

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**GIOVANNA SOUZA DUARTE**

**COBERTURA DE ESTAÇÕES RBMC NO ESTADO DE SÃO PAULO PARA  
TRANSPORTE DE COORDENADAS GEODÉSICAS APOIADAS AO SISTEMA  
GEODÉSICO BRASILEIRO**

**Itaqui  
2023**

**GIOVANNA SOUZA DUARTE**

**COBERTURA DE ESTAÇÕES RBMC NO ESTADO DE SÃO PAULO PARA  
TRANSPORTE DE COORDENADAS GEODÉSICAS APOIADAS AO SISTEMA  
GEODÉSICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Profa. Dra. Leydimere Janny Cota Oliveira.

**Itaqui  
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

Duarte, Giovanna Souza

Cobertura de estações RBMC no estado de São Paulo para transporte de  
coordenadas geodésicas apoiadas ao Sistema Geodésico Brasileiro / Giovanna  
Souza Duarte.

35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa,  
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA, 2023.

"Orientação: Leydimere Janny Cota Oliveira".

1. Geodésia. 2. GNSS. 3. RBMC. 4. Área de cobertura. I. Título.

**GIOVANNA SOUZA DUARTE**

**COBERTURA DE ESTAÇÕES RBMC NO ESTADO DE SÃO PAULO PARA  
TRANSPORTE DE COORDENADAS GEODÉSICAS APOIADAS AO SISTEMA  
GEODÉSICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Me. Marcelo Jorge de Oliveira  
UNIPAMPA

---

Profa. Ma. Raíssa Xavaré Kulman  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Rolando Larico Mamani  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e avós que, com todo amor e apoio, não mediram esforços para que eu concluísse o curso.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente, a Deus, que me concedeu saúde, força e sabedoria durante todos os meus anos de estudos e na realização deste trabalho. A fé no Senhor, me manteve no caminho certo e firme para que eu concluísse o curso, apesar de todas as provações que surgiram.

Agradeço a minha família. Especialmente aos meus pais, Adriano e Adriana, que sempre lutaram e colocaram a frente minha educação. Aos meus irmãos, Gustavo e Valentina, aos meus avós Augusto, Maria Alicia e Mariana e ao meu tio Leandro, por todo o suporte necessário e amor incondicional e pela força nos momentos mais difíceis ao longo desses cinco anos de formação.

Aos amigos de São Paulo, André, Gabriella, Gustavo, Luan e Matheus, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado mesmo com a distância física existente entre nós.

Aos amigos que fiz em Itaqui, que de certa forma viraram a minha família, Caroline, Fernanda, Gabriel, Julie, Lucas, Marcela e Thiago, pela amizade incondicional, por todo o apoio e suporte na ausência da minha família.

Às todos os colegas com quem convivi ao longo desses anos em Itaqui, que direta ou indiretamente tiveram influência e impacto na minha formação acadêmica e no meu desenvolvimento pessoal.

A professora Leydimere, pela orientação, correção, dedicação e paciência durante esse ano que trabalhamos juntas.

Por último, quero agradecer também à Universidade Federal do Pampa e todo o seu corpo docente.

“O aprendizado foi duro e mesmo diante desse revés não parei de sonhar, fui persistente porque o fraco não alcança a meta...”.

Racionais MC's

## RESUMO

O estudo de transporte de coordenadas geodésicas é fundamental para a análise de dados geográficos, sendo essencial para a cartografia e a topografia. A partir desse método é possível determinar o posicionamento de um objeto ou ponto em diferentes sistemas de coordenadas geodésicas. O transporte de coordenadas geodésicas ajuda a melhorar a precisão de mapeamentos e análises geográficas, permitindo que os usuários obtenham resultados mais precisos e eficientes. O presente trabalho visa analisar a área de cobertura das estações RBMC no estado de São Paulo para obtenção das coordenadas geodésicas de pontos de apoio imediato para levantamentos topográficos, geodésicos e cadastrais, bem como as respectivas acurácias esperadas de acordo com os comprimentos de suas linhas base. A metodologia foi desenvolvida usando o software QGIS, que permitiu que dados os fossem manipulados. Foram utilizados os arquivos tipo shapefile disponibilizados pelo IBGE, do estado de São Paulo e das estações RBMC. Os dados foram processados com o auxílio de ferramentas de análise vetorial (buffer, interseção e dissolver). Assim foram elaborados mapas que representam a área de cobertura das estações RBMC de acordo com suas linhas de base, a interseção de duas ou mais estações das linhas de base de 50 e 100km, além dos municípios atendidos totalmente pelas estações com linhas de base de 50 e 100km. Deste modo, foi possível alcançar o objetivo do trabalho. A falta de estações no estado gerou poucas áreas de cobertura total, tornando necessária a instalação de mais estações para cobrir o maior número de municípios possível. Os resultados obtidos mostram que a metodologia é aplicável para a mesma finalidade e para análises semelhantes em outras regiões do Brasil.

