitas destas tecnologias podem ser utilizadas individualmente, em geral, elas são descritas na literatura de forma integrada com tecnologias GNSS em sistemas de posicionamento multissensor. Neste tipo de integração, tecnologias GNSS coletam dados em conjunto com outras tecnologias de posicionamento. Quando a solução de posicionamento GNSS pode ser calculada, os dados dos outros sistemas de posicionamento podem ser integrados à solução de forma a torná-la mais robusta e diminuir possíveis ruídos. Nos casos em que a solução GNSS se torna de baixa qualidade ou não pode ser gerada, outros sistemas de posicionamento podem atuar como substitutos da tecnologia GNSS. A solução gerada por estas tecnologias pode ser independente do uso de dados GNSS ou ser baseada na última solução GNSS obtida com qualidade. A integração de sensores e dados pode ser realizada sob diferentes formas: as principais citadas pela literatura utilizam versões do Filtro de Kalman e técnicas inteligentes como Redes Neurais Artificiais e Filtro de Partícula (GROVES *et al.*, 2012).

REFLEXÃO E DIFRAÇÃO DE SINAIS GNSS

Outros problemas para o posicionamento utilizando GNSS no ambiente urbano são os efeitos de reflexão e difração dos sinais dos satélites em contato com bloqueios do ambiente, em especial, em cenários com elementos altamente reflexivos (e.g. espelhos). Estes efeitos podem gerar duas situações altamente restritivas ao posicionamento GNSS: a recepção sem visada direta (em inglês *non-line-of-sight* ou NLOS) e o multicaminhamento (GROVES *et al.*, 2012).

A recepção de sinais NLOS ocorre quando receptor GNSS obtém apenas sinais dos satélites refletidos por elementos do ambiente (Figura 3).

Figura 3- Recepção de dados NLOS



Fonte: Os Autores (2017).

A recepção NLOS de um sinal GNSS resulta em um erro da pseudodistância igual à diferença entre o comprimento do caminho percorrido pelo sinal refletido e o comprimento do caminho do sinal direto (neste caso, bloqueado) entre o satélite e o receptor. O caminho NLOS dependerá da relação entre a posição do satélite e o bloqueio realizado, porém erro será sempre positivo: este erro pode variar de dezenas de metros a um valor potencialmente ilimitado (GROVES *et al.*, 2012). Os principais métodos citados pela literatura para detectar e minizar os

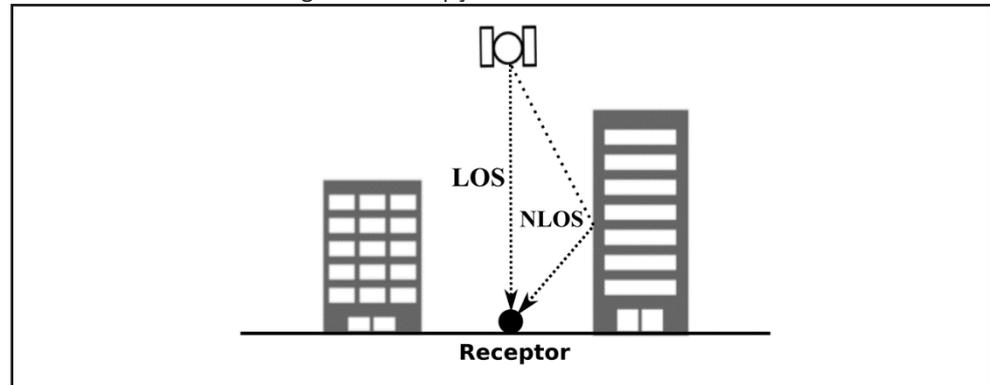
efeitos da recepção NLOS podem ser divididos entre aqueles que utilizam *hardware* especial e aqueles que não utilizam (GROVES *et al.*, 2012):

