

Detecção automática de cenários internos e externos utilizando mensagens NMEA de receptores GNSS

RESUMO

Detecção de cenários internos e externos é um importante recurso para diversos tipos de atividades como navegação multisensor e serviços baseados em localização. Esta pesquisa apresenta o uso de dados NMEA fornecidos por receptores GPS para caracterizar diferentes tipos de cenários automaticamente. Um conjunto de testes estáticos é realizado para avaliar métricas obtidas dos dados NMEA como quantidade de satélites, diluição da precisão e razão densidade sinal-ruído, com o objetivo de detectar possíveis padrões de comportamento que permitam determinar tipos de cenários de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Navegação global por satélites, Navegação Indoor. Navegação outdoor.

Rodrigo de Sousa Pissardini

pissardini@usp.br

orcid.org/0000-0002-8299-2909

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

GNSS (do inglês *Global Navigation Satellite Systems* - sistemas de navegação global por satélite) é o nome genérico dado aos sistemas de posicionamento e navegação capazes de prover solução de posição tridimensional a partir de uma constelação de satélites dedicada a transmitir sinais dedicados sobre a superfície terrestre. Com a aquisição dos sinais de um mínimo de quatro satélites por parte de um receptor apropriado, as coordenadas da posição podem ser calculadas através de trilateração. Exemplos de sistemas GNSS plenamente operacionais incluem 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 (HOFMANN-WELLENHOF; LEGAT; WIESER, 2003; KAPLAN; HEGARTY, 2006; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2007; GROVES, 2008).

Idealmente, o principal cenário de operação para um receptor GNSS é o ambiente externo aberto, isto é, o ambiente onde possíveis bloqueios naturais (elevações de terra, vegetação, etc.) e bloqueios artificiais (edificações, obras de infraestrutura, etc.) que impeçam a visada direta entre os centros de fase do satélite de uma determinada constelação e da antena do receptor do usuário não existam ou sejam irrelevantes (PISSARDINI *et al.*, 2017). Para atividades tradicionais de Geomática como levantamento topográfico, receptores GNSS são configurados e posicionados na melhor situação operacional que permita a aquisição da maior quantidade de sinais possíveis em visada direta.

No entanto, em outras necessidades de dados de posicionamento e navegação, os ambientes podem oferecer restrições que inviabilizam o uso exclusivo de tecnologias GNSS. Exemplos incluem posicionamento para atividades de transportes rodoviários, para serviços baseados em localização (em inglês *Location-Based Services* - LBS), entre outros. Em Pissardini *et al.* (2017), os autores sistematizam as principais propostas da literatura para minimizar os efeitos de bloqueios aos GNSS. As principais técnicas neste sentido podem ser agrupadas em dois grandes grupos: (a) aquelas que buscam melhorar a aquisição de sinais GNSS em ambientes de dificuldade (através da melhora do *hardware* ou do *software* do receptor utilizado, da utilização de receptores multiconstelação, etc.) e (b) aquelas que utilizam outras tecnologias de navegação (e.g. sistemas inerciais) como substitutas ou como auxílio às tecnologias GNSS quando em ambientes de dificuldade.

Independentemente da abordagem utilizada, a detecção automática de cenários internos e externos por parte de um sistema de navegação é recomendada para permitir que tal sistema possa definir, dentre os recursos disponíveis, as tecnologias mais apropriadas para operação (em especial, se o sistema deve transitar entre cenários heterogêneos). Isto é particularmente importante para sistemas de navegação multisensor e para LBS. A literatura científica apresenta diversos tipos de propostas para suportar este tipo de detecção automática, em especial, para sistemas baseados de consciência de contexto em tecnologias móveis: exemplos incluem uso de câmeras de vídeo, potência de sinal de telefonia celular, sinais de redes sem fio, iluminação do ambiente, intensidade magnética e outros (MAUTZ, 2012; ZHOU *et al.*, 2012; GROVES *et al.*, 2013; RADU *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2016).

No presente artigo utilizam-se dados obtidos de mensagens NMEA (do inglês *National Marine Electronics Association*) de um receptor GPS para realização deste tipo de análise de forma simplificada: em geral todos os receptores GNSS, independentemente da sua qualidade e dos recursos fornecidos, oferecem este conjunto de mensagens ao contrário de outros tipos de dados que são dependentes dos acessos fornecidos por fabricantes específicos.