**Palavras-Chave:** Geodésia; GNSS; RBMC; Área de cobertura.

## ABSTRACT

The transport study of geodetic coordinates is fundamental for the analysis of geographic data, being essential for cartography and topography. From this method it is possible to determine the positioning of an object or point in different systems of geodesic coordinates. Transporting geodetic coordinates helps improve the accuracy of mapping and geographic analysis, allowing users to obtain more accurate and efficient results. The present work aims to analyze the coverage area of RBMC stations in the state of São Paulo to obtain the geodetic coordinates of immediate support points for topographic, geodetic and cadastral surveys, as well as the respective expected accuracies according to the lengths of their baselines. The methodology was developed using the QGIS software, which allowed data to be manipulated. Shapefile files provided by IBGE, the state of São Paulo and the RBMC stations were used. Data were processed with the aid of vector analysis tools (buffer, intersection and dissolve). Thus, maps were prepared that represent the coverage area of the RBMC stations according to their baselines, the intersection of two or more stations of the 50 and 100 km baselines, in addition to the municipalities fully served by the stations with 50 baselines. and 100km. In this way, it was possible to achieve the objective of the work. The lack of stations in the state generated few areas of total coverage, making it necessary to install more stations to cover as many municipalities as possible. The results obtained show that the methodology is applicable for the same purpose and for similar analyzes in other regions of Brazil.

**Keywords:** Geodesy; GNSS; RBMC; Coverage área.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elipsóide de revolução.....	16
Figura 2 - Geóide. ....	16
Figura 3 – Tecnologias integradas em um SIG. ....	21
Figura 4 – Imagem matricial versus dados vetoriais. ....	23
Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.....	24
Figura 6 - Localização das estações de RBMC no estado de São Paulo. ....	25
Figura 7 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 5km. ....	26
Figura 8 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 10km. ....	27
Figura 9 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 20km. ....	27
Figura 10 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km. ....	28
Figura 11 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100km. ...	28
Figura 12 – Interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km.....	29
Figura 13 – Interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100km.....	29
Figura 14 – Camada de interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km dissolvida.....	30
Figura 15 – Camada de interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100km dissolvida.....	30
Figura 16 – Municípios completamente atendidos por duas ou mais estações RBMC com linha de base de 50km no estado de São Paulo. ....	31
Figura 17 - Municípios completamente atendidos por duas ou mais estações RBMC com linha de base de 50km no estado de São Paulo. ....	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Geodésia .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1 Geodésia espacial .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Sistema Geodésico de Referência (SGR).....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3 Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3.1 Tipos de receptores GNSS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3.2 Posicionamento relativo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4 Estações RBMC .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Sistema de Informações Geográficas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1 Dados geográficos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1.1 Dados matriciais.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1.2 Dados vetoriais.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Geoprocessamento .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Software QGIS .....</b>	<b>23</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>26</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Geodésia é uma ciência complexa e que engloba diversos outros ramos da ciência, para que se possa aplicá-la é necessário o uso de modelos matemáticos e medidas sobre a superfície terrestre. Para Monico (2018, p.01) “tais medidas passam por um processo de depuração, redução de efeitos adversos, análise e representação, comparando os modelos matemáticos: funcionais e estocásticos”. Já Helmert (1880), diz que a “Geodésia é a ciência da medição e mapeamento da superfície da Terra”. Para Torge (2001, p.1, tradução nossa) “a superfície da Terra, em grande parte, é moldada pela gravidade, e a maioria das observações geodésicas são referenciadas ao campo gravitacional terrestre”.

Com o avanço tecnológico e o surgimento dos Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS, sigla em inglês), os trabalhos geodésicos e topográficos se tornaram mais ágeis e econômicos. Tais sistemas vêm sendo amplamente utilizados em diversas áreas como no georreferenciamento, na cartografia, no monitoramento de movimento, veículos, embarcações e outras aplicações de navegação.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é responsável pelas atividades correspondentes a Geodésia e tem como função institucional estabelecer e manter o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). O SGB é composto por um conjunto de estações, materializadas na superfície terrestre, que auxiliam diversos trabalhos e pesquisas para a engenharia. Neste conjunto de estações estão inclusas as estações de monitoramento GNSS que compõem a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Essas estações monitoram a posição e o movimento da terra usando GNSS para fornecer informações precisas e atualizadas sobre a posição da Terra (IBGE, 2017).

Na utilização do método relativo em aplicações geodésicas do GNSS, é necessário ocupar ao menos uma estação de coordenadas conhecidas simultaneamente à ocupação dos pontos desejados. As estações RBMC exercem a função de ser a coordenada conhecida atrelada ao SGB (IBGE, [20--]).

Atrelado a esses conceitos básicos, o transporte de coordenadas geodésicas é um processo que envolve a transformação de um sistema de coordenadas geográficas para outro sistema geodésico diferente. Isso é feito para garantir que os dados geográficos possam ser compatíveis entre diferentes aplicações de software

de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esse procedimento permite que coordenadas sejam transportadas para alguma área de interesse.

Seu estudo é essencial para a geografia moderna, pois permite a precisão na localização e navegação, bem como na visualização de dados geográficos. Ele também é usado para desenvolver, analisar e visualizar dados geográficos em SIG. Além disso, o uso de coordenadas geodésicas permite a criação de mapas com precisão, o que é extremamente importante para aplicações científicas e civis.

Segundo IBGE ([20--]), “os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade”. Assim justifica-se a necessidade de se identificar e quantificar os municípios atendidos de forma completa por duas ou mais estações RBMC, podendo assim identificar quais locais necessitam de instalação de novas estações.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a área de cobertura das estações RBMC no estado de São Paulo para obtenção das coordenadas geodésicas de pontos de apoio imediato para levantamentos topográficos, geodésicos e cadastrais, bem como as respectivas acurácias esperadas de acordo com os comprimentos de suas linhas base.