- a) **Métodos baseados em projeto de *hardware*:** sinais GNSS possuem polarização circular à direita, enquanto a maior parte dos sinais NLOS assumem polarização à esquerda após serem refletidos. Desta forma, uma estratégia é adotar uma antena de polarização dual para distinguir sinais LOS e NLOS. No entanto, um mesmo sinal, após múltiplas reflexões, pode assumir novamente polarização a direita. Desta forma, o uso de antena de polarização dual pode não ser eficiente para identificar todos os sinais NLOS recebidos por uma antena (GROVES; JIANG, 2013; JIANG; GROVES, 2014). Outra técnica baseada em *hardware* propõe o uso de um conjunto de antenas em um receptor para detectar sinais NLOS: ao obter um mesmo sinal por duas ou mais antenas, obtém-se o tempo para o qual cada antena recebeu este sinal. Pode-se considerar que a antena que recebeu o sinal de forma mais rápida, recebeu este sinal com menor impacto de possíveis bloqueios, sendo esta medição utilizada para calcular a posição do receptor (KESHVADI; BROUMANDAN; LACHAPPELLE, 2011).
- b) **Métodos baseados em processamento de dados:** outra forma de lidar com sinais NLOS é selecionar, dentre os sinais recebidos, aqueles que aparentemente são mais intensos (teoricamente, o sinal que deve ter sofrido menos interferências adicionais): quanto mais degradado é um sinal, mais baixo é o valor da densidade portadora-ruído do sinal (C/N_0) (MA *et al.*, 2001). Desta forma, uma opção é estabelecer um limite conveniente para sinais baseados nos valores de C/N_0 , aceitando apenas valores superiores a este limite. Outra abordagem envolve privilegiar sinais vindos de satélites com maiores ângulos de elevação, pois sinais vindos de satélites mais próximos do horizonte estão sujeitos a uma quantidade maior de bloqueios e interferências. Ambas as abordagens, no entanto, não estão isentas de possíveis falhas: em relação à intensidade do sinal pode ser praticamente impossível reconhecer a diferença entre sinais NLOS e LOS, já que em muitos cenários os dois tipos de sinais podem ser atenuados a um intervalo que impeça a distinção. A seleção de sinais com alto ângulo de elevação pode ser prejudicada pelo fato de que sinais NLOS podem vir de altas elevações (refletidos por altos edifícios, por exemplo) e que sinais LOS podem vir de baixas elevações (por exemplo, um sinal vindo do horizonte se não houver bloqueio entre o satélite e o receptor). Além disto, selecionar apenas sinais com alta elevação pode prejudicar a geometria (DOP) da solução (GROVES *et al.*, 2012; XIE; PETOVELLO, 2015).

Chama-se de multicaminhamento quando o mesmo sinal de um satélite é obtido por um receptor por múltiplos caminhos, prejudicando a seleção sobre qual versão do sinal utilizar. Multicaminhamento pode incluir, assim, a recepção de sinais LOS e de sinais NLOS (Figura 4). Neste cenário, sinais NLOS distorcem o pico de correlação do código do receptor, de tal modo que a fase do código de um sinal LOS não pode ser determinada de forma acurada pela equalização da potência nos canais de correlação. O multicaminhamento é a principal fonte de erro nas medições da pseudodistância e nas medições da portadora da fase,

sendo de difícil tratamento já que os sinais podem vir de qualquer direção, incluindo do solo (KOS; MARKEZIC; POKRAJIC, 2010).

Figura 4- Recepção multicaminhamento



Fonte: Os Autores (2017).

