



Posicionamento pelo GNSS via smartphones: breve histórico e contextualização de novas ferramentas e tecnologias

Positioning by GNSS via smartphones: brief history and contextualization of new tools and technologies

Allan Gomes¹, Paulo Sergio de Oliveira Júnior² e Claudia Pereira Krueger³

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba, Brasil. allangmss@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0730-0287>

² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba, Brasil. psergio.j@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7000-6924>

³ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba, Brasil. cpkrueger64@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1317>

Recebido: 02.2022 | Aceito: 05.2022

Resumo: O propósito deste artigo é resgatar o histórico dos meios de se obter a geolocalização em ambientes externos, enfatizando os smartphones com sistema operacional Android e a utilização do receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) presente no mesmo. Além disso, são apresentadas as principais ferramentas e tecnologias relacionadas a temática, alguns resultados promissores quanto à qualidade posicional passível de ser obtida atualmente, e ainda, os desafios e perspectivas futuras deste objeto no cenário mundial. Devido aos avanços tecnológicos direcionados aos dispositivos móveis, tais como os smartphones, smartwatches e tablets, surgiram diversas aplicações que movimentam importantes segmentos do mercado global. Atualmente, os dispositivos móveis possuem diversos sensores, os quais possibilitam centenas de aplicações e funcionalidades. Neste sentido, o receptor GNSS presente nestes dispositivos se destaca por dar suporte a geolocalização com uma maior acurácia em ambientes externos. O posicionamento a partir de sensores presentes em dispositivos móveis vem ganhando atualizações e melhorias à medida que inovações tecnológicas surgem. Dentre as inovações nesta temática, destaca-se a possibilidade de aquisição dos dados GNSS brutos a partir de determinados dispositivos com sistema operacional Android igual ou superior a versão Nougat. Dessa forma, o usuário pode obter informações essenciais, como as informações da fase da onda portadora, que corroboram com a obtenção de coordenadas mais acuradas. Do mesmo modo, o surgimento de smartphones que empregam receptores multi-GNSS, como o Xiaomi mi 8, podem contribuir com uma maior qualidade do posicionamento. Aliado a estas inovações e a partir de determinados métodos de posicionamento pode-se, atualmente, obter coordenadas com acurácia ao nível centimétrico a partir de smartphones.

Palavras-chave: Dispositivos. Android. Inovação. Satélite. Acurácia.

Abstract: The purpose of this article is to rescue the history of the means of obtaining geolocation in external environments, emphasizing smartphones with Android operating system and the use of the GNSS (Global Navigation Satellite System) receiver present in it. In addition, the main tools and technologies related to the theme are presented, some promising results regarding the positional quality that can be obtained today, as well as the challenges and future perspectives of this object on the world stage. Because the technological advances aimed at mobile devices, such as smartphones, smartwatches and tablets, several applications have emerged that move important segments of the global market. Currently, mobile devices have several sensors, which enable hundreds of applications and functionalities. In this sense, the GNSS receiver present in these devices stands out for supporting geolocation with greater accuracy in external environments. Positioning from sensors present in mobile devices has been gaining updates and improvements as technological innovations emerge. Among the innovations in this theme, the possibility of acquiring raw GNSS data from certain devices with an Android operating system equal to or greater than the Nougat version stands out. In this way, the user can obtain essential information, such as information on the phase of the carrier wave, which corroborates with obtaining more accurate coordinates. In the same way, the emergence of smartphones that employ multi-GNSS receivers, such as the Xiaomi mi 8, can contribute to a higher quality of positioning. Allied to these innovations and from certain positioning methods, it is currently possible to obtain coordinates with accuracy at the centimeter level from smartphones.

Keywords: Devices. Android. Innovation. Satellite. Accuracy.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos diversas tecnologias vêm sendo agregadas aos dispositivos móveis, de modo que esses aparelhos passaram a ser chamados de dispositivos inteligentes (*smart*). De acordo com DiMarzio (2017), os dispositivos *smart* são aqueles que possuem sistemas operacionais (plataformas), como os telefones celulares (*smartphones*), *tablets* e relógios (*smartwatches*). Graças a mobilidade, ao poder de processamento, armazenamento, comunicação, heterogeneidade de sensores, dentre outras características, os *smartphones* tornaram-se item essencial para diversos usuários, além de um sofisticado suporte as centenas de atividades individuais e colaborativas. Segundo Tilak (2013), haviam mais de 3 bilhões de usuários no ano de 2013, além disso, estima-se que no ano de 2020 o *smartphone* tenha sido o dispositivo eletrônico mais utilizado no mundo, com aproximadamente 3,5 bilhões de usuários (GSA, 2019). No Brasil, o número de dispositivos é maior que a população desde o ano de 2017. Ainda, estima-se que no ano de 2021 haviam cerca de 250 milhões de aparelhos operacionais (MEIRELLES, 2021).

Diante do número expressivo de *smartphones* operacionais existentes, é interessante observar que cerca de 50% de todos os aplicativos (*apps*) disponíveis na *Google Play* (Android) e *Apple App Store* (iOS) utilizam informações de localização (GSA, 2017a).

Com a popularização do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), devido principalmente a sua disponibilidade ser global e gratuita, houve um aumento expressivo no número de receptores GNSS inseridos nos *smartphones*. Segundo a GSA (2017b), cerca de 80% dos dispositivos GNSS ativos em 2017 estavam instalados em *smartphones*, enquanto que apenas 8% estavam ativos em receptores geodésicos convencionais, isto se deve, em parte, ao seu baixo custo e a facilidade com que se pode obter informações de Posição, Velocidade, Navegação e Tempo (PVT e PNT) provenientes principalmente do GNSS.

As informações PVT e/ou PNT são necessárias em diversas aplicações, especialmente nos Serviços Baseados em Localização (SBL) os quais possibilitam que determinados serviços usufruam do conhecimento da localização do usuário (DEFENSE; SECURITY; TRANSPORTATION, 2019). Algumas das aplicações do SBL incluem as cidades inteligentes¹, redes sociais, jogos, *marketing*, assistência médica, vigilância, segurança pública, rastreamento, dentre outros (USMAN et al., 2018).

Uma das principais inovações relacionadas aos dispositivos *smart*, consiste na possibilidade de obter as informações brutas coletadas por receptores GNSS compatíveis com o sistema operacional Android Nougat e superiores (MALKOS, 2016).

No contexto das inovações tecnológicas destaca-se o surgimento de aparelhos como o Xiaomi Mi 8. Ele foi o primeiro *smartphone* no mundo a integrar um receptor GNSS de dupla frequência (GPS (L1 e L5), GLONASS (L1), Galileo (E1 e E5a), BeiDou (B1C) e QZSS (L1 e L5)), possibilitando uma maior confiabilidade aos usuários principalmente em cenários urbanos, pois, se uma das frequências falhar a outra poderá ser usada como alternativa (GPS WORLD STAFF, 2018).

Diante do exposto nota-se que, ao longo dos anos houve transformações tecnológicas significativas no âmbito dos *smartphones*, que, de certo modo, contribuíram para que este equipamento se tornasse praticamente onipresente no cotidiano da sociedade. Assim, esta pesquisa norteia-se em apresentar as evoluções tecnológicas/científicas relacionadas à obtenção de informações de geolocalização via *smartphones*, buscando discutir e apontar alguns dos seus desafios. Salienta-se, no entanto, que será dada ênfase aos casos onde o posicionamento é realizado em ambiente externo (*outdoor*), considerando ainda, o emprego do receptor GNSS.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 aborda algumas características e tecnologias relacionadas ao posicionamento via *smartphones*. Os métodos e tecnologias que possibilitam realizar o posicionamento via *smartphones* são indicados na seção 3. A qualidade posicional dos *smartphones* é discutida na seção 4. A seção 5 apresenta alguns dos desafios e perspectivas futuras relacionadas a temática. As considerações finais estão na seção 6.

¹ Uma cidade inteligente é um lugar onde as redes e serviços tradicionais se tornam mais eficientes com o uso de soluções digitais em benefício de seus habitantes e negócios (COMMISSION, [s.d.]).

2 FATOS HISTÓRICOS E TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO POSICIONAMENTO VIA SMARTPHONES

Diversas tecnologias e fatos históricos estão relacionados à obtenção da geolocalização pelos usuários de dispositivos móveis. Dentre os fatos, destaca-se a técnica denominada Disponibilidade Seletiva (*Selective Availability – SA*), empregada no sistema NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging – Global Positioning System*) pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América (EUA) até maio de 2000. De forma geral, esta técnica degradava a qualidade do posicionamento na ordem de dezenas de metros (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). Desde então, as informações provenientes do GPS passaram a ser essenciais em diversos setores, incluindo o setor de Telecomunicações.

Segundo O'Connor et al. (2019), o GPS gerou cerca de 686 milhões de dólares em benefícios econômicos para o setor de Telecomunicações entre os anos de 1984 e 2017. Ainda, os autores estimam que em eventual interrupção do GPS durante 30 dias, haveriam perdas de aproximadamente 10 milhões de dólares nos Estados Unidos da América (EUA).

Destaca-se ainda o Ato 911 ou Lei de Comunicações Sem Fio e Segurança Pública de 1999 (*The Wireless Communications and Public Safety Act of 1999*), estabelecido nos EUA pela Comissão Federal de Comunicações (*Federal Communications Commission - FCC*). O objetivo do Ato 911 consiste em melhorar a segurança pública do país através de uma infraestrutura de comunicação contínua para os serviços de emergência. Além de tornar o “911”, um número de emergência Norte Americano, a FCC buscou aprimorar a ajuda em situações de emergência a partir de determinadas regras envolvendo as tecnologias sem fio, como a norma *Enhanced 911 (E911)* (FCC, 2020).