Para tanto, no *software QGIS*, foram aplicadas ferramentas de análise de proximidade vetorial nos arquivos referentes as estações RBMC presentes no estado de São Paulo, para que se atendesse ao objetivo da pesquisa.

Na primeira seção são definidos os conceitos bases para a realização da pesquisa, envolvendo geodésia, sistema de informações geográficas e geoprocessamento.

Na segunda seção é apresentada a metodologia utilizada para a elaboração dos mapas finais analisados, já na terceira seção são discutidos os resultados obtidos e enquanto que na última seção as conclusões são expressas.

## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Geodésia

A geodésia é a ciência responsável pelo estudo da forma, dimensão e variação do campo gravitacional da Terra. Além de estudar medições necessárias para definir a posição relativa de qualquer ponto na superfície terrestre, esta ciência engloba conceitos físicos e matemáticos, a fim de entender os processos envolvidos na formação e deformação da superfície terrestre. Deste modo, temos que a geodésia é subdividida em três especificações: geométrica, física e celeste.

A Geodésia já foi definida apenas como a ciência responsável pelo mapeamento e pela medição da superfície terrestre. Hoje, a definição é bem mais ampla e abrange os estudos da forma e dimensão do planeta Terra, bem como a variação do campo de gravidade. Proporciona a infraestrutura para a navegação por satélite (como o GPS ou GNSS em uma linguagem mais técnica) e tem técnicas espaciais altamente precisas para o monitoramento contínuo da dinâmica do planeta (GUIMARÃES; SANTANA, 2020, s/p.).

Dentro desta ciência, têm-se as mais variadas aplicações, dentre elas: hidrologia, planejamento urbano, produção de mapas, projetos de engenharia, entre outros.

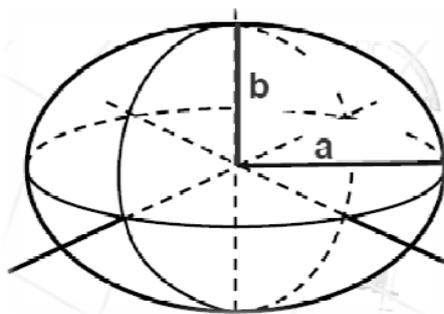
Como o estudo da geodésia está diretamente ligado a forma da Terra, questões históricas também fazem parte de sua definição e métodos. Marino (2005, p.06), “Pitágoras de Samos (571-497 a.C) e Tales de Mileto (630-545 a.C.) defendiam a esfericidade da Terra e que a mesma girava em torno do Sol (heliocentrismo), contrapondo Teo e Geocentrismo”.

Logo após Aristóteles (384-322 a.C.) apontou três fatores que justificavam a esfericidade da Terra: a variação no aspecto do céu estrelado com a latitude; a sombra circular da Terra nos eclipses da lua; e a tendência das partículas a se dirigirem para um ponto central do universo, quando competem entre si adquirindo a forma esférica. No entanto, foi Eratóstenes (276-197 a.C) quem realizou a primeira determinação da circunferência da Terra (GUIMARÃES; SANTANA, s/p., 2020).

Outros nomes da ciência também contribuíram para sua definição, como Isaac Newton (1642-1727), que considerou a forma da Terra como um elipsóide de revolução (Figura 3), na qual a figura geométrica é gerada pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor e o raio da Terra não é constante. Sendo definido

pelo semieixo maior (a), semieixo menor (b), achatamento ( $\alpha$ ):  $\alpha = [(a - b)/b]$  e excentricidade (e):  $e = b/a$  (MARINO, 2005).

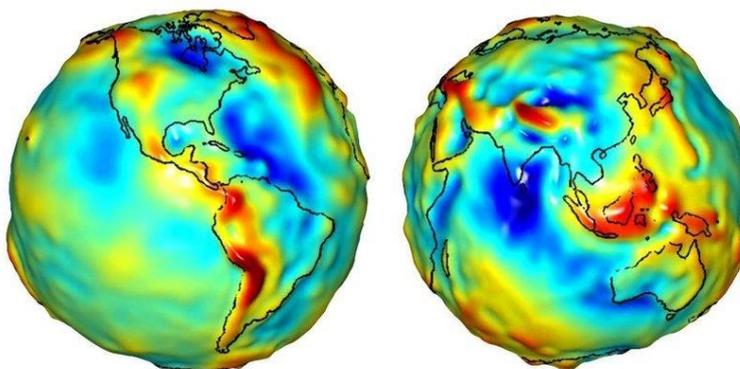
Figura 1 - Elipsóide de revolução.



Fonte: Marino (2005).

Já Gaus (1777 - 1855), definiu a “figura física da Terra” como um geóide (Figura 2). Para Embratop (2022b, s/p.), “O Geóide representa a superfície equipotencial da Terra, ou seja, o potencial gravitacional é o mesmo ao longo de toda a superfície representada. Tal característica permite que o Geóide seja a superfície que coincida com o nível médio dos mares não perturbado”.

Figura 2 - Geóide.



Fonte: Giovanini ([20--]).

Um sistema geodésico de referência é composto por redes de referência e define-se por um conjunto de pontos materializados no terreno cujas suas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais (MARINO, 2005). As redes em questão podem ser classificadas em quatro tipos: Globais (IGS); Continentais (SIRGAS); Nacionais (RBMC); Regionais.

