

# Uso de Banco de Dados Geográfico para Redução da Imprecisão de Coordenadas Geodésicas Através de Média Geométrica dos Sistemas GPS e GLONASS

Thomaz Victor Barros Albuquerque<sup>1</sup>, Sérgio Barros de Sousa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Piauí  
Parnaíba – PI – Brazil

thomazsas@gmail.com, sergiobarros@pq.cnpq.br

**Abstract.** *The current systems of global positioning have been very used on personal use devices. Due to political restrictions as well as geographic factors, the representation of a point on earth is not exact. Given this approach, is necessary a study to estimate a referential error, being able so to propose a solution that can mitigate numerically the variation on the precision of global positioning systems. On this paper the data was collected, stored and submitted to calculations that sought find, through geometric average, a proximal point between two points collected on a GPS and GLONASS device, thus evidencing a geographic coordinate more precise. It was possible to use SQL to optimize the calculation on obtaining a midpoint. The model allowed identify a proximal coordinate between two coordinates obtained with different GPS and GLONASS devices.*

**Resumo.** *Os sistemas de posicionamento global da atualidade têm sido muito utilizados em dispositivos de uso pessoal. Devido à restrições políticas além de fatores geográficos, a representação de um ponto na terra não é exata. Diante disso, se faz necessário um estudo para estimar um erro referencial, podendo-se então propor uma solução que possa mitigar numericamente as variações na precisão dos sistemas de posicionamento global. No presente trabalho os dados foram coletados, armazenados e submetidos a cálculos que buscaram encontrar, através de média geométrica, um ponto proximal entre dois pontos obtidos de um dispositivo GPS GLONASS, evidenciando dessa forma uma coordenada geográfica mais precisa. Foi possível utilizar SQL para automatizar o cálculo de obtenção do ponto médio. O modelo permitiu identificar uma coordenada proximal entre duas coordenadas obtidas com dispositivo GPS e GLONASS distintos.*

## 1. Introdução

Os sistemas de posicionamento global da atualidade têm sido utilizado maciçamente em dispositivos de uso pessoal, como por exemplo os celulares e veículos, tanto por suas características utilitárias ao ambiente urbano atual, como também pela possibilidade de uso em equipamentos domésticos.

Quando não existiam sistemas de posicionamento, olhar para as estrelas era essencial para se obter posicionamento no nosso planeta, com o aparecimento de tecnologias militares, nesse caso, foi possível se basear nos sinais de satélites presentes em nossa

atmosfera. Hoje em dia, esses sinais são obtidos de forma mais prática com dispositivos móveis. Esses dispositivos utilizam sinais de uma concentração de satélites que orbitam nossa atmosfera. Hoje em dia, esses sinais são obtidos de forma mais prática com dispositivos móveis. Como a distância até os receptores é elevada, além de fatores como diferença nos relógios, superfície geodésica irregular e resistência atmosférica, a representação de um ponto na terra não é exato [Franco 2009].

A localização que buscamos nesses dispositivos nem sempre é precisa, os próprios aparelhos demonstram sua margem de erro no momento da consulta. Essa imprecisão tem diversos motivos, o principal deles é o fato do desenvolvedor limitar o sinal do satélite para evitar espionagem entre outros problemas majoritários. Além desse fator político, o dispositivo geodésico de uso comum possui margem de erro por nem sempre possuir um sistema de cálculo de pós processamento eficiente, juntando-se aos fatores naturais causados pela distância entre o satélite e o receptor.

Com essas considerações, quanto menor for o erro da coordenada, melhor é o georreferenciamento. Nesse caso, pensando em otimizar esse processo, diversos são os meios abordados em pesquisas sobre essa problemática.

Diante dessa abordagem, se faz necessário um estudo sobre os métodos atuais empregados em dispositivos de geolocalização, para se estimar um erro referencial, podendo-se então propor uma solução que possa mitigar numericamente as variações na precisão dos sistemas de posicionamento global. O presente trabalho tem por objetivo analisar empiricamente as coordenadas de um dispositivo geodésico que utiliza dois modelos de posicionamento diferentes, o GPS e o GLONASS, e propor um modelo geométrico para reduzir a imprecisão de coordenadas geográficas capturadas por dispositivos de posicionamento geodésico.

## **2. Referencial Teórico**

O estudo das peculiaridades de um sistema de navegação nos proporciona identificar a necessidade de se obter um referenciamento simples e preciso, assim como justifica o princípio da imprecisão dos mesmos. Diante disso se faz necessário entender os conceitos dos principais sistemas de posicionamento.