O erro do rastreamento no multicaminhamento será dependente do projeto do receptor, dos sinais LOS e NLOS e do atraso do caminho. Em geral, multicaminhamento é reduzido através de aperfeiçoamentos no projeto de antena e do receptor (KOS; MARKEZIC; POKRAJIC 2010; GROVES *et al.* 2012). Um método clássico envolve o uso de antenas *choke-ring*: este tipo de antena possui um conjunto de anéis concêntricos que possuem a profundidade de um quarto do comprimento de onda (TRANQUILLA; CARR; AL-RIZZO, 1994). Este tipo de antena é construído para restringir sinais vindos do solo e sinais de multicaminhamento horizontais. No entanto, este tipo de antena é, em geral, mais volumoso e pesado do que outros tipos de antenas GNSS, além de piorar o rastreamento de satélites em baixas altitudes (DU; FU, 2013).

Outros exemplos citados pela literatura para solucionar multicaminhamento estão relacionados com propostas de reconhecimento de feições do ambiente anteriormente citadas no contexto para detecção de bloqueios como uso de câmeras (MARAIS; BERBINEAU; HEDDEBAUT, 2005; MEGURO *et al.*, 2009; ALI *et al.*, 2014) e modelos tridimensionais do ambiente (OBST; BAUER; WANIELIK, 2012; GROVES *et al.*, 2012). No caso de multicaminhamento, a proposta é que o reconhecimento de bloqueios no ambiente permitam determinar versões de um mesmo sinal vindos de regiões com visada direta e sinais vindos de regiões bloqueadas, privilegiando-se a utilização do sinal vindo de regiões sem bloqueio. Estas propostas, no entanto, estão limitadas pelo fato de que bloqueios locais podem ser detectados (por exemplo, os prédios que cercam um receptor), mas que em muitos casos, um determinado sinal foi refletido por bloqueios afastados do receptor e que não podem ser previstos (por exemplo, o sinal foi refletido por um prédio cinco ruas abaixo de onde está o receptor). Além disso, os resultados finais dessas técnicas não têm sido promissores, uma vez que a simples eliminação dos satélites sem visada direta deteriora a geometria dos satélites utilizados para o posicionamento (MARAIS *et al.*, 2014).

AUSÊNCIA DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

Ausência de estações de referência e rede de telecomunicações não são restrições relacionadas diretamente aos sinais GNSS, mas às técnicas específicas

(e.g. DGNSS, RTK) que demandam o acesso dos receptores a uma ou mais estações de referência.

Uma estação de referência é um receptor GNSS fixado em uma posição com coordenadas conhecidas, utilizado para fornecer dados de correção a outros receptores GNSS conectados à estação. Redes de estações de referência governamentais e particulares estão disponíveis para atividades de posicionamento geral. No entanto, nem sempre uma determinada região possui cobertura de estações adequada para suportar atividades DGNSS ou RTK. Mesmo quando estações de referência estão disponíveis, deve-se verificar os requisitos necessários para utilização de seus dados. Por exemplo, DGPS recomenda que o receptor do usuário esteja no máximo a 100 km de distância da estação de referência, enquanto RTK recomenda que o receptor esteja no máximo a 20 km de distância da estação.

Quando estações de referência estão disponíveis e podem ser utilizadas, deve-se garantir o acesso do receptor do usuário através de uma rede de telecomunicação. A rede de telecomunicação deve garantir velocidade de acesso conveniente para múltiplos receptores a uma estação, largura de banda de dados adequada, cobertura e disponibilidade constante para atividades de posicionamento. Para atividades de transporte, (em especial em larga-escala ou que demandem solução de posicionamento em tempo-real), garantir esta qualidade da rede de telecomunicações pode ser complexo mesmo em cenários urbanos de alto adensamento.

Por padrão, recomenda-se a utilização de sistemas de posicionamento baseados em D-GNSS e RTK para atividades críticas de transporte rodoviário. No entanto, se estações de referência ou uma rede de telecomunicação não estão disponíveis, os principais sistemas de posicionamento passam a utilizar soluções por ponto simples (com perda de acurácia e precisão). Isto pode impedir a utilização deste tipo de sistema para atividades críticas de transportes. Outra abordagem usualmente considerada é, a partir das últimas posições consistentes D-GNSS e RTK obtidas pelo sistema de posicionamento, calcular novas posições com o auxílio de outras tecnologias de posicionamento auxiliares (e.g., sensores inerciais) mesmo sem dados de satélites. Enquanto esta técnica pode ser eficiente para períodos curtos de ausência de sinais GNSS de qualidade, deve-se considerar que o uso de tecnologias de posicionamento relativo, por exemplo, tendem a acumular erro devido às sucessivas integrações, o que impede sua utilização para grandes períodos de tempo.