Um Sistema Geodésico se caracteriza pela definição de um elipsóide de referência, de um datum e do desvio da vertical do lugar. O Datum fica determinado pelos parâmetros iniciais: coordenadas geodésicas de um ponto georeferenciado (que pode ser um vértice de um triângulo), uma base geodésica (lado do triângulo) e azimute desta base. As coordenadas fixam o ponto no elipsóide de referência. A base, por sua vez, fornece a escala, enquanto que o azimute orienta o sistema. A vertical, determinada pela direção do fio de prumo sobre a superfície física da Terra, pode não coincidir com a normal ao elipsóide. Haverá um desvio, denominado de desvio da vertical. Ressalta-se também, que o centro do elipsóide de referência pode não coincidir com o centro de massa da Terra (FONTES, 2005, p.09).

[...] Datum representa a origem do sistema de referência utilizado na determinação da localização de cada elemento representado. [...] é definido por uma origem e suas coordenadas; um modelo matemático que tem o objetivo de representar, da forma mais fidedigna possível, a superfície terrestre; e a orientação desse modelo matemático (EMBRATOP, 2022a, s/p.).

Os métodos de geodésia geralmente se baseiam em medições de curtas distâncias entre pontos predeterminados na Terra. Por meio de técnicas de medição sofisticadas, é possível calcular a superfície da Terra, assim como a direção e a distância entre os pontos.

A geodésia desempenha um papel importante na cartografia, pois é necessária para a produção de mapas e globos precisos. Além disso, é usada para medir o nível do mar, calcular a magnitude de terremotos e para a criação de sistemas de navegação por satélite.

### **2.1.1 Geodésia espacial**

A geodésia espacial é um ramo da geodésia que considera a utilização de posicionamento espacial para a determinar pontos sobre a superfície terrestre, através de medidas coletadas por satélites artificiais (ZANETTI, 2007).

No que concerne à evolução da Geodésia Espacial, hoje se obtém, rotineiramente, posicionamento ao nível milimétrico, o que proporciona capacidade de detecção de movimentos crustais e distorções ou deformações, com acurácia e resolução temporal nunca atingida antes (MONICO, 2018, p.02).

Nela obtemos dois tipos de levantamento geodésicos, o levantamento altimétrico e o levantamento gravimétrico. Para IBGE (1983, p.04), “denomina-se “Levantamentos Geodésicos” ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção dos parâmetros”.

Os levantamentos altimétricos são baseados no nivelamento geométrico de alta precisão realizados para o estabelecimento e densificação do SGB. Já os levantamentos gravimétricos são baseados na determinação da gravidade realizados pelo IBGE, fornecendo os elementos básicos norteadores destas atividades (IBGE, 2017).

### **2.1.2 Sistema Geodésico de Referência (SGR)**

Um sistema geodésico de referência (SGR) é constituído por um conjunto de constantes, convenções, modelos e parâmetros que são necessários para representação matemática de grandezas geométricas e físicas associadas ao posicionamento espacial de feições e eventos. Sua materialização está associada a implantação de pontos de referência com coordenadas geodésicas definidas (IBGE, 2017).

No Brasil há o seu próprio sistema geodésico, denominado Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), no qual foi homologado inicialmente a partir do datum SAD69, porém, em 2015, o SIRGAS 2000 foi adotado como o datum oficial do país.

Conjunto de pontos geodésicos descritores da superfície física da Terra, implantados e materializados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país, com vistas às finalidades de sua utilização, que vão desde o atendimento a projetos internacionais de cunho científico, passando pelas amarrações e controles de trabalhos geodésicos e cartográficos, até o apoio aos levantamentos no horizonte topográfico, onde prevalecem os critérios de exatidão sobre as simplificações para a figura da Terra. Estes pontos são determinados por procedimentos operacionais associados a um sistema de coordenadas geodésicas, calculadas segundo modelos geodésicos de precisão, compatíveis com as finalidades a que se destinam, tendo como imagem geométrica da Terra o Elipsóide de Referência Internacional de 1967 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. 05).

### **2.1.3 Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS)**

O GNSS é um sistema de navegação global baseado em satélite que tem por finalidade melhorar a geometria da constelação de satélites, a disponibilidade para todas as regiões do globo terrestre, integridade e confiança aos usuários. (VETTORAZZI, 2016).

Segundo CPE Tecnologia (2019, s/p.), “[.] o sistema é utilizado para determinação de coordenadas, onde uma constelação de satélites permite

determinar o posicionamento e a localização de um ponto. Esteja ele em qualquer parte do mundo, sob condições climáticas diversas”.

[...] para que o Sistema Global de Navegação por Satélite opere normalmente deve se dispor de um receptor e pelo menos 4 satélites para se determinar as variáveis  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e o tempo. Conhecendo as coordenadas desses satélites, calcula-se as coordenadas da antena do receptor no mesmo sistema de referência dos satélites. Contudo, a precisão da coordenada calculada é definida de acordo com a técnica de posicionamento utilizada durante a coleta de dados (CPE TECNOLOGIA, 2019, s/p.).

Os principais sistemas GNSS são: o *Global Positioning System* (GPS) dos Estados Unidos, com 31 satélites e SRG – WGS 84; o GLONASS da Rússia, com 23 satélites e SRG – PZ-60; o Beidou da China, com 14 satélites e SRG – GTRF; e o Galileo da União Europeia, com 14 satélites e SRG – BDC (CGCS 2000) (IBGE, 2017).

Seu posicionamento se dá por diferentes métodos: Posicionamento Absoluto; Posicionamento por Ponto Preciso (PPP); Posicionamento Relativo.