### **2.1. Global Positioning System (GPS)**

O sistema de posicionamento global modelo americano foi desenvolvido na Califórnia, Estados Unidos. O órgão responsável, dirigido pelo departamento de defesa do país, teve por objetivo estabelecer, desenvolver, testar, adquirir e implantar um sistema de posicionamento por coordenadas espaciais. O GPS atual, apesar de algumas mudanças em suas aplicabilidades reflete essa iniciativa. Os primeiros aparelhos receptores de sinais eram de uso exclusivo dos militares, mais tarde com a medida de segurança tomada pelo governo a tecnologia foi disponibilizada para população, isso acelerou a produção e comercialização de aparelhos receptores do sinal, que a princípio possuíam alta precisão, com valores milimétricos. Com o passar das décadas, a melhoria no lançamento de satélites na atmosfera provocou algumas mudanças políticas quanto ao uso da tecnologia. Os serviços de uso do GPS passariam a ser divididos entre uso militar e civil, a principal diferença entre eles se dava na precisão do sinal [Hofmann-Wellenhof et al. 2007].

Esse sistema é formado por uma constelação de satélites presentes na atmosfera administrado com rigor pelo governo americano, o que a princípio foi desenvolvido para uso apenas militar, tornou-se palco para uso civil com o decorrer do tempo. O sistema agradou bastante pelo seu simples uso, todavia, seguindo as políticas de segurança do governo o sinal do sistema obteve depreciação, passando a ser uma tecnologia de ponta somente para alguns setores [Krueger 1996].

A forte degradação do sinal que o esse dispositivo obteve impulsionou a população de outras tecnologias a despontarem com o objetivo de sobrepor a essa. Porém, essas outras tecnologias também receberam restrições de sinal, possibilitando uso civil somente com autorização governamental.

## **2.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)**

Em meados da década de 70 um projeto do governo soviético deu origem ao GLONASS. O projeto surgiu como uma resposta ao GPS, havendo características similares entre um e outro [Langley 1997].

Constituído ao todo de 27 satélites, sendo 24 operacionais, o sistema GLONASS orbita em média a uma altitude de 19.100 km com período orbital de 11h15min, distribuídos em três planos orbitais inclinados cerca de 64,8° em relação a linha do Equador [Jerez et al. 2015].

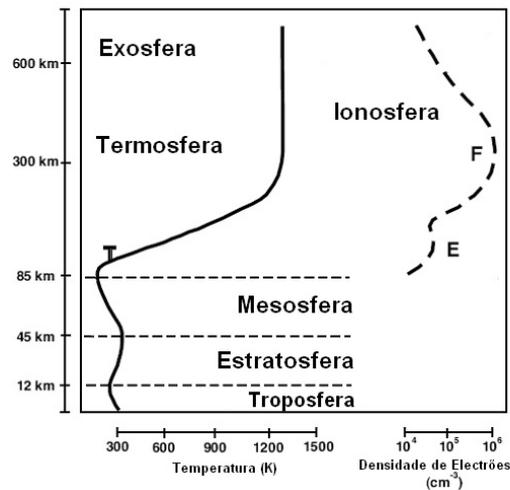
Administrado pelo governo russo, o primeiro satélite do sistema GLONASS foi lançado por volta de 1982. A tecnologia passou por um período de decaimento, causado principalmente pela vida curta dos satélites e a falta de investimentos por parte do governo. Atualmente, o sistema recebe atualizações em intervalos de anos, que tem por objetivo melhorar o sistema e evitar erros [Hegarty and Chatre 2008].

## **2.3. A Precisão da Coordenada de um GNSS e a Natureza do Erro**

A acurácia de sistemas de posicionamento global é algo estudado por diversas áreas atualmente. Conhecer previamente áreas onde veículos ou outros aparelhos possam se estruturar possibilita melhorias em pesquisas de campo por exemplo. Isso aumenta a busca de meios computacionais para melhorar uma representação geográfica [Yozevitch et al. 2014].

Tecnologias do presente e também as futuras precisam estar sempre melhorando. A precisão é um dado importante nesse tema. A aviação civil é um exemplo prático da necessidade de se obter melhor precisão possível. Além disso, os equipamentos precisam estar em constante melhora, tornando a tecnologia mais prática, contudo segura [Kelly and Davis 1994].

Considerando os satélites e os receptores, existem algumas medidas de estabilidade a serem citadas. Os sistemas de navegação que conhecemos possuem relógio compartilhado com seus respectivos satélites, logo devem ter uma base de tempo comum. Porém, com a deteriorização dos aparelhos e falha de frequência, há uma perda de estabilidade. Dentre todos os erros naturais que sistemas de navegação possam sofrer, a relação com a ionosfera se mostra o mais complexo. A ionosfera é composta por alguns elementos químicos particulares, que combinados a emissões dos raios solares pode afetar o caminho percorrido pelo sinal do satélite [de Sousa Silva 2007].