DETECÇÃO DE TIPOS DE CENÁRIOS UTILIZANDO DADOS GNSS

A distinção entre cenário interno (em inglês *indoor*) e cenário externo (em inglês *outdoor*) não possui uma definição consensual na literatura científica. Por intuição, considera-se que um cenário interno é aquele que pertence ao interior de uma edificação, enquanto um cenário externo é aquele que não está delimitado por uma edificação. Para os GNSS, no entanto, esta definição pode não ser sempre adequada pois há cenários internos cujo comportamento aos sinais é semelhante ao de cenários externos e vice-versa. Exemplos incluem edificações cujos materiais não ofereçam restrições aos sinais GNSS como casas de madeiras. Este artigo não traz uma discussão sobre a definição formal do que é um cenário interno ou cenário externo, mas se é possível associar características obtidas de receptores GNSSes a cenários que seres humanos comumente identificam como internos ou externos.

Intuitivamente, uma hipótese ingênua pode considerar que receptor GNSS está em um ambiente interno ou em um ambiente externo pela quantidade de sinais de satélites recebidos. Se um receptor obtém um mínimo de quatro satélites para calcular sua posição, pode considerar-se que o receptor está em um cenário externo aberto sem bloqueios relevantes, enquanto a situação oposta caracteriza um cenário interno (WANG *et al.*, 2016). No entanto, esta abordagem pode se mostrar inadequada pois dependendo dos materiais de construção utilizados para estruturar uma determinada edificação, os cenários internos associados podem permitir que um receptor obtenha sinais suficientes para determinar sua posição (mesmo que estes sinais possam chegar atenuados, degradados ou sem visada direta), enquanto alguns cenários externos podem apresentar severos bloqueios de sinais, em especial, em situações de vias estreitas e cânions urbanos (PISSARDINI *et al.*, 2017). Nesta pesquisa, avalia-se se a quantidade de satélites pode ser utilizada, de alguma forma, para caracterizar ambientes internos. Avalia-se também outros dois parâmetros oferecidos pelas mensagens NMEA de receptores GPS: (a) a geometria dos satélites em relação ao receptor e (b) a análise dos valores da relação portadora-densidade do ruído para os satélites disponíveis.

Diluição da Precisão (em inglês *Dilution of Precision- DOP*) representa numericamente a geometria entre os satélites e o receptor em um determinado instante de tempo, sendo que seu valor é associado ao erro posicional (LANGLEY, 1999; KAPLAN; HEGARTY, 2006; GROVES, 2008). A disposição ideal é que os satélites estejam igualmente espaçados, pois se os satélites estão próximos entre si ou não se espalham de forma uniforme no horizonte de observação, a sobreposição entre os sinais pode aumentar o erro da posição calculada e limitar a qualidade da solução de navegação. Matematicamente, DOP representa a razão entre os desvios-padrão de um dado parâmetro em relação às pseudodistâncias, sendo que as equações relacionadas podem ser encontradas em Langley (1999). Os valores adequados de DOP, assim, devem ser menores do que 5, enquanto

valores maiores do que 10 representam que a solução não deveria ser utilizada. Os valores entre 5 e 10 representam que as medições podem ser utilizadas para cálculo da solução de posicionamento, mas sua qualidade será degradada (LANGLEY, 1999).

Receptores GNSS calculam vários tipos de DOP: Diluição Vertical da Precisão (VDOP – 1-D), Diluição Horizontal de Precisão (HDOP – 2-D), Diluição da Precisão da Posição (PDOP – 3-D) (combinação entre HDOP e VDOP) e Diluição da Precisão do Tempo (TDOP). A combinação entre PDOP e TDOP fornece a Diluição Geométrica da Posição (GDOP). Um outro tipo de medição chamada de Diluição da Precisão Relativa (RDOP) pode obtido quando se realiza posicionamento relativo (BLEWITT, 1997; GLEASON; GEBRE-EGZIABHER, 2015). Em relação à detecção de cenários internos e externos, pelas suas características, o DOP de uma dada solução tende a piorar se o receptor está em uma região de bloqueios que inviabiliza a detecção da distribuição dos satélites de forma homogênea.

A medição da relação portadora-densidade do ruído (C/N_0) está relacionada com as características da propagação de ondas eletromagnéticas dos sinais GNSS. C/N_0 expressa a razão (em decibel-Hertz - dB-Hz) entre a potência da onda portadora e a potência do ruído por unidade de largura de banda. O valor teórico de C/N_0 em dB-Hz é dado pela fórmula (BADKE, 2009; JOSEPH, 2010):

$$\frac{C}{N_0} = S_r + G_a - 10 \times \log_{10}(k) - 1 \times \log_{10}(T_{sys}) - L \quad (1)$$

$$\log_{10}(T_{sys}) - L$$

Na qual:

- S_r : é a potência do sinal de um dado satélite.
- G_a : é o ganho da antena em relação ao satélite.
- k : é a constante de Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ Watt} - \text{sec/K}$).
- T_{sys} : é a temperatura do ruído do sistema, dada por ($T_{source} + T_{receiver}$) onde T_{source} é o ruído de temperatura na fonte do sinal e $T_{receiver}$ no receptor.
- L : perdas de implementação.