O E911 exige que as operadoras de celular disponibilizem a localização do usuário quando uma chamada de emergência for acionada. No contexto dos telefones móveis, a operadora deve fornecer a latitude e longitude do dispositivo com acurácia entre 50 a 300m, dependendo do tipo de tecnologia utilizada (via internet ou GPS por exemplo) (DIGGELEN, 2009; FCC, 2020). Por conseguinte, os requisitos estabelecidos pelo E911 e iniciativas semelhantes como o E112 (União Europeia) estimularam a adoção global de receptores GPS em telefones celulares (BANVILLE; DIGGELEN, 2016).

Em determinadas situações de emergência como em um foco de incêndio, acidente de trânsito, resgate de pessoas perdidas e/ou desorientadas, acidentes domésticos, entre outras, a acurácia posicional em torno de 50 metros é um valor adequado. Neste contexto, em um estudo realizado em quatro Estados-Membro da União Europeia, foi identificado que 71% das chamadas de emergências realizadas em 2017 foram feitas por *smartphones* (EC, 2018).

Em dezembro de 2018 o Código Europeu de Comunicações Eletrônicas tornou obrigatório que a partir de dezembro de 2020 todos os Estados-Membros da União Europeia utilizem as informações de localização para identificar pessoas que ligam para serviços de emergência (EU, 2018). O projeto AML (*Advanced Mobile Location*) é uma tecnologia que visa atender a este requisito aprimorando a localização fornecida pela rede de telefonia mediante a utilização de informações complementares via GNSS ou via internet (EENA, 2016). Mais de 13 países já aderiram a esta tecnologia, incluindo a Nova Zelândia, onde as mensagens “AML” referente as posições das chamadas realizadas por aparelhos Android e iOS, apresentaram acurácia média melhor que 50 e 100m em mais de 72% e 84% dos casos, respectivamente (EENA, 2019).

Visando aprimorar ainda mais as informações de localização do usuário em situações de emergência, a Comissão Europeia estabeleceu que todos os *smartphones* vendidos na União Europeia, a partir de 17 de março de 2022, tenham receptor GNSS e, ainda, que sejam compatíveis com o sistema Galileo (EC, 2018).

Além das situações de emergência mencionadas anteriormente diversas aplicações móveis buscam por soluções cada vez mais acuradas, tais como: publicidade (*Location-based advertising*), realidade aumentada, saúde (*mhealth*), mapeamento, gerenciamento de ativos em cidades inteligentes (*smart city*), dentre outros (GSA, 2017b).

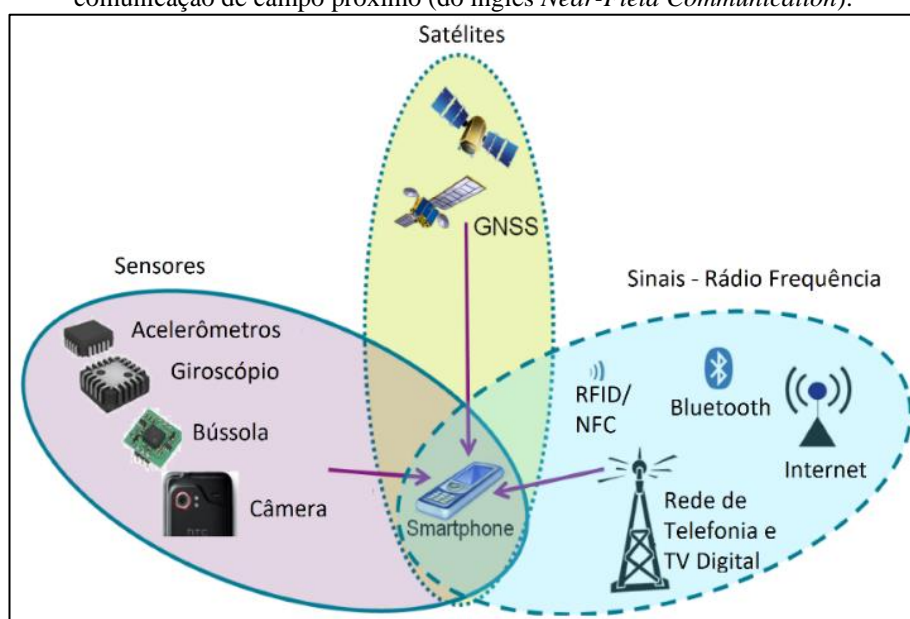
Em virtude dos avanços tecnológicos mencionados anteriormente, além de outros fatores, o posicionamento e navegação via *smartphones* se modificou ao longo dos anos. As principais maneiras de se obter dados PVT (Posição, Velocidade e Tempo) e/ou PNT (Posição, Navegação e Tempo) são abordados na próxima seção.

3 CARACTERÍSTICAS DO POSICIONAMENTO VIA SMARTPHONES

Usualmente a maneira de se obter a localização a partir de *smartphones* consiste na combinação/fusão de informações provenientes de diversas fontes. De acordo com Heuberger, Elst e Hanke (2011), o posicionamento a partir de *smartphones* pode ser realizado utilizando o receptor GNSS, através de um Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM: originalmente, *Groupe Special Mobile*) e via Redes Locais (*Local Area Network - LAN*). Por outro lado, de uma maneira genérica, Gikas e Perakis (2016) classificam as tecnologias de localização em *smartphones* como Rádio Frequência, GNSS e Inerciais.

Atualmente a maior parte dos modelos de *smartphones* disponíveis possuem sensores como acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, receptor GNSS, câmera, de proximidade, pressão, temperatura, humidade, dentre outros (GIKAS; PERAKIS, 2016; KOS et al., 2016; PEI et al., 2013; TILAK, 2013). Além do receptor GNSS, alguns destes sensores também podem fornecer informações de posição ao usuário. A Figura 1 apresenta algumas das ferramentas utilizadas para obtenção da posição do *smartphone*.

Figura 1 – Algumas das técnicas e ferramentas que podem ser utilizadas para obter a posição a partir dos *smartphones*. RFID significa identificação por radiofrequência (do inglês *Radio-Frequency IDentification*). NFC significa comunicação de campo próximo (do inglês *Near-Field Communication*).



Fonte: Adaptada de PEI et al. (2013).

Em relação ao posicionamento GNSS a posição do usuário é estimada utilizando as distâncias medidas entre a antena do receptor do usuário e a posição de pelo menos quatro satélites. Atualmente, há quatro constelações GNSS operacionais ou em desenvolvimento: GPS (EUA), GLONASS (Rússia), BeiDou (China) e Galileo (Estados membros da União Europeia). Dessa forma, combinando sinais de múltiplas constelações é possível aprimorar a acurácia posicional, principalmente em ambientes de difícil captação dos sinais, como em cânions urbanos por exemplo. Vale mencionar que em junho de 2020 a constelação BeiDou se tornou completa (BDS, 2020).

Outro fator que corrobora com a qualidade do posicionamento diz respeito aos sinais enviados pelos satélites rastreados. Segundo Laurichesse e Banville (2018), todos os satélites pertencentes às constelações Galileo e BeiDuo têm capacidade de envio de pelos menos três frequências. Dessa forma, quanto mais sinais o usuário recebe maior será a sua flexibilidade na escolha dos satélites e sinais que ele pode incluir no pós-processamento dos dados, por exemplo.

De acordo com Diggelen, Want e Wang (2018), todos os *smartphones* possuem receptor GPS ou GNSS capaz de rastrear a frequência L1 (1575,42 MHz). Até maio de 2018 os receptores GNSS presentes em *smartphones* operavam com apenas uma frequência.

O *smartphone* Xiaomi Mi 8 foi o primeiro no segmento a empregar um receptor GNSS de dupla frequência. Esse receptor foi desenvolvido pela empresa *Broadcom*, e se pode defini-lo como um receptor

multi-GNSS, pois tem capacidade de coleta de dados provenientes de múltiplas constelações (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS e BeiDou) e múltiplas frequências (L1, E1, L5 e E5a) (TECHNOLOGY, 2018). A frequência L5 (1176,45 MHz) é compatível com as constelações GPS, Galileo, BeiDou, QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) e NAVIC (*Indian Regional Navigation Satellite System - IRNSS*). A Tabela 1 apresenta os principais sistemas de posicionamento e seus respectivos sinais e frequências disponíveis.

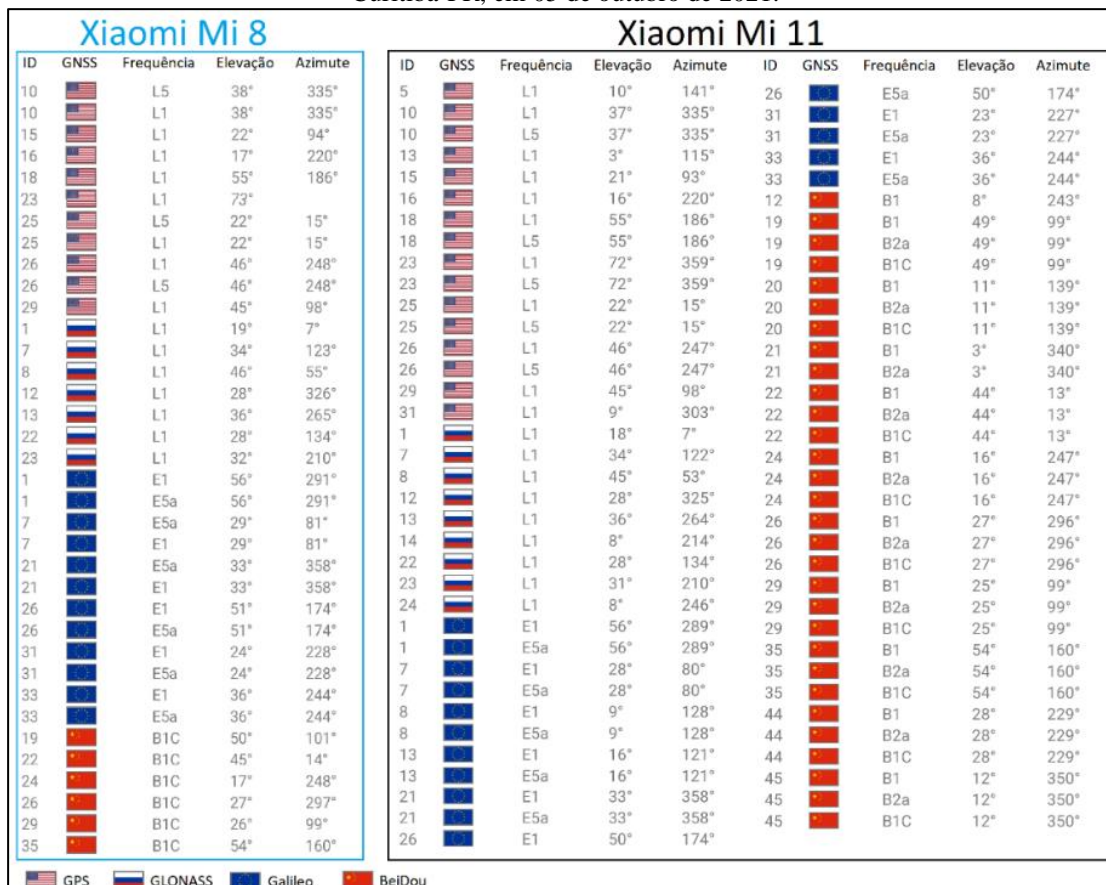
Tabela 1 – Principais sistemas de posicionamento, sinais e frequências disponíveis. SBAS (*Satellite Based Augmentation System*).