**Figura 1. Atmosfera e suas camadas**

Diversas são as áreas que buscam resultados em campo sobre a eficiência de dispositivos geodésicos. A agricultura é uma delas, onde pesquisadores se empenham na realização de testes com diversos modelos para comparar suas interpretações. Alguns desses trabalhos mostram que dispositivos que possuem mais canais de frequência de aquisição de dados tem mais sucesso no georreferenciamento. Todavia, o custo desses aparelhos é bastante elevado, justificando assim seu potencial [Stabile and Balastreire 2006].

No mercado atual, há uma grande demanda por tecnologias que representem posicionamento que sejam de baixo custo. Aplicações geodésicas com precisão centimétrica foram muito utilizadas nos últimos anos, a chamada Carrier-Phase differential GNSS (CDGNSS) foi uma das responsáveis por isso, porém, com o tempo surgiu muita demanda para que a tecnologia possuísse um preço mais acessível para a população em geral [Humphreys et al. 2016].

Em diversas situações de estudo atuais, há eminente necessidade do pesquisador de obter coordenadas com o mais alto nível de precisão possível. Para isso, deve-se utilizar de metodologias que se encaixem ao processo, uma vez que a lei para referenciamento de imóveis rurais estima precisões específicas para cada vértice [Prina and Trentin 2015].

#### **2.4. Geographic Information System (GIS)**

Com as transformações do mundo moderno, a geografia obteve grande importância para o reconhecimento da ciência. O geoprocessamento teve na matemática um grande aliado para melhor conhecimento de espaços geográficos. Trabalhos que envolvem coletas, análises e armazenamento de dados se tornam mais fáceis por meio de tecnologias computacionais, ao passo que nos proporciona maior confiabilidade dos dados [Leite and Rosa 2006].

O termo GIS é utilizado para sistemas que realizam tratamento de informações geográficas com o objetivo não só de descrever determinado dado, mas também caracterizar a geometria dos mesmos, facilitando a identificação dos leitores [Queiroz and Ferreira 2006].

Esse tipo de sistema não ficou alheio aos empreendimentos no mundo a fora. Desde que administrado por profissionais da área geográfica, os GIS se tornaram soluções para diversos problemas, utilizando de seus algoritmos espaciais, assim como suas ferramentas de visualização e rotinas de otimização [King and Arnette 2011].

## 2.5. MYSQL

Desde a sua criação, o uso de SGBDS ganhou bastante importância na área da computação por aparentes motivos: controle de dados de forma simples e relacional, ganhos em desempenho e escalabilidade e até mesmo por segurança.

O MYSQL é um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) que além de outras funcionalidades, tem disponibilidade para extensões geográficas. A facilidade de instalação dessas extensões torna esse SGBD mais eficiente que outros sistemas de código aberto [King and Arnette 2011].

Os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados tradicionais, tais como MySQL, não suportam nativamente dados geográficos, ou seja, formas geométricas [Maia 2016].

Entretanto, o MySQL possui algumas desvantagens. Uma delas é que esse SGBD não é totalmente compatível com a biblioteca geográfica disponibilizada para a comunidade. Apesar desses problemas, o MySQL é uma boa plataforma para se implementar sistemas de informação geográfica utilizando uma plataforma gratuita e de código aberto [King and Arnette 2011].

Esse SGBD é muito utilizado atualmente. Sua flexibilidade e facilidade de uso são fatores que favorecem a sua popularidade. Além disso, o fato do sistema ser de código aberto, favorece aos usuários novas otimizações e implementações. O modelo relacional do MYSQL é capaz de reproduzir complexas estruturas relacionais, esse processo é rápido e seguro até mesmo quando se tem uma base muito povoada [Soupios et al. 2005].

## 2.6. Aplicações de Geometria Plana e Analítica

Não só a parte interpretativa da geometria como também os cálculos ajudam no momento de construir a interpretação de dados.

A equação da reta possui forma  $ax + by + c = 0$ , possuindo  $a$  e  $b$  diferentes de 0. Com dois pontos pertencentes a essa reta é possível formar um sistema linear, bastando substituí-los na equação. [de Andrade 2001].

Com o decorrer dos estudos percebemos que é um meio fundamental para mapear problemas e resolvê-los, mesmo problemas que não contenham equações ou coordenadas [Lima et al. 2006].

Dentre os conceitos principais para validação de coordenadas ou pontos, a colinearidade (Figura 2) é fundamental, seu conceito se dá no fato de pontos estarem posicionados na mesma reta [Amaral et al. 2013].