### **2.1.3.1 Tipos de receptores GNSS**

Os receptores GNSS normalmente são caracterizados pelo tipo de observáveis que rastreiam, sendo elas: os códigos e as fases das ondas portadoras. Os receptores denominados de geodésicos ou de dupla frequência são aqueles que rastreiam códigos e fase em, pelo menos, dois sinais da banda L. Os receptores geodésicos comercializados atualmente possuem a terceira frequência, L5 proporcionando um posicionamento de qualidade superior das demais frequências.

Os receptores topográficos ou de uma frequência, são aqueles que rastreiam o código e a fase em somente um sinal e os receptores de navegação são aqueles que rastreiam somente o código em um sinal (IBGE, 2017, p.17).

### **2.1.3.2 Posicionamento relativo**

Este método leva em consideração ao menos dois receptores coletando dados simultaneamente dos mesmos satélites. Um dos receptores fica posicionado sobre uma estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou base, sendo as coordenadas das demais estações calculadas a partir desta. O processo de diferenciação entre as observações simultâneas permite reduzir os erros inerentes às observações, uma vez que quanto menor for a distância entre os receptores (linha de base), mais similares serão os erros, permitindo determinação de coordenadas com precisão centimétrica (IBGE, 2017, p.21).

Tabela 1 – Estimativa de Precisão para Posicionamento GNSS Relativo.

<b>Linha de Base</b>	<b>Tempo de observação</b>	<b>Equipamento utilizado</b>	<b>Precisão</b>
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	Mínimo: 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	Mínimo: 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE (2017).

### 2.1.4 Estações RBMC

A RBMC, segundo IBGE ([20--], s/p.), é um “conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas.”

As estações da RBMC são materializadas através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados, e cravados em pilares estáveis. A maioria dos receptores da rede possui a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS, enquanto alguns rastreiam apenas GPS. Esses receptores coletam e armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites das constelações GPS ou GLONASS (IBGE, [20--], s/p.).

Em cada estação de RBMC há um receptor e antena geodésica, conexão de Internet e provimento constante de energia elétrica (IBGE, s.d.).

As estações, de maneira geral, estão inseridas na rede de referência SIRGAS, com suas coordenadas finais atendendo a uma precisão de  $\pm 5$  mm, tornando-se assim umas das redes mais precisas do mundo (IBGE, s.d.).

De forma automatizada, suas observações são dispostas em arquivos gerados diariamente, obedecendo sessões que se iniciam às 00h 01min e se encerram às 24h 00min (tempo universal), com intervalo de rastreio de 15 seg (IBGE, s.d.).

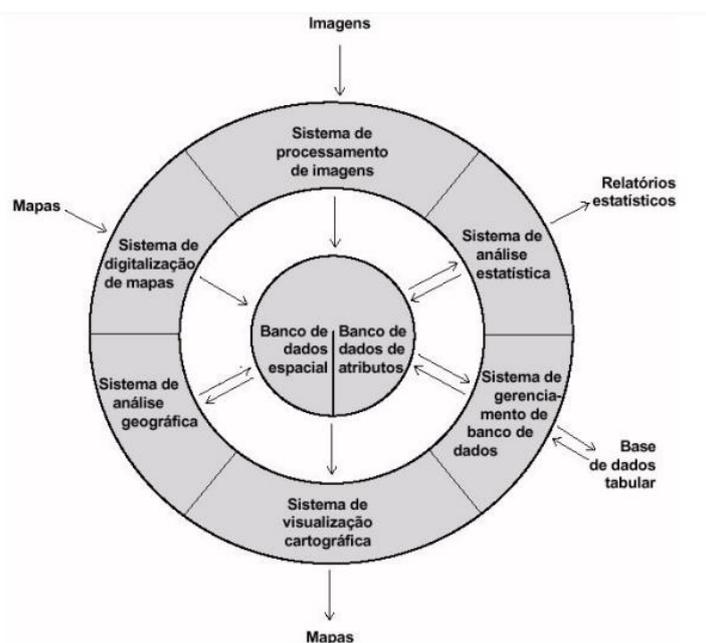
## 2.2 Sistema de Informações Geográficas

Bernhardsen (2002, p.04) define Sistema de Informações Geográficas (SIG) como um termo de maneira geral que engloba qualquer recurso de manipulação de dados geográficos no meio computacional. Além de incluir hardwares e softwares, ele também faz uso de dispositivos especiais utilizados para inserir mapas e criar produtos de mapas, associado a sistemas de comunicação necessários para conectar vários elementos.

É um sistema composto por um conjunto de programas de computador que integra dados geográficos definidos por seus atributos espaciais (forma e localização) e que descrevem “onde” um objeto se localiza, com atributos não espaciais deste objeto (proprietário, valor, uso e outros), ou que descrevem “o que” são estes objetos, permitindo analisar os dados, fazer previsões e construir cenários futuros. O GIS (*Geographic Information System*), que pode ser traduzido por SIG (Sistema de Informações Georreferenciadas), explicitando-se a natureza das informações obtidas na aplicação do sistema, é um conjunto de aplicativos que permite coletar, armazenar, recuperar, transformar e representar visualmente dados espaciais, além de dados estatísticos ou textuais a eles relacionados. (BASTOS, 2000).

Pode-se representar esse sistema através da Figura 3, a qual ilustra como ele está destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias (HASENACK; WEBER, 1998).

Figura 3 – Tecnologias integradas em um SIG.



Fonte: Hasenack e Weber (1998).