Sistema	Sinal	Frequência (MHz)	Sistema	Sinal	Frequência (MHz)
GPS	L1 C/A	1575,42	BeiDou	B1I	1561,09
	L1C	1575,42		B2I	1207,14
	L2C	1227,60		B3I	1268,52
	L2P	1227,60		B1C	1575,42
	L5	1176,45		B2a	1176,45
GLONASS	L1 C/A	1598,06 - 1609,31	NAVIC	L5	1176,45
	L2 C	1242,93 - 1251,68		SBAS	L1
	L2 P	1242,93 - 1251,68	L5		1176,45
	L3 OC	1202,02	QZSS	L1C/A	1575,42
Galileo	E1	1575,42		L1C	1575,42
	E5a	1176,45		L2C	1227,60
	E5b	1207,14	L5	1176,45	

Elaboração: Os autores (2022).

Em 2021 a Xiaomi lançou o Mi 11, cujo receptor é capaz de coletar informações de um número maior de satélites, principalmente aqueles pertencentes a constelação BeiDou, e também, informações referentes a frequência B2a (BeiDou). A Figura 2 expõe uma comparação entre os dois *smartphones* durante um rastreo GNSS simultâneo realizada em Curitiba-PR no dia 5 de outubro de 2021.

Figura 2 – Constelações e frequências rastreadas simultaneamente pelos *smartphones* Xiaomi Mi 8 e Mi 11 em Curitiba-PR, em 05 de outubro de 2021.



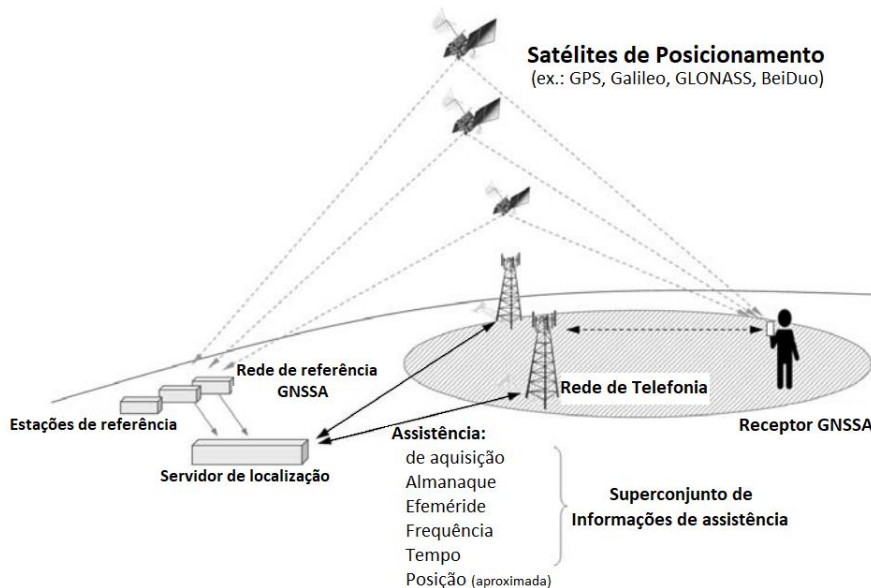
Elaboração: Os autores (2022).

3.1 GNSS Assistido (GNSSA)

Receptores GPS convencionais normalmente necessitam da denominada inicialização, onde são necessários vários segundos para rastrear as efemérides transmitidas, contendo os parâmetros de órbitas e correções dos relógios dos satélites, e aproximadamente 30s para a decodificação dos dados dos satélites, de modo que o tempo total para se obter uma posição com precisão almejada (*Time to first fix – TTFF*), seja de aproximadamente 1 minuto (DIGGELEN, 2009).

O GNSS Assistido (GNSSA, do inglês *Assisted GNSS - AGNSS*) é uma técnica que utiliza fontes alternativas de comunicação com o intuito de aprimorar a performance do posicionamento no *smartphone*. O GNSSA combina a CNT (*Cellular tower triangulation*), WPS (*Wi-Fi positioning system*) e o GNSS, conforme ilustrado na Figura 3 (DIGGELEN, 2009).

Figura 3 – Funcionamento do GNSSA.



Elaboração: Adaptada de Diggelen (2009).

O GNSSA permite, por exemplo, que o receptor GNSS conheça quais frequências espera captar mesmo antes de efetuar esta busca, reduzindo o TTFF de minutos para milissegundos (DIGGELEN, 2009; GOOGLE DEVELOPERS, 2020). Com esta redução o consumo de energia também é menor, além disso, mesmo em situações onde o posicionamento GNSS é dificultado, como em cânions urbanos por exemplo, os usuários podem obter a localização graças a esta assistência (GIKAS; PERAKIS, 2016).

Ao ligar um receptor o TTFF depende das informações referente às órbitas e dos relógios dos satélites, logo, três diferentes tipos de inicialização (*start*) são possíveis: *Cold start* (início frio); *Warm start* (início morno); e *Hot start* (início quente) (DIGGELEN, 2009; ZHANG; GAO, 2015). Segundo Zhang e Gao (2015), o *Warm start* é o mais comum, onde o receptor tem conhecimento acerca do tempo (*time*).

Ao utilizar fontes externas como a rede 4G ou a rede *WiFi* por exemplo, pode-se obter: a posição estimada do *smartphone*, dados de assistência que incluem as efemérides dos satélites, data e tempo, modelos ionosféricos, almanaque, frequências de referência, dentre outros (DIGGELEN, 2009; GSA, 2017b). O almanaque dos satélites contém as informações essenciais para o cálculo das posições aproximadas dos satélites, mesmo daqueles que não estão sendo rastreados. Os modelos ionosféricos, por outro lado, são essenciais para correção dos efeitos ionosféricos. Tais correções são importantes pois os erros sistemáticos provocados pelos efeitos ionosféricos degradam substancialmente a qualidade do posicionamento (MONICO, 2008).

No que se refere as redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks – WLAN*), vale mencionar que estas redes possuem alcance de comunicação que varia entre 50 e 100 metros, logo, é necessário que exista uma rede de pontos de acesso densa para que esta tecnologia funcione adequadamente (GIKAS; PERAKIS, 2016). Dessa forma, esta tecnologia normalmente é utilizada em ambientes internos (*indoor*).

3.2 Acesso aos dados GNSS brutos

Os aplicativos (*apps*) em si não podem acessar diretamente os sensores físicos (Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos - MEMS), pois os sinais provenientes destes são processados pelo sistema operacional do *smartphone* e disponibilizados em um formato padronizado compatível (KOS et al., 2016). Por conseguinte, o tipo de sistema operacional (ex.: Android e iOS) torna-se outro obstáculo no desenvolvimento de aplicativos para o posicionamento (DABOVE; PIETRA; LINGUA, 2017).

O conjunto de protocolos que fornece aos desenvolvedores acesso às funções do sistema é denominado de Interface de Programação de Aplicativos (IPA, do inglês *Application Programming Interface* – API). Na plataforma *Android*, os aplicativos têm acesso aos dados GNSS através da IPA de localização *android.gsm.location*. Essa IPA possibilita a otimização da localização mediante o emprego do GNSS Assistido, porém, o cálculo das soluções PVT é realizado internamente pelo módulo GNSS, de modo que apenas as soluções finais possam ser acessadas (GSA, 2017b). Vale destacar que cada versão do Android é caracterizada com determinado “nível de IPA”, como exemplo cita-se o Android 11 que possui IPA de nível 30 e o Android 12 que possui IPA de nível 31.

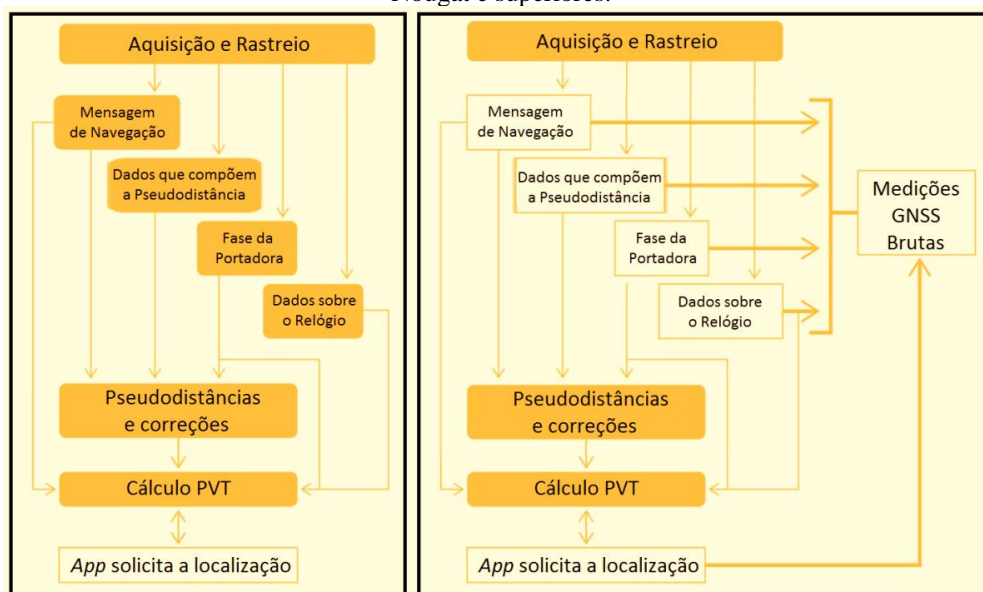
Em virtude da restrição e/ou limitação da IPA, em algumas aplicações os desenvolvedores não têm acesso a todas as informações coletadas por determinado sensor. Para Realini et al. (2017), a acurácia posicional via *smartphones* se torna limitada devido às restrições mencionadas anteriormente, pois elas dificultam a implementação de determinadas técnicas e métodos de posicionamento por satélites, obstando a possibilidade de melhora na acurácia posicional e minimização e/ou correção dos erros inerentes ao posicionamento.