Para que três pontos formem um triângulo, esses precisam ser não colineares. Para fazer essa verificação podemos utilizar o cálculo do determinante entre esses três pontos. Obtendo um determinante diferente de zero, esses pontos configuram um triângulo, já que não estão na mesma reta. Caso contrário (determinante igual a zero) esses pontos não formam triângulo e ocupam a mesma reta no espaço, logo são colineares [RAMOS 2019].

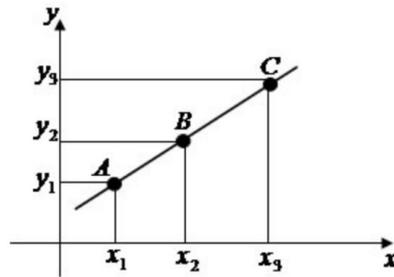


Figura 2. Exemplo de colinearidade entre pontos

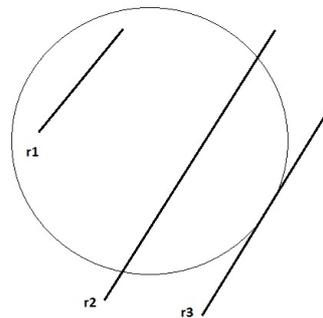


Figura 3. Relações entre reta e circunferência

Retas e circunferências possuem particularidades quando comparadas entre si. Quando uma reta toca uma circunferência em dois pontos temos uma relação secante. Quando toca em apenas um ponto, a reta é tangente. Por último, quando essa reta não toca a circunferência em nenhum ponto ela pode estar interna ou externa a circunferência, como é possível verificar na figura (3).

### 2.6.1. Plano Cartesiano

Estudar e interpretar gráficos cartesianos é uma parte bem longa de uma vida acadêmica em diversas disciplinas. Essa matéria acompanha o estudante até mesmo na universidade e na vida social, onde é possível analisar esses gráficos em jornais e revistas [Frant 2011].

O sistema de coordenadas cartesianas é o mais antigo estudado. A obtenção de um ponto se dá no cruzamento de linhas meridionais. O meridiano de Greenwich é base para obtenção das longitudes terrestres, possibilitando fuso horário diferentes em todo o globo. Já a linha do Equador divide a terra nos hemisférios norte e sul, onde há latitudes diferentes dependendo da distância entre os pontos [D'ALGE 2001].

Em um plano cartesiano há inúmeros pontos, alinhados ou não. Um único seguimento de reta possui vários pontos. Analiticamente (Equação 1) apenas um ponto divide a reta em duas partes iguais, esse ponto é conhecido por ponto médio.

$$x_m = \frac{x_a + x_b}{2} \quad (1)$$

### 3. Metodologia

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa qualitativa e de natureza empírica, onde foi realizado a coleta dos dados a serem trabalhados e sua análise e tratamento, considerando a ajuda de regras da geometria analítica. Os dados foram coletados, armazenados e submetidos a cálculos que buscaram encontrar, através de média geométrica, um ponto proximal entre dois pontos obtidos de um dispositivo GPS e de um dispositivo GLONASS, evidenciando dessa forma uma coordenada geográfica mais precisa.

#### 3.1. Dispositivo de Coleta

A coleta das coordenadas foi realizada utilizando um dispositivo compatível tanto com satélites do modelo GPS como como satélites GLONASS. O aparelho utilizado foi um Garmin eTrex 30, com capacidade de consulta e armazenamento de informações geográficas .

O dispositivo foi mantido parado no mesmo local, e os dois pontos foram coletados para análise. O raio de precisão da coordenada, segundo as informações do manual do dispositivo, é de aproximadamente 3 metros.

#### 3.2. Base de Dados

A análise das coordenadas foi feita utilizando um banco de dados pré configurado para dados geográficos. Além disso, foi construído um gráfico com a dispersão dos pontos, para futuras interpretações.

**Tabela 1. Lista de Expressões para Criação de uma tabela polígono**

SEQUÊNCIA	COMANDO
1	CREATE TABLE POLIGONOS (nome VARCHAR(20) PRIMARY KEY, coordenada POLYGON NOT NULL, descricao VARCHAR(200));
2	INSERT INTO Poligonos (nome, coordenada) VALUES ('poligono1', Envelope(GeomFromText('LineString (1 3, 1 5, 3 5, 3 3, 1 3)')));
3	INSERT INTO Poligonos (nome, coordenada, descricao) VALUES ('poligono2', Envelope (GeomFromText (LineString (5 3, 5 6, 7 6, 7 3, 5 3))), 'p2');
4	INSERT INTO Poligonos (nome, coordenada, descricao) VALUES ('poligono3', Envelope (GeomFromText('LineString (6 2, 6 4, 8 4, 8 2, 6 2))), 'p3')
5	INSERT INTO Poligonos (nome, coordenada, descricao) VALUES ('poligono4', Envelope (GeomFromText('LineString (8 3, 8 7, 10 7, 10 3, 8 3))), 'p4');