O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, etc (ROSA, 2013, p.60).

Deste modo, o SIG é uma especialidade do sistema de informação no sentido geral. Para Rosa (2013, p.60) “essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes”.

### **2.2.1 Dados geográficos**

Dados geográficos, diferentemente dos demais dados, também possui uma componente espacial da variável de interesse.

O termo dado espacial denota qualquer tipo de dados que descreve fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Por exemplo, as estruturas moleculares de um composto químico são dados espaciais. Os dados utilizados em sigs pertencem a uma classe particular de dados espaciais: os dados georreferenciados ou dados geográficos. O termo denota dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo (CÂMARA et al., 1996, p.37).

Esses tipos de dados, no que se refere ao formato, é dividido em dois tipos: dados raster e dados vetoriais. E seu principal produto são mapas temáticos.

#### **2.2.1.1 Dados matriciais**

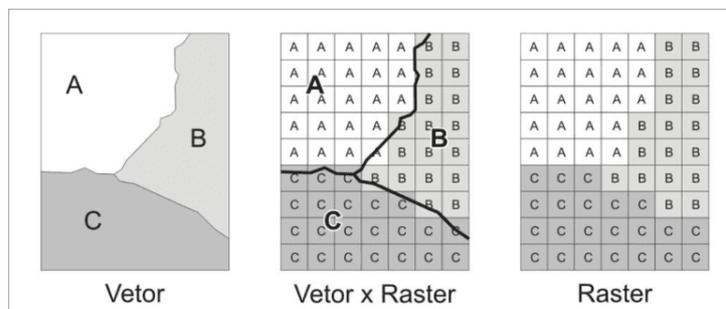
Estruturas matriciais são chamadas de raster. Os valores contidos nessas estruturas são associados a uma matriz de célula (pixel), onde cada célula corresponde a um endereço identificado por coordenadas de linhas e colunas que representa o mundo real (GIOVANINI, 2021).

#### **2.2.1.2 Dados vetoriais**

Estruturas vetoriais são representadas por pontos, linhas ou polígonos. Esse tipo de estrutura retratam o mundo real em mapas através de coordenadas X e Y, ou

longitude e latitude (GIOVANINI, 2021). Na Figura 4, podemos ver a comparação entre dados vetoriais e matriciais.

Figura 4 – Imagem matricial versus dados vetoriais.



Fonte: Giovanini (2021).

## 2.3 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém software distinto. (ROSA, 2013, p.59)

O geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades, e pode ser definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais ou georreferenciadas. É importante observar que informações georreferenciadas têm como característica principal o atributo de localização, ou seja, estão ligadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas. (ZAIDAN, 2017, p.198)

Segundo Rosa (2013, p.06) “o termo Geoprocessamento é usado quase que exclusivamente no Brasil, provavelmente fruto de rivalidades de intelectuais entre as correntes europeias e americanas”.

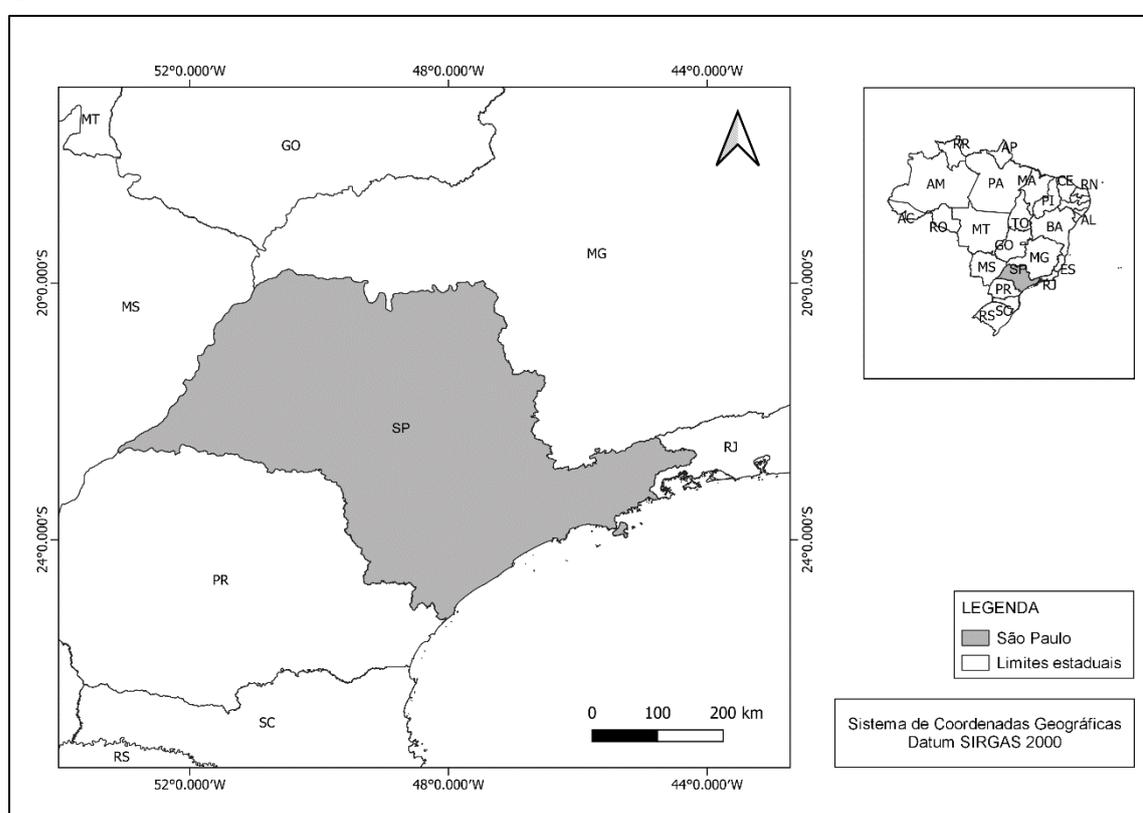
## 2.4 Software QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. O QGIS é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Funciona em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados e funcionalidades (QGIS, [20--], s/p.).