C/N_0 não deve ser confundida com a medição *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) que é, também, outra maneira que alguns receptores GNSS expressam a potência com a qual um receptor recebe o sinal de um satélite. SNR é a relação entre a potência do sinal e a potência do ruído em uma determinada largura de banda (JOSEPH, 2010). Sua fórmula, expressa em decibéis (dB), é dada por:

$$SNR = S_r - N \quad (2)$$

Na qual:

- S_r : é a potência do sinal de um dado satélite.
- N : é a potência do ruído.

A relação entre C/N_0 e SNR pode ser estabelecida sob a forma (JOSEPH, 2010):

$$C/N_0 = SNR + BW \quad (3)$$

sendo BW é a largura de banda da observação.

Idealmente, um sinal GNSS deve ser obtido em visada direta (em inglês *line-of-sight* – LOS) entre o satélite GNSS e o receptor do usuário (i.e., entre os centros de fase de suas antenas), sem interferências de bloqueio de outros elementos na propagação. No entanto, como os sinais são propagados através de diversos tipos de materiais, o sinal recebido por um receptor é, em geral, bastante atenuado (PISSARDINI *et al.*, 2017). C/N_0 é, neste contexto, um indicador mais recomendado para mensurar o nível de atenuação e a qualidade com a qual o sinal de um satélite é recebido pela antena do receptor GNSS, independentemente dos algoritmos específicos de um receptor. De forma intuitiva, pode-se considerar que regiões externas e abertas devem possuir menor atenuação da potência do sinal do que regiões com bloqueios mais densos e que cenários internos em regiões urbanas devem apresentar comportamento semelhante devido aos tipos de materiais utilizados para sua construção (Tabela 1).

Tabela 1 – Atenuações apresentadas por alguns materiais de construção para sinais na Banda-L

Material	Atenuação (dB)	Fator (-)
Drywall	1	0.8
Madeira compensada	1-3	0.8-0.5
Vidro	1-4	0.8 -0.4
Madeira	2-9	0.6-0.1
Grade de vergalhão	2-11	0.6-0.08
Tijolo	5-31	0.3-0.001
Concreto	12-43	0.06-0.00005
Concreto armado	29-33	0.001-0.0005

Fonte: Stone (1997).

A primeira proposta para utilização de valores de C/N_0 para determinar se um receptor está em um ambiente interno ou em um ambiente externo é descrita em Lin *et al.* (2011), que também cita a utilização de estimadores baseados em Fator Riciano (K), servindo como base para a utilização rudimentar em uma técnica descrita em Groves *et al.* (2013). Em Groves *et al.* (2013) utiliza-se um *smartphone* para obter dados NMEA e a medição de C/N_0 de sinais GNSS em um determinado ambiente. Sobre os valores de C/N_0 para uma determinada época de medição são calculadas a soma, a média e os respectivos valores de desvios-padrões. Os testes foram realizados em 15 diferentes localidades com aquisição de 100 segundos de dados (com uma frequência de 1 Hz) em cada local. Os resultados demonstraram que ambientes tidos como internos possuem uma média de C/N_0 menor que 25 dB-Hz com baixo desvio-padrão, enquanto ambientes externos possuem uma média de C/N_0 maior que 30 dB-Hz com desvio-padrão maior. Os resultados também apresentaram que a soma dos valores de C/N_0 para um mesmo instante deve ser maior do que 200 dB-Hz em ambientes externos, enquanto ambientes internos devem possuir um valor inferior a este limite. Deve-se considerar, no entanto, que *smartphones* possuem restrições e filtros próprios que podem não ser de fácil manipulação e desligamento de modo que para testes mais confiáveis recomenda-se a utilização de receptores mais adequados.