No ano de 2016 surgiu uma das principais inovações relacionadas ao posicionamento GNSS via dispositivos móveis. A Google, desenvolvedora da plataforma Android, anunciou durante a conferência “*I/O 2016*” a possibilidade de aquisição dos dados GNSS brutos pela primeira vez, graças a uma nova IPA (*android.location*) implementada no sistema operacional Android Nougat (IPA de nível 24) e sucessores (MALKOS, 2016).

Dentre as principais informações pode-se acessar as mensagens que possibilitam o cálculo das pseudodistâncias, informações Doppler e observações da fase da onda portadora (ZHANG et al., 2018). As técnicas de posicionamento GNSS que buscam alta acurácia recorrem a utilização das informações da fase, o que possibilita a obtenção de acurácia posicional ao nível centimétrico (até milimétrico) (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

A Figura 4 apresenta de forma simplificada as diferenças entre as IPA’s mencionadas.

Figura 4 – À esquerda a API *android.gsm.location* e à direita a IPA *android.location* disponível na plataforma Android Nougat e superiores.



Fonte: Gomes (2019).

É importante mencionar que embora as IPA's permitam o acesso à determinada informação, os fabricantes não são obrigados a adotar estes recursos nos seus dispositivos móveis. Atualmente já existem *smartphones* capazes de captar informações da fase, dentre eles destaca-se o *smartphone* Xiaomi Mi 8, o qual também possibilita o armazenamento de mensagens de navegação². Contudo, embora o receptor GNSS presente no Mi 11 seja capaz de interpretar um número maior de informações que seu antecessor Mi 8, o mesmo não possibilita o acesso as informações referentes a observação da fase da onda portadora.

Os dados GNSS brutos podem ser utilizados por desenvolvedores de *apps* para aprimorar a qualidade do posicionamento obtido via dispositivos compatíveis, havendo ainda, a possibilidade de criar soluções multi-GNSS (múltiplas frequências e constelações), proporcionando assim, maior flexibilidade na realização de integrações entre os diversos sensores presentes nos *smartphones* (CECCATO et al., 2018; MIRALLES et al., 2018). Antes do sistema operacional Android Nougat, era impossível aprimorar o posicionamento GNSS sem o emprego de um *hardware* externo (ZHANG et al., 2018).

As observáveis GNSS contêm diversos erros devido à propagação do sinal GNSS na atmosfera, localização geográfica do usuário, multicaminho, dentre outros erros que degradam a qualidade posicional. Estes erros podem ser modelados, minimizados e/ou eliminados. O multicaminho ocorre quando o sinal emitido pelo satélite de posicionamento é refletido ou difratado em superfícies, normalmente próximas ao receptor GNSS. Esse fenômeno pode causar erros nas medições do código e na fase da portadora e, portanto, é tratado como interferência prejudicial (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

Além das técnicas de posicionamento, existem ainda, ferramentas e metodologias que podem ser utilizadas para minimizar e/ou eliminar estes erros. No entanto, algumas destas correções só são possíveis mediante a utilização dos dados GNSS brutos, normalmente armazenados em arquivos no formato universal *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX).

Especificamente para o posicionamento com *smartphones* alguns erros são amplificados, como os efeitos de multicaminhamento dos sinais e a variação do centro de fase da antena, haja vista as dificuldades advindas do formato do dispositivo (YAN et al., 2020). O centro de fase da antena é o ponto virtual onde as medidas dos sinais são referenciadas, porém, além de ser diferente para cada portadora o centro de fase não é estável e varia com a intensidade e a direção dos sinais (MONICO, 2008). Além da posição receptor, o usuário não tem o conhecimento acerca das informações das variações do centro de fase da antena de alguns dispositivos, as quais são fundamentais para o posicionamento de alta acurácia (DABOVE; PIETRA, 2019; LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015). Para Netthonglang, Thongtan e Satirapod (2019) os *smartphones* podem fornecer informações de posição, mediante o pós-processamento dos dados, com acurácia ao nível centimétrico desde que as informações de posição e do centro de fase da antena GNSS sejam conhecidas.

No ano de 2020 a Google lançou a plataforma Android 11 (IPA de nível 30), nessa versão foi introduzida uma nova ferramenta com o intuito de contornar o problema da ausência de informações da antena GNSS. Os dispositivos compatíveis com essa versão podem fornecer informações como os *offsets* do centro de fase da antena (*Phase Center Offset* - PCO) e a variação do centro de fase (*Phase Center Variation* - PCV) para a frequência empregada (GOOGLE, [s.d.]). Contudo, a Google não informa qual foi a metodologia adotada para a obtenção desses parâmetros.

A Figura 5 apresenta algumas informações referente a antena GNSS presente no *smartphone* Xiaomi Mi 11. Estas informações foram obtidas através de dois aplicativos, denominados GPSTest (v.3.9.16) e GnsLogger (v.3.0.0.10). Porém, há uma incoerência nos dados apresentados pelos aplicativos, pois até o momento não existe indícios de que há algum dispositivo móvel capaz de armazenar dados provenientes da frequência 1227.6 MHz (L2). Dessa forma, acredita-se que essas informações se referem a frequência 1176,45 MHz (L5).

² As mensagens de navegação fornecem as informações necessárias para o cálculo das posições dos satélites e que permitem efetuar correções da ionosfera (MATSUOKA; CAMARGO, 2002).

Figura 5 – Informações de PCO e PCV da antena GNSS presente no *smartphone* Xiaomi Mi 11.

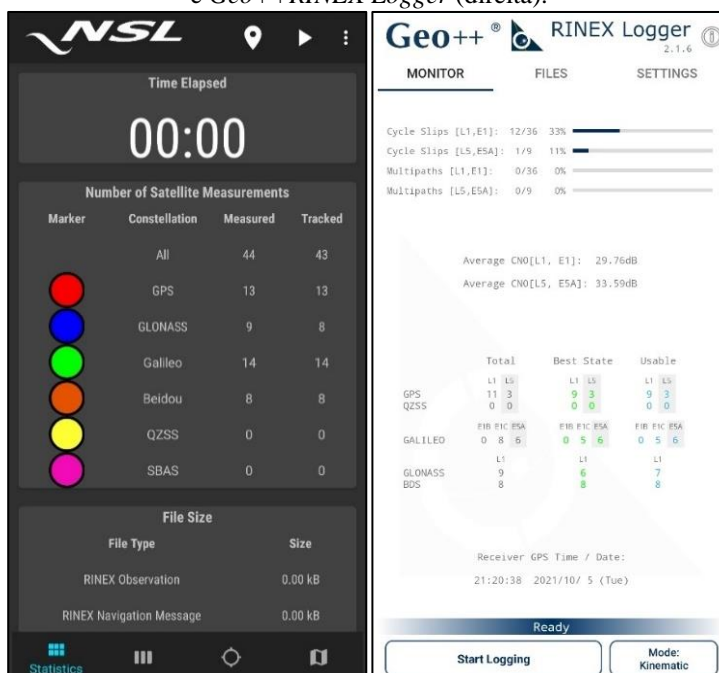
Carrier Frequency (MHz) = 1575.42				
PCO Measurements:				
PCO (mm)	X	Y	Z	
	1,200000 ± 0,100000	3,400000 ± 0,200000	5,600000 ± 0,300000	
PCV (mm):				
Elev (deg)	0	60	120	180
Azim (deg)				
0	11,220000 ± 0,100000	33,440000 ± 0,200000	55,660000 ± 0,300000	77,880000 ± 0,400000
120	10,200000 ± 1,100000	30,400000 ± 1,200000	50,600000 ± 1,300000	70,800000 ± 1,400000
240	12,200000 ± 2,100000	34,400000 ± 2,200000	56,600000 ± 2,300000	78,800000 ± 2,400000
Signal Gain (DbHz):				
Elev (deg)	0	60	120	180
Azim (deg)				
0	9,800000 ± 0,110000	8,700000 ± 0,220000	7,600000 ± 0,330000	6,500000 ± 0,440000
120	5,400000 ± 0,550000	4,300000 ± 0,660000	3,200000 ± 0,770000	2,100000 ± 0,880000
240	1,300000 ± 0,910000	2,400000 ± 0,920000	3,500000 ± 0,930000	4,600000 ± 0,940000
Carrier Frequency (MHz) = 1227.6				
PCO Measurements:				
PCO (mm)	X	Y	Z	
	3,400000 ± 0,200000	5,600000 ± 0,300000	1,200000 ± 0,100000	
PCV (mm):				
Elev (deg)	0	180		
Azim (deg)				
0	55,660000 ± 0,300000	77,880000 ± 0,400000		
90	11,220000 ± 1,100000	33,440000 ± 1,200000		
180	56,600000 ± 2,100000	78,800000 ± 2,200000		
270	12,200000 ± 0,100000	34,400000 ± 0,200000		
Signal Gain (DbHz):				
Elev (deg)	0	60	120	180
Azim (deg)				
0	7,600000 ± 0,910000	6,500000 ± 0,920000	5,400000 ± 0,550000	4,300000 ± 0,660000
120	1,300000 ± 0,110000	2,400000 ± 0,220000	9,800000 ± 0,930000	8,700000 ± 0,940000
240	1,400000 ± 0,950000	2,500000 ± 0,960000	3,600000 ± 0,330000	4,700000 ± 0,440000

Elaboração: Os autores (2022).