### 3 METODOLOGIA

O estado de São Paulo (Figura 5), situa-se na região sudeste do Brasil, com um território de 248.219,485km<sup>2</sup> e área urbanizada de 8.614.62km<sup>2</sup>. Encontra-se com o maior desenvolvimento econômico do país, apresentando um PIB de R\$2.377.639 milhões. Sua população, de acordo com a estimativa de 2021 do IBGE, é aproximadamente 46 milhões de pessoas, tornando-se assim o estado mais populoso do país, chegando à densidade demográfica de 166,25hab/km<sup>2</sup> de acordo com Censo de 2010 do IBGE.

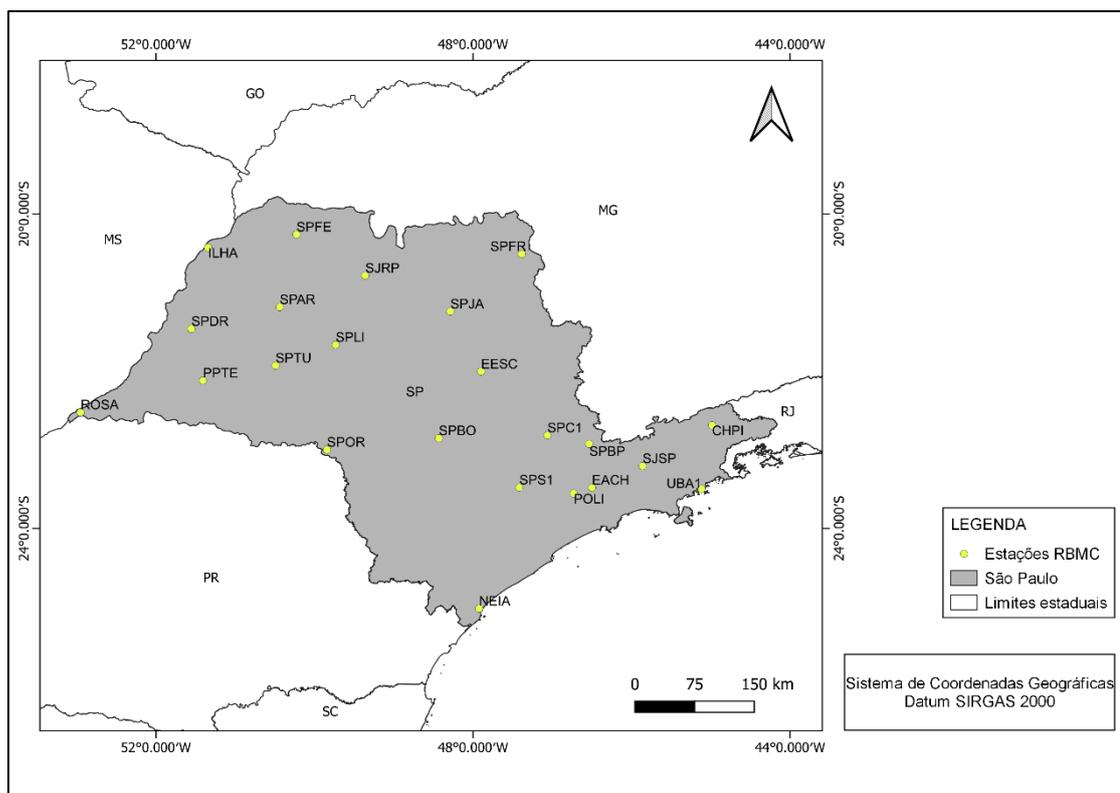
Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Na área de estudo, há 645 municípios e 23 estações RBMC ativas (Figura 6), que estão localizadas em Araçatuba, Botucatu, Bragança Paulista, Cachoeira Paulista, Campinas, Cananéia, Dracena, Fernandópolis, Franca, Ilha Solteira, Jaboticabal, Lins, Ourinhos, Presidente Prudente, Rosana, São Carlos, São José do Rio Preto, São José dos Campos, São Paulo, Sorocaba, Tupã e Ubatuba.

Figura 6 - Localização das estações de RBMC no estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Para elaboração e criação dos mapas, a camada municipal e os dados das estações foram retirados da plataforma do IBGE. Todos os dados utilizados passaram pelo processo de *download* e foram adicionados ao QGIS.

No *software QGIS*, a camada (RBMC\_NULL) foi recortada para o município de São Paulo e a partir das estações presentes no município e dos dados das linhas de base apresentados na Tabela 1, foram determinadas as zonas de cobertura das estações a partir de um raio definido. Os raios foram gerados através da função *buffer* de acordo com cada linha de base apresentada: 5km, 10km, 20km, 50km e 100km.

Após o processo de gerar as zonas de cobertura, foi realizado a interseção das camadas de 50km e 100km para se obter as áreas que se sobrepõem com duas ou mais estações.