**Tabela 2. Inserção dos pontos coletados em tabelas SQL**

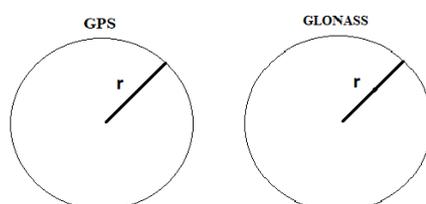
SEQUÊNCIA	COMANDO
1	CREATE TABLE pontos(nome varchar(20) primarykey, coordenada Point NOT NULL, descricao varchar(200));
2	INSERT INTO Pontos (nome, coordenada) values('ponto', GeomFromText ('POINT(31.5 42.2)));

Foi utilizado o Transact-SQL para criar funções e procedimentos armazenados para checar a proximidade das coordenadas. Dessa maneira, a seguinte sequência de códigos foi utilizada pra inserir pontos na tabela.

Os dados foram inseridos e submetidos a testes conforme mostrados nas tabelas (1) e (2).

### 3.3. Tratamento das Coordenadas

O tratamento e análise mais profunda das coordenadas geodésicas foi feita através de cálculos de geometria analítica. Considerando os dois pontos obtidos e o raio do dispositivo, foi elaborado uma equação da circunferência de cada ponto. Tanto a coordenada GPS quanto a GLONASS tiveram sua equação desenhada para análise.



**Figura 4. Circunferência das duas coordenadas obtidas, considerando o raio de precisão**

A partir disso, foi calculado um ponto de intersecção entre as duas circunferências, determinado pela equação da reta. A equação geral da circunferência foi obtida a partir da fórmula matemática demonstrada na equação (2).

$$(x - a)^2 - (y - b)^2 = r^2 \tag{2}$$

A equação reduzida da circunferência foi calculada a partir do desenvolvimento da equação geral. Os valores x e y foram considerados constantes, já os valores de a e b foram determinados pela latitude e longitude do ponto procurado com maior precisão. O raio, antes mencionado, foi a margem de precisão do dispositivo utilizado.

**Tabela 3. Obtenção do Ponto Médio em SQL**

COMANDO
<pre>BEGIN declare x1 point; declare y1 point; declare x2 point; declare y2 point; set @x1 = (select x(coordenada) from pontos where nome = 'pontoA'); set @y1 = (select y(coordenada) from pontos where nome = 'pontoA'); set @x2 = (select x(coordenada) from pontos where nome = 'pontoB'); set @y2 = (select y(coordenada) from pontos where nome = 'pontoB'); select (@x1 + @x2) / 2; select (@y1 + @y2) / 2; END CALL (PontoMedio);</pre>

Foi considerado o cálculo da equação da reta para os dois pontos obtidos, afim de entender a relação entre as duas circunferências. O calculo da equação da reta foi obtido a partir do determinante da matriz associada a esses dois pontos.

Realizado os cálculos analíticos dessas equações, foi obtido em seguida um ponto de intersecção entre as duas circunferências.

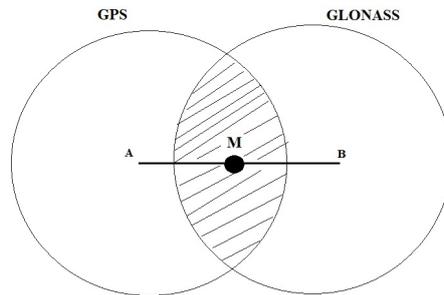
$$y = 60 - 6x \quad (3)$$

O processo de encontro do ponto de intersecção se dá no método da substituição para resolução de sistemas que envolvem duas equações do segundo grau. A primeira, é a equação geral da circunferência (2) , e a segunda é a equação da reta (3). Com o método da substituição o resultado final é uma última equação do segundo grau, sendo assim possível o cálculo da raiz, o que será a coordenada obtida.

A obtenção do ponto médio foi realizada através da saída do procedimento armazenado que recebia como entrada, as duas coordenadas geodésicas obtidas pelo dispositivo GPS e pelo GLONASS demonstrado na listagem representada na tabela (3).

#### **4. Resultados e Discussão**

Levando em consideração o uso moderno de dispositivos de navegação via satélite, são diversas as aplicações e aparelhos que nos fornecem localização, tanto em GPS como GLONASS. Smartphones, computadores e outros tipos são exemplos disso. O uso em smartphones e computadores tem por principal interface a aplicação Google Maps, que com sua interface, facilita o usuário além de obter um ponto, analisar também o espaço geográfico buscado. Já os aparelhos que são desenvolvidos especificamente para coletas em campo de coordenadas, possuem interface limitada, mas precisão superior.