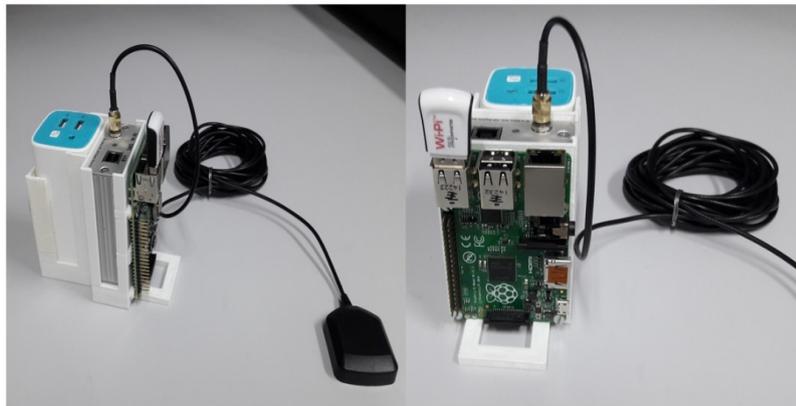
METODOLOGIA, TESTES E RESULTADOS

PADRÕES DE COMPORTAMENTO DE CENÁRIOS INTERNOS E EXTERNOS

Na primeira fase de testes, esta pesquisa avalia a utilização das métricas de quantidades de satélites, média e soma dos valores de C/N_0 e os valores de DOP para determinar se um ambiente é interno ou externo. Busca-se, assim, detectar os possíveis padrões associados a uma métrica específica ou em combinação com outras que permita realizar este tipo de caracterização.

Nesta etapa, foi realizado um conjunto de testes estáticos utilizando coletores GNSS combinando antenas de uso geral, receptores GNSS U-Blox Lea 6T (L1 apenas com GPS e com todos os possíveis filtros - e.g., limites de número de satélites, valor de geometria e ruído do sinal – desabilitados)), minicomputadores Raspberry Pi para armazenamento e processamento de dados e baterias para garantir a mobilidade do equipamento (Figura 1). Todos os coletores utilizados foram igualmente configurados e calibrados de forma a oferecer processamento semelhante operando sob as mesmas condições. Foi desenvolvido um *software* embarcado para aquisição de dados NMEA com a frequência de 1 Hz.

Figura 1 - Receptores GNSS U-Blox Lea 6T integrados em um minicomputador Raspberry Pi com baterias.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para os testes estáticos foram definidos quatro tipos de cenários para serem analisados (Tabela 2). Estes cenários foram definidos convencionalmente, optando-se por não estabelecer uma divisão direta entre cenário interno e cenário externo já que, no limite entre estes dois tipos de cenários, há sub-cenários que podem necessitar de caracterizações mais adequadas. Esta divisão possui similaridade com a distinção apresentada em Wang *et al.* (2016).

Tabela 2 – Tipos de cenários e características convencionadas

ID	Local	Características
1	Cenário externo sem bloqueios	Cenário sem bloqueio ao zênite e sem bloqueios relevantes em todo horizonte de observação (considerou-se, por padrão, que a soma dos bloqueios não deve totalizar >25% do horizonte de observação). Cenário tido como ideal para recepção de sinais GNSS.
2	Cenário externo com bloqueios relevantes	Ambientes sem bloqueio ao zênite, mas com bloqueios relevantes (i.e. >25%) que possam interferir sobre os satélites recebidos.
3	Cenário interno próximos de aberturas	Ambientes com bloqueios ao zênite e com o receptor posicionado em região de possível visada direta com um ou mais satélites (p.ex. devido a aberturas em geral - janelas, portas, claraboias, etc.).
4	Cenário interno padrão	Ambientes com bloqueios ao zênite e com receptor sem visadas diretas a possíveis satélites.

Fonte: Autoria própria (2018)..

Para cada tipo de cenário proposto foram selecionados 10 diferentes lugares com características visualmente bem conhecidas e de fácil distinção visual, totalizando 40 cenários diferentes de testes. Em cada cenário foram realizadas medições durante 1 hora, totalizando 3600 épocas de medições. A Tabela 3 apresenta os valores consolidados de média e desvio-padrão para as seguintes variáveis em um determinado cenário:

- **Média dos valores de C/N_0 :** calcula-se o valor médio de C/N_0 de todos os satélites obtidos em uma época, excluindo-se os satélites com valor de C/N_0 igual a 0.
- **Soma dos valores de C/N_0 :** calcula-se a soma de todos os valores de C/N_0 obtidos em uma época.
- **PDOP e HDOP:** obtidos em uma época.
- **Quantidade de satélites:** obtidos em uma época, excluindo-se os satélites com valor de C/N_0 igual a 0.

Os dispositivos foram configurados de modo a se obter uma medição por segundo (época) durante o período de uma hora. Sendo obrigatória esta frequência de medição, na Tabela 3 a coluna “Épocas” marca fora dos parênteses a quantidade de épocas para as quais se obtiveram medições e entre parênteses a porcentagem de épocas válidas em relação às 3600 exigidas.