CÂNION URBANO

Convenciona-se chamar de cânion urbano ao cenário no qual o adensamento de edifícios, de obras de infraestrutura e outros elementos artificiais/naturais restringe a visibilidade do céu por parte de um receptor GNSS, permitindo apenas a visada direta para satélites em altas elevações ou diretamente alinhadas à via. Neste cenário, a quantidade de satélites disponíveis para cálculo da solução de posicionamento é severamente reduzida e a geometria da solução degradada (GROVES, 2008; GROVES *et al.*, 2012) (Figura 5).

Figura 5 - Cânion urbano



Fonte: Google Maps (<https://www.google.com.br/maps>)

O maior problema do posicionamento GNSS cânion urbano é conseguir-se detectar quando um receptor está neste tipo de cenário (e quando não está) e qual a técnica mais recomendada para ser utilizada em um determinado contexto. Uma solução típica para tratar de cânion urbano é a utilização de posicionamento multiconstelação para aumentar a oferta de satélites disponíveis para possibilitar o cálculo da solução do posicionamento. No entanto, devido às características do cânion, a geometria da solução não tende a melhorar. Em geral, o tratamento do cânion urbano pode demandar a combinação de diferentes técnicas (anteriormente vistas para mitigar os efeitos de bloqueio, recepção NLOS e multicaminhamento de sinais GNSS) para resolver restrições específicas, tentando-se obter, globalmente, uma solução de posicionamento que atenda aos requisitos demandados para uma determinada atividade de transportes.

POSICIONAMENTO NO CONTEXTO DOS TRANSPORTES TERRESTRES

O uso de posicionamento GNSS em veículos de transporte rodoviário está sujeito à toda espécie de bloqueio, refração e difração de sinais GNSS. O projeto de um sistema de navegação, rastreamento e monitoramento para transporte não é trivial e demanda um planejamento exaustivo. Deve-se considerar que este tipo de veículo movimenta-se de forma dinâmica e, em geral, não constante, o que também é verdadeiro para os bloqueios, refrações e difrações de sinais GNSS que podem se modificar no tempo e no espaço.

Um conjunto de etapas deve ser considerado para desenvolvimento e utilização de sistemas de posicionamento para transportes rodoviários :

- a) Determinar a necessidade para a qual a solução de posicionamento servirá como suporte.
- b) Estabelecer os níveis exigidos de acurácia, precisão, disponibilidade e outros parâmetros de qualidade da solução de posicionamento para atender a necessidade em questão.
- c) Determinar o(s) ambiente(s) de operação no qual a atividade de posicionamento será realizada.

- d) Elencar as tecnologias de posicionamento disponíveis para atender aos níveis exigidos de acurácia, precisão e disponibilidade. Determinar as exigências de operação de cada tecnologia, em especial, a necessidade de rede de telecomunicação e os custos financeiros envolvidos.
- e) Definir a tecnologia de posicionamento padrão (aquela que deverá ser utilizada durante a maior parte do tempo, considerando-se cenários ideais ou próximos dos ideais). Em geral, esta tecnologia será baseada em GNSS, no entanto, outras tecnologias podem ser consideradas em cenários específicos.
- f) Mapear todas as possíveis restrições no ambiente de operação em relação à tecnologia de posicionamento padrão.
- g) Determinar de forma recursiva, quais as tecnologias de posicionamento adequadas (que ofereçam acurácia, precisão e disponibilidade semelhantes à tecnologia de posicionamento padrão) para substituir a tecnologia de posicionamento padrão quando ocorrerem as restrições mapeadas.
- h) Sistematizar como detectar uma determinada restrição no ambiente e acionar a tecnologia de posicionamento substituta à tecnologia de posicionamento padrão.
- i) Sistematizar como determinar que uma determinada restrição no ambiente foi extinta e retornar à tecnologia de posicionamento padrão.