**Figura 5. Demonstração da possível relação entre as duas circunferências**

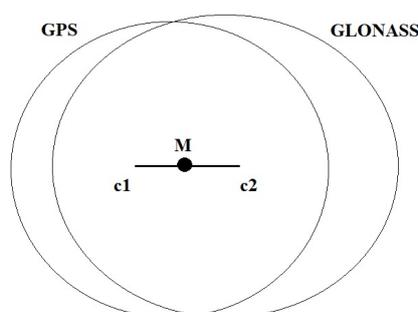
Um dos pontos de fundamental importância para análise desse trabalho foi o uso de aplicações em bancos de dados geográficos. Foi possível utilizar bibliotecas do SQL para automatizar o cálculo para obtenção do ponto médio entre as coordenadas GPS e GLONASS intencionando encontrar uma coordenada mais precisa.

Para a obtenção de uma coordenada mais precisa entre os dois receptores, a análise geométrica foi fundamental. A relação entre a equação da reta e circunferência se mostrou relevante, entretanto foi possível observar que o ponto médio procurado como resultado foi encontrado pela localização do posicionamento entre as duas coordenadas GPS e GLONASS, já que foi observado uma pequena diferença entre o ponto obtido pelos dois métodos. Ressalta-se que, por ter sido coletado, com o dispositivo colocado na mesma posição, em teoria, as coordenadas de posicionamento deveriam ser as mesmas, o que não foi possível identificar com os testes realizados. Em todas as aquisições, os valores dos pontos obtidos pelos dispositivos GPS e GLONASS possuíam diferenças, mesmo que de valores reduzidos.

No teste inicial, no cálculo das raízes da equação de segundo grau obtida pelos dois pontos encontrados, o delta obtido tinha valor negativo. A interpretação para esse comportamento foi que a reta estava interna as duas circunferências, como mostra a reta 1 da figura (3). Para esse resultado, depende-se que como a diferença entre as coordenadas foi pequena, os centros estavam muito próximos, logo a reta não interseccionava nem tangenciava as circunferências em nenhum ponto, o que exigiu que se buscasse um método adicional para identificar o ponto médio entre as duas coordenadas que estivessem na área comum da interseção formada pelas duas circunferências de centro nas coordenadas obtidas e raio igual à imprecisão.

As duas circunferências da Figura (5) demonstram uma área de dispersão da coordenada, de acordo com o raio de precisão do dispositivo. Foi levado em consideração para os cálculos, que o ponto real de localização poderia estar em qualquer ponto determinado pela interseção entre as duas circunferências. A posição relativa exata das circunferências inviabilizou a obtenção do ponto médio pela equação geral da reta, pois para o cálculo da equação da reta entre os dois centros seria necessário a obtenção de valores do delta maior ou igual a um, o que não foi identificado nos testes utilizando os valores numéricos das coordenadas GPS e GLONASS.

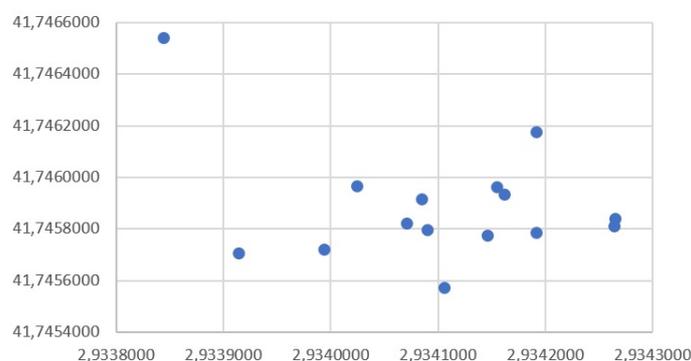
Para fazer a verificação de colinearidade dos pontos foi utilizada a técnica do determinante entre os três pontos. O primeiro ponto, coletado por GPS, o segundo coletado por GLONASS, e por último o ponto médio, que foi interpretado como o melhor para o estudo desse caso. O determinante calculado, atingiu o valor zero, com precisão de 5 casas decimais.



**Figura 6. Situação entre as duas circunferências e a reta**

Para identificação de um ponto proximal comum as duas coordenadas, foi calculado o ponto médio considerando analiticamente que este ponto por estar dentro da área de intersecção entre as duas circunferências e ser colinear a equação geral da reta obtida conforme o que já foi demonstrado, comprova a relação de proximidade média entre os dois valores, demonstrando ser esta, a coordenada mais próxima do valor real e mais precisa que as coordenadas GPS e GLONASS encontradas, principalmente por ter sido obtida levando-se em consideração a posição destas duas coordenadas.