Tabela 3 – Resultados dos testes estáticos utilizando receptores GPS

Cenário externo aberto						
	Média C/N ₀	Soma C/N ₀	PDOP	HDOP	Quantidade de Satélites	Épocas
Local A-1	38.84 ± 1.00	528.60 ± 68.52	1.91 ± 0.31	0.87 ± 0.04	14 ± 2	3527 (98.0%)
Local A-2	38.14 ± 1.24	485.02 ± 88.39	1.99 ± 0.19	0.83 ± 0.04	13 ± 2	3598 (99.9%)
Local A-3	37.61 ± 1.25	488.97 ± 133.95	1.76 ± 0.21	0.85 ± 0.05	13 ± 4	3272 (90.9%)
Local A-4	32.67 ± 1.94	528.64 ± 169.65	1.65 ± 0.21	0.91 ± 0.10	16 ± 5	3486 (96.8%)
Local A-5	36.33 ± 1.40	474.55 ± 99.65	1.85 ± 0.21	0.89 ± 0.06	13 ± 3	3419 (95.0%)
Local A-6	34.76 ± 1.50	435.12 ± 66.42	1.68 ± 0.23	0.90 ± 0.11	13 ± 2	3558 (98.8%)
Local A-7	39.94 ± 1.23	523.16 ± 192.32	1.86 ± 0.29	0.88 ± 0.07	13 ± 5	3065 (85.1%)
Local A-8	39.83 ± 1.09	566.65 ± 39.60	1.78 ± 0.08	0.86 ± 0.07	15 ± 1	3578 (99.4%)
Local A-9	38.03 ± 1.14	507.87 ± 73.41	2.06 ± 0.21	0.83 ± 0.03	13 ± 2	3552 (98.7%)
Local A-10	38.86 ± 3.12	571.01 ± 123.50	1.75 ± 0.23	0.91 ± 0.11	15 ± 3	3404 (94.6%)
Cenário externo com bloqueios parciais						
	Média C/N ₀	Soma C/N ₀	PDOP	HDOP	Quantidade de Satélites	Épocas
Local B-1	27.50 ± 1.97	291.34 ± 29.79	3.09 ± 2.30	1.93 ± 2.12	11 ± 1	3599 (100%)
Local B-2	27.10 ± 2.48	233.80 ± 25.38	3.33 ± 1.37	1.91 ± 1.24	9 ± 1	3600 (100%)
Local B-3	28.83 ± 2.34	248.28 ± 26.30	3.67 ± 1.21	2.50 ± 1.08	9 ± 1	3600 (100%)
Local B-4	25.76 ± 2.09	260.65 ± 27.24	2.22 ± 0.59	1.21 ± 0.25	10 ± 1	3598 (99,9%)
Local B-5	26.98 ± 2.65	281.10 ± 29.48	3.81 ± 6.53	2.57 ± 5.81	10 ± 1	3600 (100%)
Local B-6	29.82 ± 1.77	287.94 ± 22.08	2.07 ± 0.19	0.99 ± 0.10	10 ± 1	3600 (100%)
Local B-7	29.40 ± 1.72	319.90 ± 17.18	2.02 ± 0.28	0.96 ± 0.10	11 ± 1	3600 (100%)
Local B-8	29.05 ± 2.37	263.98 ± 36.02	3.38 ± 0.54	1.88 ± 0.38	9 ± 1	3600 (100%)
Local B-9	29.83 ± 2.41	254.56 ± 23.76	3.74 ± 1.99	2.77 ± 1.80	9 ± 1	3598 (99,9%)
Local B-10	27.24 ± 2.09	264.66 ± 22.47	2.60 ± 0.33	1.32 ± 0.22	10 ± 1	3599 (100%)
Cenário interno próximo de aberturas						
	Média C/N ₀	Soma C/N ₀	PDOP	HDOP	Quantidade de Satélites	Épocas
Local C-1	20.64 ± 2.51	123.48 ± 40.75	22.38 ± 38.18	21.11 ± 38.78	6 ± 2	3521 (97,8%)
Local C-2	21.55 ± 2.05	172.95 ± 19.91	2.89 ± 0.81	1.42 ± 0.44	8 ± 1	3600 (100%)
Local C-3	21.95 ± 3.30	118.43 ± 19.26	16.79 ± 26.99	15.20 ± 27.52	5 ± 1	3599 (100%)
Local C-4	26.78 ± 2.63	122.69 ± 17.26	14.81 ± 24.69	13.70 ± 25.12	5 ± 1	3600 (100%)
Local C-5	21.76 ± 2.44	102.60 ± 28.37	51.59 ± 47.25	51.51 ± 49.34	5 ± 1	3600 (100%)
Local C-6	25.69 ± 2.13	159.13 ± 17.66	4.80 ± 4.72	3.93 ± 4.66	6 ± 1	3592 (99,9%)
Local C-7	16.93 ± 1.71	157.17 ± 22.45	6.70 ± 7.67	5.67 ± 3.61	6 ± 1	3600 (100%)
Local C-8	25.45 ± 3.31	149.53 ± 30.73	13.90 ± 25.26	12.12 ± 25.78	6 ± 1	3600 (100%)