Darugna et al. (2020), observaram que a calibração da antena do *smartphone* Huawei Mate20X é evidenciada como um recurso para o posicionamento com resolução de ambiguidades³. Ainda, de acordo com Wanninger e Hesselbarth (2020), mediante a utilização dos parâmetros de calibração da antena GNSS presente no *smartphone* Huawei P30, pode-se obter com sucesso a solução das ambiguidades apenas para o GPS (L1). Mediante o pós-processamento de dados com uma estação de referência geodésica, os autores obtiveram desvios-padrão de poucos centímetros após 5 min e 2 cm após 60 min.

Após o lançamento do Android 7 foram desenvolvidos diversos *apps* que realizam o acesso aos dados brutos e os armazenam, seja em formato específico ou no formato universal RINEX. Dentre estes, citam-se: *GPSTest*, *GnssLogger*, *Geo++ RINEX Logger*, *Rinex On*, *Gnut Client*, *GNSS Compare*, *RTCM Converter*, *PPP WizLite* (GOOGLE PLAY, 2020) (Figura 6).

Figura 6 – Aplicativos que permitem o armazenamento de informações GNSS em formato RINEX. *RinexOn* (esquerda) e *Geo++RINEX Logger* (direita).



Elaboração: Os autores (2022).

³ Ambiguidade é o número de ciclos inteiros entre as antenas do satélite e do receptor na primeira época de coleta de dados GNSS.

Caso o usuário não disponha de um aparelho, mas queira verificar se determinado dispositivo é compatível, o mesmo pode consultar a lista de dispositivos que suportam o acesso aos dados GNSS brutos no site de desenvolvimento Android (ANDROID DEVELOPERS, [s.d.]). Contudo, sugere-se utilizar como fonte de pesquisa o banco de dados do aplicativo *GPSTEST* (GPSTEST, [s.d.]), cujo acesso pode ser realizado através do navegador *Google Chrome*. Nesse banco de dados há um número maior de informações sobre a compatibilidade de milhares de dispositivos, normalmente, este banco de dados é atualizado à medida que um novo dispositivo realiza um rastreo. Vale ressaltar que o modelo do aparelho pode variar frente a diversos fatores, por exemplo, o Mi 8 versão Global fornece informações da fase da onda portadora, diferentemente das versões Mi 8 Lite e Mi 8 SE (GPSTEST, [s.d.]).

Outra questão relevante aos usuários diz respeito a versão do aplicativo utilizado e a sua otimização quanto a versão do Android e do sistema do fabricante. Nos testes realizados com os *smartphones* Xiaomi Mi 8 (Android 10 e MIUI 12.0.1) e Mi 11 (Android 12.5.4 e MIUI 12.5.4.0), os aplicativos *RinexOn* (versão 1.3) e *GNSS Compare* (versão 0.53) não funcionaram no modelo Mi 11. No entanto, após a atualização do sistema MIUI da Xiaomi para a versão 13.0.4, o *app RinexOn* (versão 1.3) funcionou corretamente. Dessa forma, recomenda-se que o usuário realize testes com diferentes aplicativos, e que mantenha seu dispositivo e aplicativos sempre atualizados.

Mediante uma análise sobre a relevância deste novo cenário no posicionamento GNSS, os autores sugerem classificar os métodos de aquisição de dados via dispositivos móveis com sistema operacional Android, como:

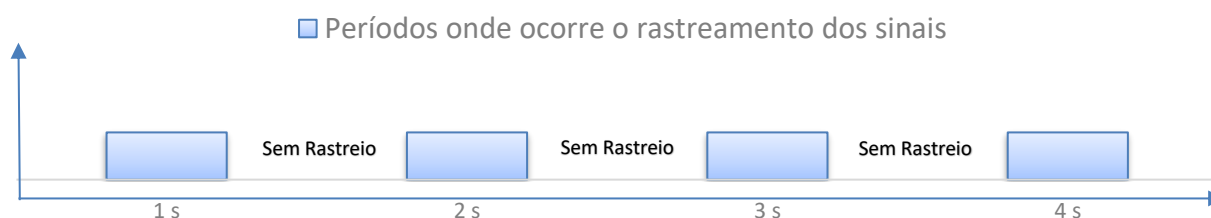
- **Método Clássico:** realizado via a IPA *android.gsm.location*, onde só é possível a obtenção de soluções *PVT* computadas internamente pelo módulo GNSS;
- **Método Moderno:** caracterizado pelo acesso aos dados GNSS brutos (principalmente pelas informações da fase da portadora), através da IPA *android.location*, sendo possível o desenvolvimento de soluções multi-GNSS e a realização do pós-processamento dos dados brutos.

3.3 Controle Automático de Ganho (CAG)

Os receptores geodésicos convencionais priorizam a performance do equipamento e a qualidade dos dados obtidos, por sua vez, o consumo de energia não é prioridade. Por outro lado, os *smartphones* utilizam a técnica denominada *Duty Cycle* justamente para reduzir o consumo de energia, porém, esta técnica afeta diretamente a qualidade do posicionamento (GSA, 2017b).

O *Duty Cycling* ou Controle Automático de Ganho (CAG) é uma ferramenta implementada no sistema Android que tem a função de ativar e desativar o rastreamento dos sinais GNSS durante curtos intervalos de tempo (milissegundos) (Figura 7). Essa alternância, no entanto, provoca descontinuidades nas observações da fase interferindo na qualidade do posicionamento (LIU et al., 2019; REALINI et al., 2017).

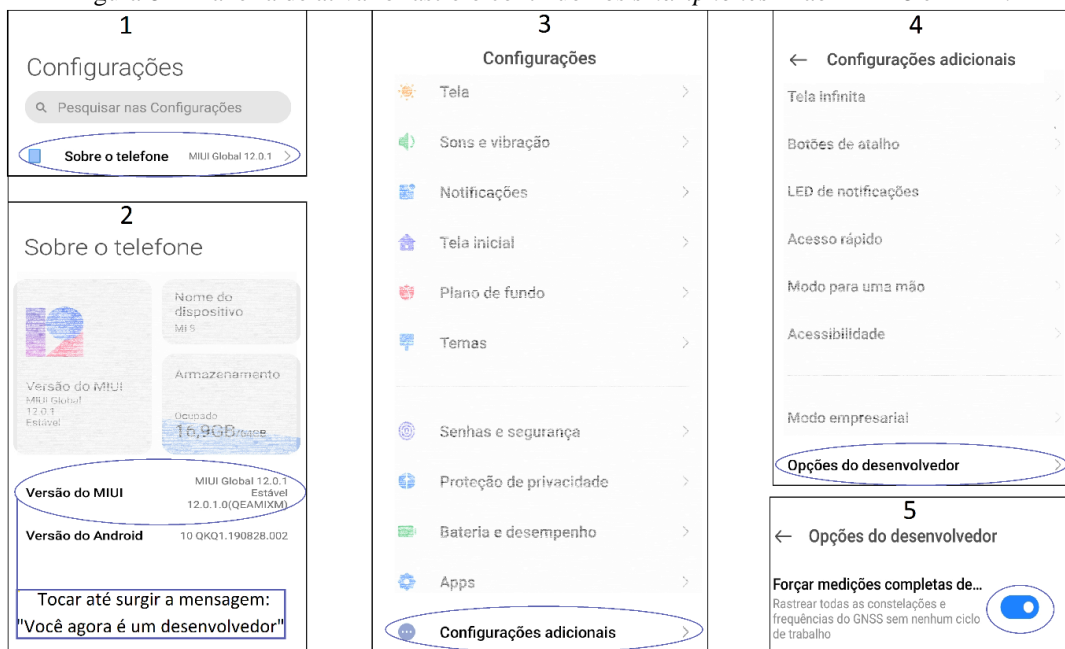
Figura 7 – Funcionamento da ferramenta *Duty Cycle* ou Controle Automático de Ganho.



Elaboração: Os autores (2022).

No ano de 2017 a Google lançou o Android Oreo (IPA de nível 25), o qual possibilita que o CAG seja desabilitado neste sistema e em versões superiores. Para desativar a ferramenta CAG em seu dispositivo, o usuário deve acessar as configurações do desenvolvedor e ativar a função “Forçar medições completas de GNSS”, conforme demonstrado na Figura 8. Contudo, ressalta-se novamente que, embora a plataforma permita esta funcionalidade, os fabricantes não são obrigados a implementar tais ferramentas nos dispositivos.

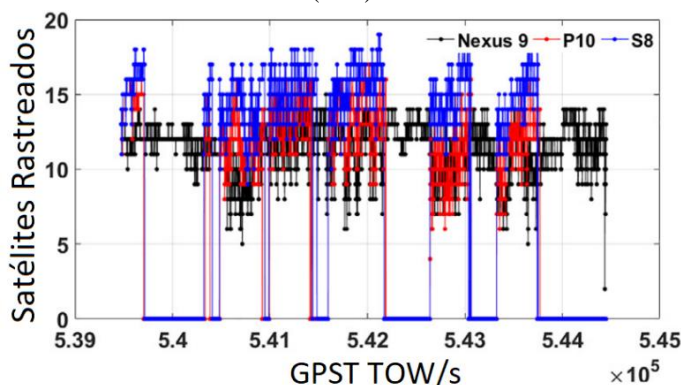
Figura 8 – Maneira de ativar o rastreo contínuo nos *smartphones* Xiaomi Mi 8 e Mi 11.



Elaboração: Os autores (2022).