A partir destas recomendações, é possível considerar os aspectos de construção do sistema de posicionamento. Ainda que características específicas possam variar, considera-se que, ao utilizar tecnologias de posicionamento específicas, elas devam estar na melhor configuração possível. Por exemplo, no caso de uma antena GNSS, ela deve estar na posição mais alta do veículo de tal forma que outros componentes do veículo não venham a oferecer um bloqueio adicional. Enquanto para a maioria das atividades de posicionamento considera-se o veículo como apenas um ponto no espaço, sem características adicionais, para algumas aplicações (como navegação inteligente e autônoma), pode ser necessário modelar-se as características do veículo a partir de uma determinada tecnologia de posicionamento (e.g. centro de fase da antena GNSS), de modo que seja possível determinar as coordenadas de cada componente do veículo.

O projeto de sistema de posicionamento deve ser capaz de permitir a aquisição de uma posição com qualidade adequada para atividades de transporte em um tempo hábil, considerando a natureza das aplicações a serem realizadas (tempo real ou não) e o movimento do veículo. Em aplicações em tempo real, por exemplo, espera-se que o receptor seja capaz de adquirir sinais GNSS e processar a solução de posicionamento com a maior frequência possível. No entanto, isto será dependente da tecnologia GNSS utilizada e das tecnologias de posicionamento associadas: por exemplo, no caso dos sensores inerciais, estes podem servir como uma tecnologia para prover posições intermediárias dentro do intervalo de 1 segundo para receptores GNSS com frequência de aquisição inferior a 1 Hz. Por outro lado, atividades de transportes que não demandam análise de dados em tempo real (como análises dos dados de viagens realizadas) permitem o emprego de outras técnicas, incluindo posicionamento por satélite

pós-processado (relativo ou PPP), que podem ser realizados com uma frequência menor.

Para atividades em tempo real, ao utilizar-se posicionamento GNSS, tanto quanto possível, deve-se privilegiar a utilização das melhores técnicas disponíveis, no caso, D-GNSS e RTK. O RTK oferece uma qualidade adequada para a maior parte das atividades de posicionamento veicular, ainda que possa apresentar perda de ciclos para posicionamento. D-GNSS oferece uma cobertura maior com valor de acurácia/precisão de boa qualidade. No entanto, deve-se considerar que, atualmente, a cobertura de estações de referência é ainda insuficiente em diversos tipos de cenários (no Brasil com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC e redes particulares) e que tais podem não suportar múltiplas conexões de veículos da rede de transportes. Além disso, nem sempre as redes de telecomunicação possuem uma velocidade ou funcionalidade adequada para este tipo de atividade. Por isto, tanto quanto possível, quando se utilizam tecnologias D-GNSS e RTK, deve-se associá-las a outras tecnologias de posicionamento que permitam manter a frequência da geração da solução de posicionamento. Esta abordagem, no entanto, pode ser prejudicada caso soluções D-GNSS ou RTK demorem muito para serem novamente obtidas, já que técnicas como posicionamento inercial tendem a acumular erros com o tempo.