Local C-9	22.18 ± 2.22	140.96 ± 18.66	5.19 ± 9.42	3.91 ± 9.32	6 ± 1	3600 (100%)
Local C-10	23.91 ± 2.29	174.32 ± 25.48	8.96 ± 19.41	7.58 ± 19.64	7 ± 1	3600 (100%)
Cenário interno						
	Média C/N₀	Soma C/N₀	PDOP	HDOP	Quantidade de Satélites	Épocas
Local D-1	21.87 ± 3.15	45.66 ± 27.12	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	2 ± 1	2965 (82,4%)
Local D-2	20.84 ± 6.47	21.77 ± 7.44	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	1 ± 0	435 (12,1%)
Local D-3	21.39 ± 3.01	84.30 ± 27.47	54.27 ± 46.48	52.70 ± 47.65	4 ± 1	3600 (100%)
Local D-4	23.73 ± 2.69	65.70 ± 36.13	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	3 ± 2	3377 (93,8%)
Local D-5	22.54 ± 2.64	73.93 ± 48.63	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	3 ± 2	3354 (93,2%)
Local D-6	19.95 ± 4.23	35.67 ± 18.43	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	2 ± 1	2850 (79,2%)
Local D-7	19.85 ± 5.69	70.79 ± 93.16	80.12 ± 39.10	79.91 ± 39.51	3 ± 3	2288 (63,6%)
Local D-8	19.78 ± 4.53	27.37 ± 22.01	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	1 ± 1	2058 (57,2%)
Local D-9	19.41 ± 5.89	21.75 ± 9.40	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	1 ± 0	612 (17,0%)
Local D-10	18.82 ± 4.38	25.88 ± 13.61	99.99 ± 0.0	99.99 ± 0.0	1 ± 1	1913 (53,1%)

Fonte: Autoria própria (2018).

Nos testes realizados, a média do valor de C/N_0 mostra-se adequada para caracterizar cenários quando possui valores extremos. Isto ocorre, em especial, em cenários abertos sem bloqueios (média de $C/N_0 > 30$ dB-Hz) e em cenários internos profundos (média de $C/N_0 \leq 20$ dB-Hz). Em cenários internos com aberturas e externos com bloqueios (no intervalo entre 20 e 30), a combinação de sinais bloqueados e sinais em visada direta não se mostraram adequados para estabelecer os limites entre os ambientes, contrastando em parte os resultados obtidos em Groves *et al.* (2013).

O uso do valor de soma de C/N_0 apresentou-se como uma métrica mais consistente para caracterizar tipos de cenários, sendo que, dentro dos testes realizados, pode ser utilizada como única métrica utilizada. Nos resultados obtidos, somas de $C/N_0 > 200$ permitem caracterizar um local como um cenário externo e abaixo deste valor como um cenário interno, o que concorda com GROVES *et al.* (2013). Enquanto em Groves *et al.* (2013) distingue-se apenas os tipos mais gerais de cenário, verifica-se nos testes realizados nesta pesquisa que o uso da soma também permite caracterizar os limites entre cenários: valores de soma de $C/N_0 > 350$ podem ser associados a ambientes externos abertos, enquanto valores entre 200 a 350 podem ser associados a regiões próximas de possíveis bloqueios. De forma contrária, valores entre 100 e 200 permitem caracterizar ambientes internos próximos de aberturas, enquanto valores menores podem ser associados a ambientes mais aprofundados.

Em termos dos valores de DOP, verifica-se que a utilização de PDOP e HDOP nos resultados apresentados podem ser utilizados para caracterizar ambientes internos e externos, considerando que regiões mais internas apresentam piores valores de geometria, enquanto regiões abertas possuem valores melhores de DOP (menor que 7). No entanto, como esta associação nem sempre pode ser confirmada devido ao comportamento de outras variáveis como, por exemplo, a

relação entre as posições pontuais dos satélites e bloqueios diversos do ambiente em um determinado instante (que podem oferecer DOP ruim independentemente do tipo de cenário). Devido a estas limitações, o valor de DOP pode ser utilizado como uma métrica auxiliar para o processo de detecção, mas não se recomenda seu uso de forma exclusiva.

Nos testes realizados, a quantidade de satélites confirma o anteriormente citado que, em cenários com menores quantidades de bloqueios, a quantidade de satélites tende a ser maior. No entanto, como também citado previamente, isto pode ser de difícil mensuração no sentido que os sinais dos satélites podem ser obtidos de forma refletida ou de maneira fraca em ambientes internos e nos ambientes externos bloqueios podem limitar consideravelmente a oferta de satélites disponível (PISSARDINI *et al.*, 2017).