A coleta de coordenadas em smartphones mostrou resultados com maior dispersão e imprecisão quando comparado ao receptor Garmin eTrex 30, com o dispositivo parado no mesmo local, as coletas em intervalos de 5 minutos tiveram espaço de dispersão como mostra a Figura (7). Esse resultado foi obtido apenas a título de análise.



**Figura 7. Coordenadas obtidas com aplicações de smartphone**

De acordo com o que foi identificado, demonstra-se que foi possível, diminuir a imprecisão das coordenadas obtidas pelos testes a partir da identificação do ponto médio entre as coordenadas dos satélites GPS e GLONASS ampliando consequentemente a acurácia do conjunto de pontos obtidos nos testes com o modelo. Reitera-se que em

**Tabela 4. Amostra de coordenadas obtidas para testes**

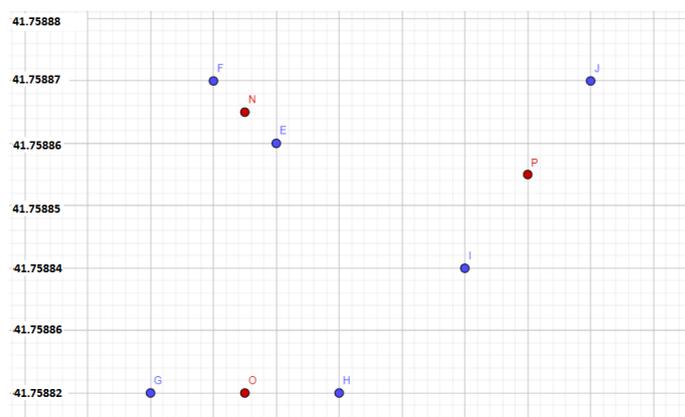
AMOSTRA	GPS(X)	GPS(Y)	GLONASS(X)	GLONASS(Y)	PONTO MÉDIO (X)	PONTO MÉDIO (Y)
A	2,90488	41,75847	2,90487	41,75853	2,904875	41,7585
B	2,93400	41,74577	2,93399	41,74580	2,933995	41,745785
C	2,90536	41,75886	2,90535	41,75887	2,905355	41,758865
D	2,90534	41,75882	2,90537	41,75882	2,905355	41,75882
E	2,90539	41,75884	2,90541	41,75887	2,9054	41,758855

situação de grande imprecisão, o uso da equação da reta pode ampliar a segurança na obtenção de uma coordenada mais precisa utilizando o modelo proposto. Destaca-se então que quão maior for a imprecisão, maiores são as chances de se obter um resultado mais fiel ao valor esperado para uma coordenada geográfica.

Considerou-se também que, embora os limites impostos a qualidade do sinal GPS e GLONASS sejam propositalmente definidos por políticas de segurança dos governos, pesquisas com o intuito de entender a tecnologia da ferramenta e de como melhorá-la para uso civil vêm a colaborar com uso destas tecnologias. A aplicação nas áreas da agricultura e marinha ganham destaque.

#### 4.0.1. Testes com o modelo proposto

Para validação do modelo proposto, foram realizadas algumas coletas de coordenadas com dispositivo GPS e GLONASS para identificação dos valores de precisão. Os resultados demonstraram que em todos os testes foi possível identificar um ponto geodésico proximal entre as duas coordenadas, conforme demonstrado na Tabela (4).



**Figura 8. Dispersão dos pontos médios**

Com esses dados foi demonstrado que o modelo tornou-se viável a partir do uso de dois sistemas distintos, como o GPS e o GLONASS, a obtenção de um ponto proximal

que levasse em consideração a posição de coordenadas obtidas por satélites de sistemas diferentes o que evidenciou uma melhoria na precisão por reduzir os erros referentes à coleta de dados ampliando a acurácia do grupo de pontos obtidos no teste. Conforme apresentado na Figura (8).

Reitera-se que a viabilidade somente se apresenta por utilizar os dois dispositivos já que na obtenção apenas de um destes sistemas, a dispersão dos valores encontrados levariam em consideração as coletas no mesmo sistema, sem considerar os valores de um outro sistema independente.

## 5. Conclusão

Com o estudo e análise das particularidades das coordenadas, obteve-se resultados satisfatórios para a compreensão do trabalho. Dessa forma conclui-se que:

Coordenadas GPS e GLONASS possuem imprecisão nos valores obtidos a partir de dispositivos de coleta. Considerando que os pontos coletados para análise foram obtidos com o dispositivo no mesmo lugar, a representação da coordenada deveria ser de mesmo valor, o que não ocorreu.

Foi possível realizar a coleta das coordenadas utilizando um dispositivo com sinais de satélite diferentes. O dispositivo Garmi eTrex30 possibilitou do mesmo local, a coleta das coordenadas configurando dois sinais de satélites diferentes (GPS e GLONASS).