Liu et al. (2019) observaram a existência de vários períodos de tempo onde os *smartphones* HUAWEI P10 e Samsung S8 não rastrearam nenhum satélite, enquanto que o *tablet* Nexus 9 com a função CAG desabilitada, rastreou normalmente, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Número de satélites rastreados a partir do *Tablet* Nexus 9 (preto) e via os *smartphones* P10 (vermelho) e S8 (azul).



Fonte: Adaptada de Liu et al. (2019).

Além da baixa qualidade da antena presente no *smartphone*, a ferramenta CAG também é outra barreira quanto à obtenção de soluções com alta acurácia via estes dispositivos (BANVILLE; DIGGELEN, 2016; HÅKANSSON, 2019). Os resultados obtidos por Paziewski, Sieradzki e Baryla (2019), mostraram uma divergência crescente entre os dados de fase e de código após a ativação da ferramenta CAG a partir do *smartphone* Huawei P20. Além disso, a ativação da ferramenta CAG causou repetidas variações nos dados do código, o que também é considerado um efeito relacionado ao relógio do receptor. Finalmente, os autores salientam que a ativação da ferramenta CAG impede que as ambiguidades sejam solucionadas, por conseguinte, ela pode ser considerada um fator limitante no que se refere à utilização de determinados métodos de posicionamento.

4 QUALIDADE DO POSICIONAMENTO GNSS VIA SMARTPHONES

Dentre as tecnologias apresentadas nas seções anteriores, o GNSS é aquele mais adequado para aplicações que requerem alta acurácia e em ambientes externos (*outdoor*). No entanto, é difícil obter um

posicionamento de alta acurácia via *smartphones* sem a necessidade de um hardware externo e sem as observações GNSS brutas.

O primeiro telefone celular comercial com receptor GPS foi lançado no ano de 1999 (BANVILLE; DIGGELEN, 2016). No entanto, pode-se estimar que a acurácia posicional deste telefone tenha sido superior a 30 m, visto que apenas no ano seguinte a Disponibilidade Seletiva foi desativada.

O posicionamento por GNSS via *smartphones* é afetado por erros atmosféricos, erros das órbitas de satélites, dos relógios, multicaminho, dentre outros (PESYNA et al., 2017). Para Li e Geng (2019), o multicaminho e o ruído do receptor são as duas principais fontes de erros nas medições. Gogoi et al. (2018) ressaltam que as interferências diretas na intensidade do sinal provocadas pelo multicaminho, tem sido o principal fator limitante na obtenção de coordenadas acuradas. Em condições de pouco multicaminho pode-se obter acurácia posicional em torno de 2 a 3 metros, porém, sob condições adversas, a acurácia é degradada em 10 m ou mais (PESYNA; HEATH; HUMPHREYS, 2014; ZHANG et al., 2018). Neste contexto, Pesyna et al. (2014) e Pesyna et al. (2017), consideram que a antena GNSS (de baixo custo) presente nos *smartphones*, é uma das principais barreiras na obtenção de acurácias ao nível centimétrico.

Nos últimos anos os estudos direcionados à determinação da precisão e acurácia alcançável com dispositivos *smartphones* se multiplicaram. Pesyna, Heath e Humphreys (2014) conectaram uma antena externa a um *smartphone* possibilitando a geração de observações de fase e do código. Logo, mediante o pós-processamento dos dados, os autores obtiveram acurácia ao nível centimétrico. Entretanto, os resultados obtidos pelos autores limitaram-se à demonstração da possibilidade do emprego de uma antena GNSS junto ao *smartphone*, isto é, eles contornaram as limitações do *smartphone*, como a versão da plataforma operacional e a qualidade da antena presente no dispositivo, conforme salienta Realini et al. (2017). De forma semelhante, Li e Geng (2019) utilizaram uma antena externa e comprovaram a baixa capacidade de supressão do multicaminho pelas antenas GNSS presente nos dispositivos móveis. Em sua pesquisa os autores descobriram que o ruído da pseudodistância nos dispositivos móveis é cerca de 10 vezes maior que o de receptores geodésicos.

Dentre as pesquisas relacionadas ao acesso aos dados GNSS brutos, cita-se a pesquisa desenvolvida por Realini et al. (2017). Os autores demonstraram ser possível obter precisão com nível decimétrico com um *tablet* mediante o pós-processamento de dados obtidos a partir de levantamentos realizados pelo método de posicionamento relativo estático rápido. Nesse método de posicionamento, a posição de um ponto é determinada com relação à de um ou mais pontos, cujas coordenadas são conhecidas (KAPLAN; HEGARTY, 2017). Ambos os métodos (relativo estático e relativo estático rápido) tem o mesmo princípio, o que os difere é a duração da campanha de coleta de dados.

Dabove e Pietra (2019) demonstraram que o uso do posicionamento GNSS diferencial com dados oriundos de aparelhos *smartphones* pode produzir resultados melhores que 60 cm em tempo real, se uma rede de estações de referência estiver disponível. Nesse estudo foram analisados os aparelhos Samsung Galaxy S8+ e Huawei P10 plus, ambos com sistema operacional Android. O método de posicionamento diferencial consiste no uso de um receptor estacionário em um ponto com coordenadas conhecidas, de modo que as correções geradas são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (KAPLAN; HEGARTY, 2017).

Yan et al. (2020) realizaram testes que produziram resultados promissores com dois aparelhos: Huawei P10 (simples frequência) e Xiaomi Mi 8 dotado de módulo de dupla frequência. Os autores efetuaram o pós-processamento pelo método de posicionamento relativo e compararam os resultados obtidos com os dados GNSS dos *smartphones* aos resultados obtidos com um receptor geodésico convencional. Em termos de acurácia horizontal, o Huawei P10 proporcionou 50 cm de discrepância em relação ao posicionamento efetuado com receptor geodésico. Por outro lado, o Xiaomi 8 apresentou 10 cm de acurácia evidenciando o ganho da dupla frequência.

No Brasil, Gomes e Krueger (2020) avaliaram a acurácia do *smartphone* Xiaomi Mi 8 em modo estático a partir de diferentes métodos de posicionamento, mediante o pós-processamento dos dados a partir do método relativo e obtiveram acurácia planimétrica entre 49 e 98 cm, enquanto que o método de posicionamento por ponto preciso (PPP) proporcionou acurácia planimétrica entre a 22 e 100 cm. O método PPP utiliza as observáveis da fase da onda portadora e informações precisas referente às órbitas e erros dos

relógios dos satélites, além de outros modelos matemáticos (KAPLAN; HEGARTY, 2017). Além disso, o PPP não requer outro receptor tornando-o vantajoso em relação ao método de posicionamento relativo.

Gomes, Klein e Krueger (2021), alcançaram acurácia planimétrica de aproximadamente 12 cm em modo estático com o Xiaomi Mi 8. Os autores obtiveram as coordenadas via o serviço online IBGE-PPP, utilizando apenas as constelações GPS e GLONASS e a frequência L1, e combinaram técnicas de ajustamento baseado nos mínimos quadrados para obter uma solução mais acurada.

A Tabela 2 apresenta os resultados da acurácia posicional obtida por algumas investigações no âmbito dos dispositivos móveis.

Tabela 2 – Acurácia posicional obtida a partir de dispositivos móveis de acordo com algumas pesquisas.

Publicação	Dispositivo móvel utilizado na pesquisa	Acurácia 2D aproximada (m)
(SIKIRICA et al., 2017)	Huawei P10	5,00 – 10,00
(ZHANG et al., 2018)	Tablet Google Nexus 9	< 0,60
(SPECHT et al., 2018)	Samsung Galaxy: Y, S3 Mini, S4, S5, S6 e S7	3,67 – 9,62
(LACHAPELLE; GRATTON, 2019)	Huawei Mate 20X	1,00
(LIU et al., 2019)	Tablet Google Nexus 9, Huawei P10 e Samsung S8	< 2,00
(FORTUNATO et al., 2019)	Xiaomi Mi 8	1,00 – 2,00
(ROBUSTELLI et al., 2020)	Xiaomi Mi 8 e Samsung S8	0,51 (Mi 8) e 5,64 (S8)
(GOMES; KRUEGER, 2020)	Xiaomi Mi 8	0,22 – 1,00
(GOMES; KLEIN; KRUEGER, 2021)	Xiaomi Mi 8	0,12 – 0,88

Elaboração: Os autores (2022).

5 DESAFIOS RELACIONADOS AO POSICIONAMENTO GNSS VIA SMARTPHONES

O posicionamento via *smartphones* baseado no GNSS está inerente as mesmas influências que os receptores GNSS convencionais, especialmente, quanto as perturbações sofridas pela onda eletromagnética durante sua trajetória. Além dessas perturbações existem ainda outras vulnerabilidades e/ou interferências, como os ataques *jamming* e *spoofing* e falhas nas antenas, que podem comprometer a qualidade do posicionamento (ACHANTA; WATT; SAGEN, 2015).

O *jamming* é um bloqueio provocado nos sinais GNSS rastreados e que pode trazer riscos aos usuários. Existem equipamentos que bloqueiam os sinais GNSS e por isso, em determinados países como os EUA, eles são proibidos (ACHANTA; WATT; SAGEN, 2015).

O *spoofing* trata-se de uma interferência intencional ou não que pode fornecer uma solução de tempo ou posição incorreta. Isso pode ocorrer quando o receptor do usuário não consegue identificar a diferença entre os sinais reais dos satélites e os sinais falsificados. Ataques *spoofing* vem se tornando uma séria ameaça às aplicações que utilizam informações provenientes do GNSS via dispositivos móveis (CECCATO et al., 2018).

De acordo com Akos (2012) o CAG pode ser uma ferramenta complementar a outras metodologias para prevenir e detectar os ataques *spoofing*. Além disso, o autor menciona a combinação de acelerômetros (ou outros sensores) e CAG, como um meio muito eficaz de detecção destes ataques.