Os fenômenos de bloqueio, refração e difração de sinais GNSS são variáveis no tempo e no espaço. Se os bloqueios do ambiente são bem conhecidos e é possível determiná-los previamente, a utilização de recursos de mapas e modelos tridimensionais são a técnica recomendada para obter sinais apenas dos satélites com visada direta em um determinado instante do tempo, de preferência através de receptores multiconstelação. Nos casos nos quais o cenário não é previamente reconhecido, técnicas que possam detectar bloqueios no ambiente (como câmeras e *lasers*) podem ser utilizadas para determinar a visada direta, porém são dependentes da quantidade de aquisições que conseguem fazer em um instante do tempo, assim como do poder e tempo de processamento para obter a solução de posição em um tempo viável. Para serviços em tempo real, demanda-se não apenas o poder de processamento local ao receptor (para processamento de imagens ou nuvens de pontos), mas também atualizações constantes de bases de dados do modelo tridimensional ou do mapa utilizados para obter previsão adequada. Isto não apenas tornaria mais custosa a inclusão em um veículo, mas também aumenta os recursos de comunicação e de manutenção. Em contrapartida, pode-se considerar essa alternativa como oportunidade de correção das posições em um pós-processamento, em aplicações que não dependam da obtenção da posição em tempo real.

A utilização de antenas específicas e outros recursos de *hardware* visam minimizar este tipo de custo, além de buscar aproveitar sinais degradados. Este tipo de abordagem demanda maior gasto no projeto ou confecção do recurso em questão, além de possivelmente modificar o projeto do veículo para suportar o *hardware* dedicado. Dentre os diversos recursos, aqueles oferecidos pelas redes de aumento e retransmissores GNSS oferecem melhor qualidade e são menos custosos para o veículo ainda que demandem alto custo para criação e instalação utilização na infraestrutura de transportes rodoviários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou as principais técnicas de posicionamento no ambiente urbano, em especial, nos cenários restritivos ao GNSS no contexto do transporte rodoviário. Avaliaram-se as propostas na literatura para a resolução de problemas de bloqueio, reflexão e difração de sinais que podem atuar de forma independente ou estarem unidos em um evento conhecido como cânion urbano. Verificaram-se as propostas de forma individual e conjunta, buscando atender o objetivo de obter recomendações para um projeto de posicionamento para atividades de transporte urbano.

The problem of positioning for land transportation in urban environment

ABSTRACT

The positioning by satellites is the main technique used for several activities of human positioning. However, for activities of land transportation that happen in urban environment, the technique may have severe restriction due to possible obstacles for receiving the signal of the satellite, generating events as partial or complete blockage, refraction and diffraction of signal. This paper presents the main characteristics of these positioning systems, analyzes the properties involved in each type of restriction, the main solutions proposed in the literature and related opportunities. In this way, the purpose is to bring recommendations which contribute to the specification of technologies applied in this context.

KEYWORDS: Positioning by satellites. LOS. NLOS. Urban navigation.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALI, A. L.; SCHMID, F.; AL-SALMAN, R.; KAUPPINEN, T. Ambiguity and Plausibility: Managing Classification Quality in Volunteered Geographic Information. In: ACM SIGSPATIAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS – SIGSPATIAL, 22., 2014, Dallas, Texas. **Proceedings...**, 2014.

BENSKY, A. **Wireless positioning technologies and applications**. Artech House, 2008.

BRASIL. Decreto-Lei No 311, de 2 de Março de 1938. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 mar. 1938, Seção 1 Página 4249.

BRASIL. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil**. 1988.

BRASIL. Resolução Conama n. 302 de 2002 - Áreas Protegidas – Áreas de Preservação Permanente. 2002, p. 86–88.

CARROLL, J.V. Vulnerability Assessment of the U.S. Transportation Infrastructure that Relies on the Global Positioning System. **The Journal of Navigation**, n. 56, p.185–193, 2003.

CHEN, S.W.; TAN, S.Y.; SEOW, C. K. Peer-to-peer localization in urban and indoor environments. **Progress In Electromagnetics: Research B**, v. 33, p. 339–358, 2011.

DE ANGELIS, G.; BARUFFA, G.; CACOPARDI, S. GNSS/cellular hybrid positioning system for mobile users in Urban scenarios. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 14, n. 1, p. 313–321, 2013.