O uso de aplicações em bancos de dados viabilizou a obtenção de pontos de coordenadas geográficas mais precisas através do modelo proposto. A segurança com a precisão dos dados, assim como a possibilidade de automatizar os cálculos através do procedimento armazenado foi um ponto fundamental para os resultados desse trabalho.

O modelo permitiu identificar uma coordenada geodésica proximal entre duas coordenadas obtidas com dispositivo GPS e GLONASS distintos. Aplicando os cálculos geométricos e identificando a relação entre as coordenadas obtidas, foi possível interpretar o ponto médio como uma coordenada mais precisa nos testes.

Houve uma ampliação na acurácia do conjunto de pontos obtidos no trabalho. De acordo com os gráficos de dispersão, foi possível aumentar a acurácia do conjunto de pontos obtidos com a aplicação do ponto médio.

## 6. Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Universidade Estadual do Piauí, por disponibilizar o Laboratório de Processamento de Dados do Campus Professor Alexandre Alves de Oliveira para desenvolvimento dos ensaios e simulações realizados no projeto.

## Referências

- Amaral, Lopes, Ralha, Sousa, and Taveira (2013). *Colinear*. Available at <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2013/059/> (Accessed 10 July 2019).
- de Andrade, L. N. (2001). A construção de cônicas e o teorema de pascal. *Revista do Professor de Matemática*, 45:17.

- de Sousa Silva, T. M. L. (2007). *Análise de Erros em Receptores de GNSS*. Available at <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137473812/Dissertacao.pdf> (Accessed 10 July 2019).
- D'ALGE, J. C. L. (2001). Cartografia para geoprocessamento. *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, page 32.
- Franco, T. C. R. (2009). Análise da precisão no posicionamento com um receptor gps de navegação. *Revista Agrogeoambiental*, 1(3).
- Frant, J. B. (2011). Linguagem, tecnologia e corporeidade: produção de significados para o tempo em gráficos cartesianos. *Educar em Revista*, (1):211–226.
- Hegarty, C. J. and Chatre, E. (2008). Evolution of the global navigation satellitesystem (gnss). *Proceedings of the IEEE*, 96(12):1902–1917.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Humphreys, T. E., Murrian, M. J., Gonzalez, C. W., Pesnya Jr, K. M., Shepard, D. P., Kerns, A. J., et al. (2016). High-precision gps vehicle tracking to improve safety. Technical report, University of Texas at Austin. Data-Supported Transportation Operations . . . .
- Jerez, G. O., Alves, D. B. M., and Souza, J. S. (2015). Análise do uso combinado gps/glonass no posicionamento sob efeito de cintilação ionosférica. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67(1).
- Kelly, R. and Davis, J. (1994). Required navigation performance (rnp) for precision approach and landing with gnss application. *Navigation*, 41(1):1–30.
- King, M. and Arnette, A. (2011). Integrating geographic information systems in business school curriculum: An initial example. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 9:325 – 347.
- Krueger, C. P. (1996). Investigações sobre aplicações de alta precisão do gps no âmbito marinho.
- Langley, R. B. (1997). Glonass: review and update. *GPS world*, 8(7):46–51.
- Leite, M. E. and Rosa, R. (2006). Geografia e geotecnologias no estudo urbano. *Caminhos de Geografia*, 7(17).
- Lima, E. L., Carvalho, P. C. P., Wagner, E., and Morgado, A. C. (2006). A matemática do ensino médio, vol. 2. *Coleção do Professor de Matemática, SBM*.
- Maia, D. C. M. (2016). Arquitetura de armazenamento de dados para sistemas de informação geográfica voluntária utilizando banco de dados nosql baseado em documento.
- Prina, B. Z. and Trentin, R. (2015). Gps x gnss: Glonass constellation by maximizing the precision and accuracy of data. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2):344–352.
- Queiroz, G. R. and Ferreira, K. R. (2006). Tutorial sobre bancos de dados geográficos. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos*.

- RAMOS, D. d. M. (2019). *Condição de alinhamento de três pontos utilizando determinantes*. Available at <https://brasilescola.uol.com.br/matematica/condicao-alinhamento-tres-pontos-utilizando-determinantes.html> (Accessed 10 July 2019).
- Soupios, P., Sarris, A., Papadakis, G., Papazoglou, M., Vallianatos, F., and Makris, J. P. (2005). Compilation of a relational digital database for monitoring and management of geo-environmental data in crete region. *Energy*, 39(249):60.
- Stabile, M. C. and Balastreire, L. A. (2006). Comparação de três receptores gps para uso em agricultura de precisão. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 26(1):215–223.
- Yozevitch, R., Ben-Moshe, B., and Dvir, A. (2014). Gnss accuracy improvement using rapid shadow transitions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(3):1113–1122.