Receptores GNSS de dupla frequência além de proporcionarem uma melhor acurácia são mais resistentes aos ataques *jamming* e *spoofing*. Os sinais L5/E5a estão localizados em bandas compartilhadas com o Serviço de Rádio Navegação Aeronáutica (ARNS, sigla em inglês para *Aeronautical Radio Navigation Service*), ou seja, estão sujeitas a maiores proteções regulamentais (LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV, 2015).

Segundo Liu et al. (2019) os principais motivos que interferem na qualidade do posicionamento obtido por *smartphones* são as antenas e o receptor GNSS de baixo custo e baixa potência. De acordo com Monico (2008), devido a estrutura dos sinais, todas as antenas devem ser polarizadas circularmente. Contudo, usualmente a antena utilizada em *smartphones* é uma Antena Planar F Invertida (*Planar Inverted-F Antenna - PIFA*) de baixo custo, a qual usa polarização linear (em vez de circular), tornando os *smartphones* mais susceptível aos efeitos do multicaminho (BANVILLE; DIGGELEN, 2016; GSA, 2017b).

Outro fator relevante consiste na localização da antena no *smartphone*, a qual é ditada mais pelo seu design do que pelas restrições de Rádio Frequência, o que pode resultar em locais inadequados tendo em vista que a manipulação do dispositivo pelo usuário pode degradar ainda mais a recepção dos sinais GNSS (GSA,

2017b; HUMPHREYS et al., 2016).

É válido ressaltar que o posicionamento GNSS no Brasil tem desafios ainda maiores no que concerne a mitigação dos efeitos da ionosfera, haja visto que o país está localizado, em grande parte, na região equatorial e de baixas latitudes caracterizada pela presença da cintilação ionosférica (VANI et al., 2019). Nesse sentido, os novos *smartphones* capazes de rastrear duas frequências ou mais, poderão proporcionar avanços para mitigação do efeito ionosférico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este artigo fornece uma visão geral sobre as potencialidades do posicionamento GNSS via *smartphones* na atualidade.

Em virtude de seu custo ser relativamente baixo, quando comparado a receptores geodésicos, aliado, ainda, a flexibilidade da fusão das várias ferramentas e funcionalidades dos diversos sensores presentes no mesmo, observa-se que há um cenário promissor no emprego de *smartphones* como ferramenta para atividades profissionais na engenharia, como por exemplo: levantamentos cadastrais, posicionamento de embarcações, atualizações de cartas, mapeamento e georreferenciamento de imagens de satélites *LANDSAT*.

Com base nas pesquisas citadas, pode-se estabelecer que a acurácia atual do posicionamento absoluto com *smartphones* é da ordem de 2 a 3m sob boas condições de visibilidade e disponibilidade de satélites. Diante do novo cenário, onde as observações GNSS brutas são utilizadas, os autores já verificaram resultados de qualidade decimétrica no modo PPP. No que se refere ao posicionamento relativo, embora ainda existam muitos desafios a literatura traz resultados da ordem de 10 cm para o posicionamento relativo estático pós-processado e de aproximadamente 10 a 30 cm para o tempo real.

O uso de soluções multi-GNSS, receptores de dupla frequência e o emprego de informações externas, possibilitam elevar a acurácia para níveis ainda mais significativos. Espera-se que futuramente seja possível empregar os *smartphones* em aplicações que antes eram restritas apenas aos receptores geodésicos.

Embora tenham surgido diversas tecnologias e ferramentas com o propósito de melhorar a acurácia posicional obtida a partir dos *smartphones*, ainda há limitações. Dentre essas, cita-se a baixa qualidade da antena GNSS e sua alta sensibilidade quanto as interferências sofridas pelos sinais, o que corrobora com a suscetibilidade ao efeito do multicaminho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor, número do processo 40001016002P6.

Contribuição dos Autores

O autor A. G. foi responsável pela conceptualização, pesquisa, visualização, redação e edição. E os autores P. S. O. J e C. P. K. foram responsáveis pela supervisão e revisão do artigo.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflito de interesse.

Referências

- ACHANTA, S.; WATT, S. T.; SAGEN, E. Mitigating GPS Vulnerabilities. In: POWER AND ENERGY AUTOMATION CONFERENCE, 2015. Spokane. **Anais...** Spokane, 2015. p. 6-7.
- AKOS, D. M. Who's Afraid of the Spoofer? GPS/GNSS Spoofing Detection via Automatic Gain Control

- (AGC). **Navigation: Journal of The Institute of Navigation**, U.S.A, 2012. v. 59, n. 4, p. 281–290.
- ANDROID DEVELOPERS. **Raw GNSS Measurements**. Disponível em: <<https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>>. Acesso em: 21 mai. 2019.
- BANVILLE, S.; DIGGELEN, F. VAN. Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones. **GPS WORLD**. 2016. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/innovation-precise-positioning-using-raw-gps-measurements-from-android-smartphones/>>. Acesso em: 6 dez. 2018.
- BDS, B. N. S. S. **The BDS-3 Constellation Deployment Is Fully Completed Six Months Ahead of Schedule UNOOSA Sends a Congratulation Letter**. Disponível em: <http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/202006/t20200623_20692.html>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- CECCATO, S.; FORMAGGIO, F.; CAPARRA, G.; LAURENTI, N.; TOMASIN, S. Exploiting side-information for resilient GNSS positioning in mobile phones. In: **IEEE/ION POSITION, LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM (PLANS)**, 2018, Monterey. **Anais...** Monterey, 2018. p.1515–1524.
- COMMISSION, E. **Smart cities**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en>. Acesso em: 27 jan. 2022.
- DABOVE, P.; PIETRA, V. DI. Towards high accuracy GNSS real-time positioning with smartphones. **Advances in Space Research**, v. 63, n. 1, p. 94–102, 2019. DOI. 10.1016/j.asr.2018.08.025.
- DABOVE, P.; PIETRA, V. DI; LINGUA, A. M. Positioning Techniques with Smartphone Technology: Performances and Methodologies in Outdoor and Indoor Scenarios. In: MOHAMUDALLY N. (Ed.). **Smartphones from an Applied Research Perspective**. London: InTech, 2017. p. 163-183.
- DARUGNA, F.; WÜBBENA, J. B.; WÜBBENA, G.; et al. Impact of robot antenna calibration on dual-frequency smartphone-based high-accuracy positioning: a case study using the Huawei Mate20X. **GPS Solutions**, v. 25, n. 1, p. 1–12, 2020. DOI. 10.1007/s10291-020-01048-0
- DEFENSE, D. OF; SECURITY, D. OF H.; TRANSPORTATION, D. OF. **2019 Federal Radionavigation Plan**. Springfield, 2019.
- DIGGELEN, F. VAN. **A-GPS : assisted GPS, GNSS, and SBAS**. London: Artech House, 2009.
- DIGGELEN, F. VAN; WANT, R.; WANG, W. **How to achieve 1-meter accuracy in Android**. Disponível em: <<http://gpsworld.com/how-to-achieve-1-meter-accuracy-in-android/>>. Acesso em: 3 out. 2018.
- DIMARZIO, J. F. **Beginning Android® Programming with Android Studio**. 4º ed. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- EC, E. C. **COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2019/320 of 12 December 2018**. Official Journal of the European Union. Brussels: 2018. Regulamento oficial.
- EENA, E. E. N. A. **EENA Operations Document: Advanced Mobile Location (AML) Specifications & Requirements**. 2016. Relatório de Operações.
- EENA, E. E. N. A. **Advanced Mobile Location AML Report card**. 2019. Relatório de Operações.
- EU, E. U. **DIRECTIVE (EU) 2018/1972 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018**. Official Journal of the European Union. Strasbourg: 2018. Regulamento oficial.
- EUROPEAN GNSS AGENCY (GSA). **White Paper on using GNSS Raw Measurements on Android Devices**. 2017a. p. 1-48. Relatório Técnico.
- EUROPEAN GNSS AGENCY (GSA). **GNSS Market Report, Issue 5**. 2017b. p. 1-100. Relatório Técnico.
- EUROPEAN GNSS AGENCY (GSA). **GNSS Market Report, Issue 6**. 2019. 1-112. Relatório Técnico.
- FCC, F. C. C. **911 and E911 Services**. Disponível em: <<https://www.fcc.gov/general/9-1-1-and-e9-1-1-services>>. Acesso em: 4 ago. 2020.
- FORTUNATO, M.; CRITCHLEY-MARROWS, J.; SIUTKOWSKA, M.; et al. Enabling High Accuracy Dynamic Applications in Urban Environments Using PPP and RTK on Android Multi-Frequency and