A quantidade de épocas com medições não é um dado contido em uma mensagem NMEA, mas pode ser uma métrica auxiliar para detecção de tipos cenário: se um receptor está em um cenário com grande número de bloqueios, possivelmente o receptor não está obtendo dados adequados e, possivelmente, está em um ambiente interno longe de possíveis aberturas. No entanto, como a ausência de medições pode também decorrer por diversos motivos operacionais, esta métrica deve ser utilizada de forma auxiliar.

Considerando os testes e os dados obtidos é possível parametrizar os valores associados a cada tipo de cenário. Conforme visto previamente, o parâmetro de soma de C/N_0 , de forma exclusiva, pode ser utilizado como um recurso para detecção de cenários externos e internos (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros para detecção de cenários internos e externos utilizando a soma de sinais de C/N_0

Cenários	Parâmetros
Cenário externo aberto	Soma de $C/N_0 \geq 350$
Cenário externo com bloqueios	Soma de $C/N_0 \geq 200$ e < 350
Cenários internos próximos de aberturas	Soma de $C/N_0 \geq 100$ e < 200
Cenários internos	Soma de $C/N_0 \geq 0$ e < 100

Fonte: Autoria própria (2018).

Considerando outras métricas, os seguintes valores podem ser utilizados para tornar a caracterização mais consistente (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros para detecção de cenários internos e externos utilizando métricas combinadas

Cenários	Parâmetros	
Cenário externo aberto	Soma de $C/N_0 \geq 350$ e Média de $C/N_0 \geq 30$	(PDOP e HDOP) ≤ 7
Cenário externo com bloqueios	Soma de $C/N_0 \geq 200$ e < 350	
Cenários internos próximos de aberturas	Soma de $C/N_0 \geq 100$ e < 200	(PDOP e HDOP) > 7

Cenários internos	(Soma de $C/N_0 < 100$ e Média de $C/N_0 < 20$) ou Nr. Satélites < 4	
-------------------	---	--

Fonte: Autoria própria (2018).

VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS OBTIDOS

A segunda fase de testes envolveu a validação dos parâmetros anteriormente obtidos. Nesta fase, foi realizado um conjunto de medições em diferentes lugares com tipos bem conhecidos. Sobre estas medições, aplicaram-se os seguintes testes de validação: (a) - utilizando como parâmetro apenas a soma de C/N_0 (conforme a Tabela 4 apresentada anteriormente) e (b) - utilizando os parâmetros combinados (conforme a Tabela 5). Com a aplicação dos parâmetros, obteve-se para cada época de medição o tipo ao qual o cenário deveria pertencer. Este resultado foi comparado com o tipo conhecido do local em questão e a Tabela 6 apresenta a concordância dos resultados.

Tabela 6 – Resultados dos testes de validação

Teste de Validação	Conjunto de épocas	Acertos (%)	Erros (%)
1	82323	80765 (98.11%)	1558 (1.89%)
2	82323	73650 (89.46%)	8673 (10.54%)

Fonte: Autoria própria (2018).

Em ambas validações, os principais erros de caracterização ocorreram, em especial, nos limites entre os cenários internos e externos. Os limites entre estes cenários são, em geral, frágeis e de difícil caracterização direta. Para a maior parte das atividades de posicionamento e navegação, no entanto, a caracterização perfeita pode não ser necessária já que se pressupõe que um receptor em cenários internos próximos de aberturas e em cenários externos com bloqueios relevantes está em condições que necessitam de outros recursos para garantir a geração adequada da solução de posicionamento.

Nos testes de validação realizados deve-se notar que a utilização da soma de C/N_0 apresentou, isoladamente, resultados melhores do que a utilização de combinação de parâmetros. Isto ocorre porque o uso isolado de soma de C/N_0 apresenta características vinculadas a outras métricas: por exemplo, para obter uma soma superior a 350 dB-Hz, em geral, necessita-se de um mínimo de 9-10 satélites com valores de C/N_0 superiores a 35 dB-Hz. Desta forma, é possível determinar que se o receptor consegue medir dez satélites com estas características, os requisitos de média de C/N_0 , de quantidade de satélites e de geometria são atendidos. No entanto, em regiões de bloqueios (internas e externas) a combinação de sinais diretos e indiretos dos satélites podem distorcer a média de valor de C/N_0 , além dos valores de número de satélites e DOP não oferecem padrões convenientes para caracterizar o tipo de cenário. Mesmo sob estas condições, a soma de C/N_0 apresenta características adequadas para distinguir um cenário específico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou a utilização de dados extraídos de mensagens NMEA para caracterização de ambientes internos e externos com o objetivo de fornecer mecanismos de contextualização para sistemas de posicionamento e navegação. Foram realizados um conjunto de testes e diversas métricas foram avaliadas para buscar detectar o tipo de cenário de operação de receptor GPS. Nos testes realizados, a soma de dados de C/N_0 para uma determinada época apresentou-se como a opção mais adequada para este tipo de caracterização. A técnica, assim, mostrou-se adequada para tratamento deste tipo de caracterização, oferecendo menor quantidade de recursos do que técnicas similares como aquelas apresentadas em Wang *et al.* (2016).