DRANE, C. R.; RIZOS, C. **Positioning systems in intelligent transportation systems**. Artech House, 1998

DU, L.; FU, Y. A small wideband low-Multipath GNSS antenna using resistive film. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, v. 12, p. 1045–1048, 2013.

EKAMBARAM, V. N.; RAMCHANDRAN, K. Distributed High Accuracy Peer-to-Peer Localization in Mobile Multipath Environments. **Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)**, 2010.

GROVES, P. D. **Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems**, Artech House, 2008.

GROVES, P. D.; JIANG, Z. Height Aiding, C/N0 Weighting and Consistency Checking for GNSS NLOS and Multipath Mitigation in Urban Areas. **Journal of Navigation**, v. 66, n. 05, p. 653–669, 2013.

GROVES, P. D.; JIANG, Z.; WANG, L.; ZIEBART, M. K. Intelligent Urban Positioning using Multi- Constellation GNSS with 3D Mapping and NLOS Signal Detection. **IEEE Transactions On Aerospace**, p. 458–472, 2012.

HEGARTY, C. J.; CHATRE, E. Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS). **Proceedings of the IEEE**, v. 96, n. 12, p. 1902–1917, 2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LEGAT, K.; WIESER, M. **Navigation: principles of positioning and guidance**. Springer-Verlag Wien, 2003.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, GALILEO and more**, Springer-Verlag Wien, 2007.

HONG, W.; CHOI, K.; LEE, E.; IM, S.; HEO, M. Analysis of GNSS Performance Index Using Feature Points of Sky-View Image. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 15, n. 2, p. 889–895, 2014.

IAC. **Glonass Constellation Status**. Disponível em: <<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>>. Acesso em 11 jul. 2016.

JIANG, Z.; GROVES, P. D. NLOS GPS signal detection using a dual-polarization antenna. **GPS Solutions**, v. 18, n. 1, p. 15–26, 2014.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. **Understanding GPS: principles and applications**. Artech House, 2006.

KESHVADI, M. H.; BROUMANDAN, A.; LACHAPELLE, G. Analysis of GNSS beam forming and angle of arrival estimation in multipath environments. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, San Diego, 2011. **ITM 2011**, p. 427–435, 2011.

KO, H.; KIM, B.; KONG, S. H. GNSS multipath-resistant cooperative navigation in urban vehicular networks. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 64, n. 12, p. 5450–5463, 2015.

KOS, T.; MARKEZIC, I.; POKRAJIC, J. Effects of multipath reception on GPS positioning performance. In: ELMAR, 2010. **Proceedings...**, p. 15–17, 2010.

LACHAPELLE, G.; KUUSNIEMI, H.; DAO, D. T. H.; MACGOUGAN, G.; CANNON, M. E. HSGPS signal analysis and performance under various indoor conditions. **Navigation, Journal of the Institute of Navigation**, v. 51, n. 1, p. 29–43, 2004.

LEE, E. K.; OH, S. Y.; GERLA, M. RFID assisted vehicle positioning in VANETs. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 8, n. 2, p. 167–179, 2012.

MA, C.; JEE, G.-I.; MACGOUGAN, G.; LACHAPELLE, G.; BLOEBAUM, S.; COX, G.; GARIN, L.; SHEWFELT, J. GPS Signal Degradation Modeling. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, Salt Lake City, 14., 2001. **Proceedings...**, p. 1–12, 2001.

MARAIS, J.; BERBINEAU, M.; HEDDEBAUT, M. Land mobile GNSS availability and multipath evaluation tool. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 54, n. 5, p. 1697–1704, 2005.

MARAIS, J.; MEURIE, C.; ATTIA, D.; RUICHEK, Y.; FLANCQUART, A. Toward accurate localization in guided transport: Combining GNSS data and imaging information. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 43, p. 188–197, 2014.

MCDONALD, K. D. The Modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo. **Journal of Global Positioning Systems**, v. 1, n. 1, p. 1–17, 2002.