- Multi-GNSS Smartphones. In: 2019 EUROPEAN NAVIGATION CONFERENCE (ENC), 2019, Warsaw **Anais...** .Warsaw: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc (IEEE), 2019. p.1-9.
- GIKAS, V.; PERAKIS, H. Rigorous Performance Evaluation of Smartphone GNSS/IMU Sensors for ITS Applications. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1240, 2016. DOI. 10.3390/s16081240.
- GOGOI, N.; MINETTO, A.; LINTY, N.; DOVIS, F. A Controlled-Environment Quality Assessment of Android GNSS Raw Measurements. **Electronics**, v. 8, n. 1, p. 5, 2018. DOI. 10.3390/electronics8010005.
- GOMES, A. **Avaliação da qualidade posicional de um sensor GNSS de dupla frequência presente em um smartphone sob diferentes cenários e métodos de posicionamento**. 2019. p. 1-117. Dissertação - Universidade Federal Paraná, Curitiba, 2019.
- GOMES, A.; KLEIN, I.; KRUEGER, C. P. Circle fitting for improved GNSS positioning via smartphones for engineering purposes Ajustamento de circunferência como melhora do posicionamento GNSS via smartphones para fins de engenharia. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v. 27, Special Issue XI CBCG ORIGINAL, p. 1-10, 2021. DOI. 10.1590/s1982-21702021000s00021.
- GOMES, A.; KRUEGER, C. P. Evaluation of the positional quality through the post-processing of raw GNSS data from a smartphone via different satellite positioning methods. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 26, n. 4, p. 1–15, 2020. DOI. 10.1590/S1982-21702020000400020.
- GOOGLE. **GnssAntennaInfo - Android Developers**. Disponível em: <<https://developer.android.com/reference/kotlin/android/location/GnssAntennaInfo>>. Acesso em: 8 out. 2021.
- GOOGLE DEVELOPERS. **Fused Location Provider API - Google Developers**. Disponível em: <<https://developers.google.com/location-context/fused-location-provider>>. Acesso em: 28 abr. 2020.
- GOOGLE PLAY. **Apps Android no Google Play**. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps>>. Acesso em: 28 abr. 2020.
- GPS WORLD STAFF. **Dual-frequency GNSS smartphone hits the market: GPS World**. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/dual-frequency-gnss-smartphone-hits-the-market/>>. Acesso em: 29 abr. 2020.
- GPSTEST. **GPSTest Database**. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1jXtRCoEnnFNWj6_oFIVWflsf-b0jkgfZpyhN->
- HÅKANSSON, M. Characterization of GNSS observations from a Nexus 9 Android tablet. **GPS Solutions**, v. 23, p. 21, 2019. DOI. 10.1007/s10291-018-0818-7.
- HEUBERGER, A.; ELST, G.; HANKE, R. **Microelectronic Systems - Circuits, Systems and Applications**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- HUMPHREYS, T. E.; MURRIAN, M.; VAN DIGGELEN, F.; PODSHIVALOV, S.; PESYNA, K. M. On the feasibility of cm-accurate positioning via a smartphone's antenna and GNSS chip. In: PROCEEDINGS OF THE IEEE/ION POSITION, LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, PLANS, 2016. **Anais...** Savannah: 2016. p.232–242, 2016.
- KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. **Understanding GPS/GNSS Principles and Applications**. ed. 3. Boston: ARTECH HOUSE, 2017.
- KOS, A.; TOMAŽIČ, S.; UMEK, A. Evaluation of Smartphone Inertial Sensor Performance for Cross-Platform Mobile Applications. **Sensors**, v. 16, n. 4, p. 477, 2016. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI. 10.3390/s16040477.
- LACHAPELLE, G.; GRATTON, P. GNSS Precise Point Positioning with Android Smartphones and Comparison with High Performance Receivers. In: 2019 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL, INFORMATION AND DATA PROCESSING (ICSIDP). **Anais...** Chongqing: IEEE, 2019. p. 1–9, 2019.
- LAURICHESSE, D.; BANVILLE, S. **Innovation: Instantaneous centimeter-level multi-frequency precise point positioning - GPS World**. 2018. Disponível em: <<http://www.ppp-wizard.net/Articles/Innovation->

- PPP.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2019.
- LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D. **GPS SATELLITE SURVEYING**. ed. 4. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- LI, G.; GENG, J. Characteristics of raw multi-GNSS measurement error from Google Android smart devices. **GPS Solutions**, v. 23, n. 3, p. 1–16, 2019. DOI. 10.1007/s10291-019-0885-4.
- LIU, W.; SHI, X.; ZHU, F.; TAO, X.; WANG, F. Quality analysis of multi-GNSS raw observations and a velocity-aided positioning approach based on smartphones. **Advances in Space Research**, v. 63, n. 8, p. 2358–2377, 2019.
- MALKOS, S. **Google to Provide Raw GNSS Measurements: User Location Takes Center Stage in New Android OS - GPS World**. 2016. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/google-to-provide-raw-gnss-measurements/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. DE O. Correção ionosférica utilizando o modelo de klobuchar e o modelo regional da ionosfera: Avaliação da performance no posicionamento por ponto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2002, Presidente Prudente - SP. **Anais...** .Presidente Prudente - SP, 2002. p.05–60.
- MEIRELLES, F. S. **Uso da TI-Tecnologia de Informação nas Empresas 32ª Pesquisa Anual do FGVcia**. FGV EAESP, 2021. p. 1-186. Relatório Técnico.
- MIRALLES, D.; LEVIGNE, N.; AKOS, D. M.; BLANCH, J.; LO, S. Android Raw GNSS Measurements as a New Anti-Spoofing and Anti-Jamming Solution. In: PROCEEDINGS OF THE 31st INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS+ 2018), 2018, Miami. **Anais...** .2018. p.334–344.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS Descrição, fundamentos e aplicações**. ed. 2. Presidente Prudente: Unesp, 2008.
- NETTHONGLANG, C.; THONGTAN, T.; SATIRAPOD, C. GNSS Precise Positioning Determinations Using Smartphones. In: 2019 IEEE ASIA PACIFIC CONFERENCE ON CIRCUITS AND SYSTEMS (APCCAS), 2019, Bangkok. **Anais...** .IEEE, 2019. p. 401–404, 2019.
- O’CONNOR, A. C.; GALLAHER, M. P.; CLARK-SUTTON, K.; et al. **Economic Benefits of the Global Positioning System (GPS)**. Gaithersburg: RTI INTERNATIONAL, 2019. Relatório Oficial.
- PAZIEWSKI, J.; SIERADZKI, R.; BARYLA, R. Signal characterization and assessment of code GNSS positioning with low-power consumption smartphones. **GPS Solutions**, v. 23, n. 4, p. 1–12, 2019. Springer. DOI. 10.1007/s10291-019-0892-5.
- PEI, L.; GUINNESS, R.; CHEN, R.; et al. Human Behavior Cognition Using Smartphone Sensors. **Sensors**, v. 13, n. 2, p. 1402–1424, 2013. DOI. 10.3390/s130201402.
- PESYNA, K. M.; HEATH, R. W. J.; HUMPHREYS, T. E. Centimeter Positioning with a Smartphone-Quality GNSS Antenna. In: PROCEEDINGS OF THE 27th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS+ 2014), 2014, Tampa. **Anais...** .p. 1568-1577.
- PESYNA, K. M.; HUMPHREYS, T. E.; HEATH, R. W.; NOVLAN, T. D.; ZHANG, J. C. Exploiting Antenna Motion for Faster Initialization of Centimeter-Accurate GNSS Positioning With Low-Cost Antennas. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v. 53, n. 4, p. 1597–1613, 2017. DOI. 10.1109/TAES.2017.2665221.
- REALINI, E.; CALDERA, S.; PERTUSINI, L.; SAMPIETRO, D. Precise GNSS Positioning Using Smart Devices. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 17, n. 10, p. 14, 2017. DOI. 10.3390/s17102434.
- ROBUSTELLI, U.; BAIOCCHI, V.; MARCONI, L.; RADICIONI, F.; PUGLIANO, G. Precise Point Positioning with single and dual-frequency multi-GNSS Android smartphones. In: ICL-GNSS 2020 WiP PROCEEDINGS. **Anais...** .Tampere: CEUR-WS, 2020.
- SIKIRICA, N.; MALIC, E.; RUMORA, I.; FILJAR, R. Exploitation of google GNSS measurement API for

- risk assessment of GNSS applications. In: 25th TELECOMMUNICATION FORUM (TELFOR 2017), 2017, Belgrade. **Anais...** 2017. p.1–3.
- SPECHT, C.; DABROWSKI, P. S.; PAWELSKI, J.; SPECHT, M.; SZOT, T. Comparative analysis of positioning accuracy of GNSS receivers of Samsung Galaxy smartphones in marine dynamic measurements. **Advances in Space Research**, v. 63, n. 9, p. 3018–3028, 2018. DOI. 10.1016/j.asr.2018.05.019.
- TECHNOLOGY, B. S. **Dual Frequency performance in mass market**. 2018. Disponível em: <https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/expo/miguel_torroja_broadcom.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2019.
- TILAK, S. Real-World Deployments of Participatory Sensing Applications: Current Trends and Future Directions. **ISRN Sensor Networks**, v. 2013, 2013. DOI. 10.1155/2013/583165.
- USMAN, M.; ASGHAR, M. R.; ANSARI, I. S.; GRANELLI, F.; QARAQE, K. A. Technologies and Solutions for Location-Based Services in Smart Cities: Past, Present, and Future. **IEEE Access**, v. 6, p. 22240–22248, 2018. DOI. 10.1109/ACCESS.2018.2826041.
- VANI, B. C.; FORTE, B.; MONICO, J. F. G.; et al. A Novel Approach to Improve GNSS Precise Point Positioning during Strong Ionospheric Scintillation: Theory and Demonstration. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 68, n. 5, p. 4391–4403, 2019. DOI. 10.1109/TVT.2019.2903988.
- WANNINGER, L.; HESSELBARTH, A. GNSS code and carrier phase observations of a Huawei P30 smartphone: quality assessment and centimeter-accurate positioning. **GPS Solutions**, v. 24, n. 2, p. 1–9, 2020. DOI. 10.1007/s10291-020-00978-z.
- YAN, W.; BASTOS, L.; MAGALHÃES, A.; ZHANG, Y.; WANG, A. Assessing Android Smartphone Based GNSS Positioning Accuracy. In: CHINA SATELLITE NAVIGATION CONFERENCE (CSNC) 2020 PROCEEDINGS: VOLUME III. LECTURE NOTES IN ELECTRICAL ENGINEERING, 2020, Singapore. **Anais...** Springer, 2020. p.144–153.
- ZHANG, W.; GAO, Y. **Proposed GNSS Navigation Messages for Improved Performance - GPS World**. 2015. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/innovation-faster-higher-stronger/>>. Acesso em: 24 fev. 2019.
- ZHANG, X.; TAO, X.; ZHU, F.; SHI, X.; WANG, F. Quality assessment of GNSS observations from an Android N smartphone and positioning performance analysis using time-differenced filtering approach. **GPS Solutions**, v. 22, n. 3, p. 70, 2018. DOI. 10.1007/s10291-018-0736-8.

Biografia do autor principal



Allan Gomes nasceu em 1991 no município de Guarapuava – Paraná. É graduado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura pela Universidade Federal do Paraná (2016) e mestre pelo programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (2019). Atualmente, faz doutorado no mesmo programa de Pós-Graduação, atuando como bolsista financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na área de concentração de Geodésia e Levantamentos.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.