Possibilidades de trabalhos futuros decorrentes desta pesquisa podem envolver a avaliação de uso de receptores multiconstelação para determinar os parâmetros relacionados a cada cenário, assim como análises de outros dados como observáveis GNSS (pseudodistância, fase da onda portadora, etc.). Adicionalmente, outras possibilidades de trabalhos futuros podem avaliar os parâmetros obtidos em atividades cinemáticas, assim como utilização integrada de outras tecnologias como sistemas inerciais (para determinar se o receptor está parado ou em movimento) e sinais de outras tecnologias de rádio (e.g. Wi-Fi, sinais de oportunidade – que utiliza sinais de outras tecnologias não-dedicadas ao posicionamento como sinais de TV).

Automatic Detection of Indoor and Outdoor Scenarios using NMEA Message Data from GPS Receivers

ABSTRACT

Detection of indoor and outdoor scenarios is an important resource for many types of activities such as multisensor navigation and location-based services. This research presents the use of NMEA data provided by GPS receivers to characterize different types of scenarios automatically. A set of static tests is performed to evaluate metrics obtained from NMEA data such as number of satellites, dilution of precision and carrier-to-receiver noise-density ratio values, with the purpose of detecting possible patterns to determine types of operating scenarios.

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

BADKE, B. What is C/N0 and how is it calculated in a GNSS receiver? **Inside GNSS**, p. 20–23, 2009.

BLEWITT, G. Basics of the GPS Technique : Observation Equations. In: JOHNSON, B. (Ed.). **Geodetic Applications of GPS**. [s.l.: s.n.]p. 9–54.

GLEASON, S.; GEBRE-EGZIABHER, D. **GNSS: Applications and Methods**. Norwood, MA: Artech House, 2015.

GROVES, P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. Norwood, MA: Artech House, 2008.

GROVES, P. D. P. D.; MARTIN, H.; VOUTSIS, K.; WALTER, D.; WANG, L.; MARTI, H.; VOUTSIS, K.; WALTER, D.; WANG, L. Context Detection, Categorization and Connectivity for Advanced Adaptive Integrated Navigation. **Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2013)**, p. 1039–1056, 2013.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LEGAT, K.; WIESER, M. **Navigation - Principles of Positioning and Guidance**. New York, NY: Springer-Verlag Wien, 2003.

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

JOSEPH, A. What is the difference between SNR and C/N0 ? **InsideGNSS**, November/December 2010, p. 20–25, 2010.

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

LANGLEY, R. B. Dilution of Precision. **GPS World**, 1999.

LIN, T.; O`DRISCOLL, C.; LACHAPELLE, G. Development of a Context-Aware Vector-Based High-Sensitivity GNSS Software Receiver. **ITM 2011**, 2011.

MAUTZ, R. **Indoor Positioning Technologies**. 2012. Zurich, 2012.

PISSARDINI, R. D. S.; OLIVEIRA, R. H. De; VAZ, J. A.; ALMEIDA FILHO, F. G. V. de; FONSECA JUNIOR, E. S. da. O problema do posicionamento para transporte terrestre no ambiente urbano. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 3, p. 380–403, 2017.

RADU, V.; KATSIKOULI, P.; SARKAR, R.; MARINA, M. K. A Semi-Supervised Learning Approach for Robust Indoor-Outdoor Detection with Smartphones. **SenSys '14 Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems**, p. 280–294, 2014.

STONE, W. C. **Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials**. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1997.

WANG, W.; CHANG, Q.; LI, Q.; SHI, Z.; CHEN, W. Indoor-Outdoor Detection Using a Smart Phone Sensor. **Sensors (Switzerland)**, v. 16, 2016.

ZHOU, P.; ZHENG, Y.; LI, Z.; LI, M.; SHEN, G. IODetector : A Generic Service for Indoor Outdoor Detection. **SenSys '12 Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems**, p. 113–126, 2012.

Recebido: 07 mai. 2018

Aprovado: 11 dez. 2018

DOI: 10.3895/rbgeo.v4n6.8269

Como citar: PISSARDINI, R. S.; FONSECA JUNIOR, E. S. Detecção automática de cenários internos e externos utilizando mensagens NMEA de receptores GNSS. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 4, n. 4, p. 346-360, out/dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utpr.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, n. 83 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-070

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