MEGURO, J. I.; MURATA, T.; TAKIGUCHI, J. I.; AMANO, Y.; HASHIZUME, T. GPS multipath mitigation for urban area using omnidirectional infrared camera. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 10, n. 1, p. 22–30, 2009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP, 2007.

MONTEIRO, L. S.; MOORE, T.; HILL, C. What is the accuracy of DGPS? **Journal of Navigation**, v. 58, n. 2, p. 207–225, 2005.

NAVCEN. **GPS Constellation**. Disponível em: <<http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationstatus>>. Acesso em 11 jul. 2016.

OBST, M.; BAUER, S.; WANIELIK, G. Urban multipath detection and mitigation with dynamic 3D maps for reliable land vehicle localization. **Position Location and Navigation Symposium**, p. 685–691, 2012.

OCHIENG, W.Y.; SAUER, K. Urban road transport navigation: performance of the global positioning system after selective availability. **Transportation Research Part C**, n. 10, pp. 171–187, 2002.

QUDDUS, M.; OCHIENG, W. Y.; NOLAND, R. B. Current Map Matching Algorithms for Transport Applications: State-of-the art and Future Research Directions. **TRB Annual Meeting**, Washington, 2007.

RABINOWITZ, M.; SPILKER, JR., J. J. Synchronization Signals Broadcasting, **IEEE Transactions On**, v. 51, n. 1, p. 51–61, 2005.

SADHUKHAN, P.; CHATTERJEE, N.; DAS, A.; DAS, P. K. A scalable location-based services infrastructure combining GPS and bluetooth based positioning for providing services in ubiquitous environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET MULTIMEDIA SERVICES ARCHITECTURE AND APPLICATION, 4., 2010. **Proceedings...**, 2010.

SAHINOGLU, Z.; GEZICI, S.; GUVENC, I. **Ultra-wideband positioning systems: theoretical limits, ranging algorithms, and protocols**. Cambridge Press: 2011.

TAYLOR, G.; BLEWITT, G. **Intelligent positioning: GIS-GPS unification**. John Wiley & Sons, 2006.

THOMAS, M.; NORTON, J.; JONES, A.; HOPPER, A.; WARD, N.; CANNON, P.; ACKROYD, N. CRUDDACE, P.; URWIN, M. **Global navigation space systems: reliance and vulnerabilities**. The Royal Academy of Engineering, 2011.

TRANQUILLA, J. M.; CARR, J. P.; AL-RIZZO, H. M. Analysis of a Choke Ring Groundplane for Multipath Control in Global Positioning System (GPS) Applications. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 42, n. 7, p. 905–911, 1994.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. *Table 6 - Demographic Yearbook 2014*. p. 1–6, 2014.

WANG, Y.; YANG, X.; ZHAO, Y.; LIU, Y.; CUTHBERT, L. Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods. **2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference**, p. 837–842, 2013.

WILLIAMS, B. **Intelligent Transport Systems Standards**. Artech House, 2008.

XIE, P.; PETOVELLO, M. G. Improved Correlator Peak Selection for GNSS Receivers in Urban Canyons. **Journal of Navigation**, v. 68, n. 05, p. 869–886, 2015.

ZIEDAN, N. I. **GNSS receivers for weak signals**, Artech House, 2006.

Recebido: 03 set. 2016

Aprovado: 03 ago. 2017

DOI: 10.3895/rbgeo.v5n3.5418

Como citar: PISSARDINI, R. S.; OLIVEIRA, R. H.; VAZ, J. A.; ALMEIDA, F. G. V.; FONSECA JR., E. S. O problema do posicionamento para transporte terrestre no ambiente urbano. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 380-403, jul/set. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rodrigo de Sousa Pissardini

Departamento de Engenharia de Transportes- Edifício da Engenharia Civil

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Avenida Professor Almeida Prado, Travessa 2, 83 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-070

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