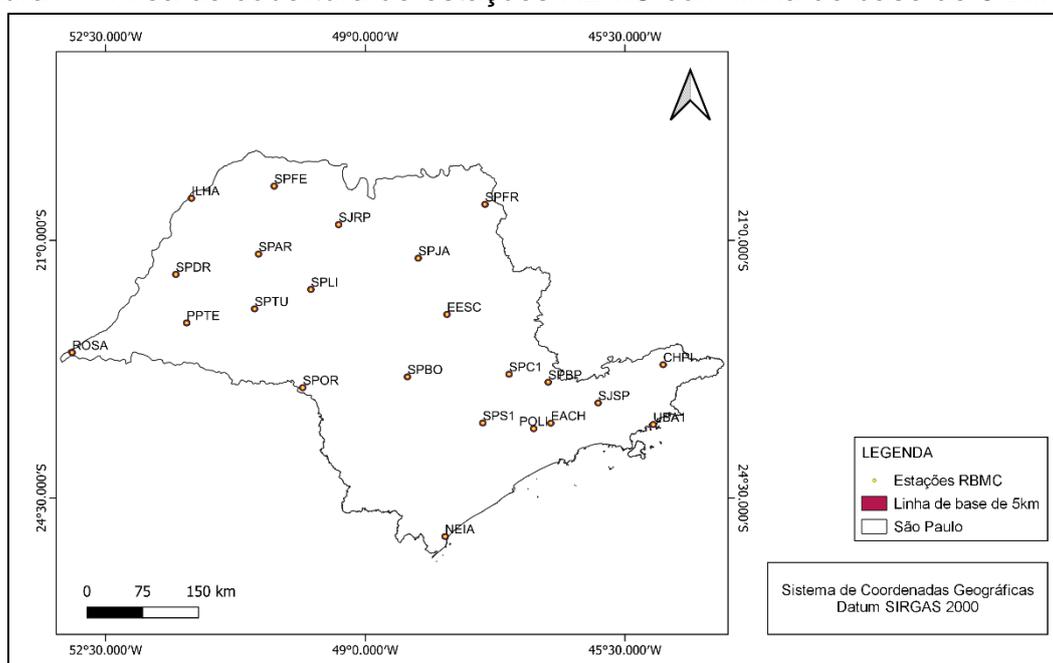
Por fim essas interseções foram transformadas em um polígono único através da função *dissolver* e recortadas para malha municipal de São Paulo.

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

A visualização de todos os resultados teve como objeto principal a área de cobertura oferecida por cada linha de base das estações RBMC e seus respectivos produtos.

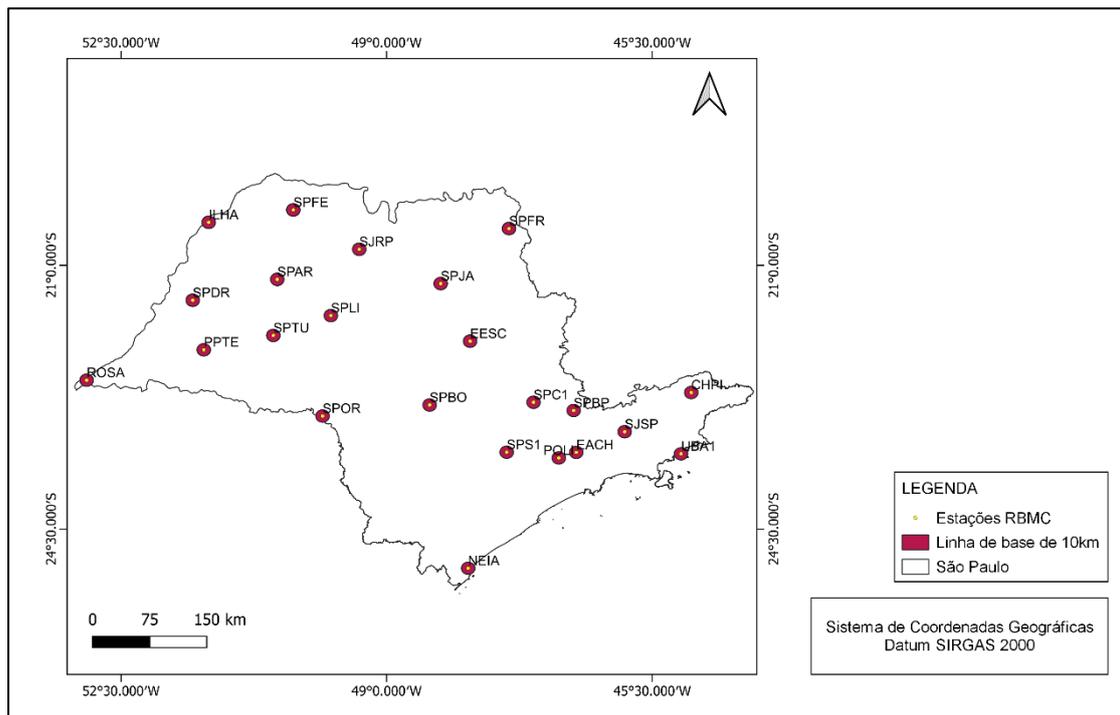
Nos mapas de área de cobertura de 5km (Figura 7), 10km (Figura 8) e 20km (Figura 9), observa-se que as estações cobrem pequenas parcelas do território do estado, apesar de estarem significativamente distribuídas ao longo de sua extensão.

Figura 7 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 5km.



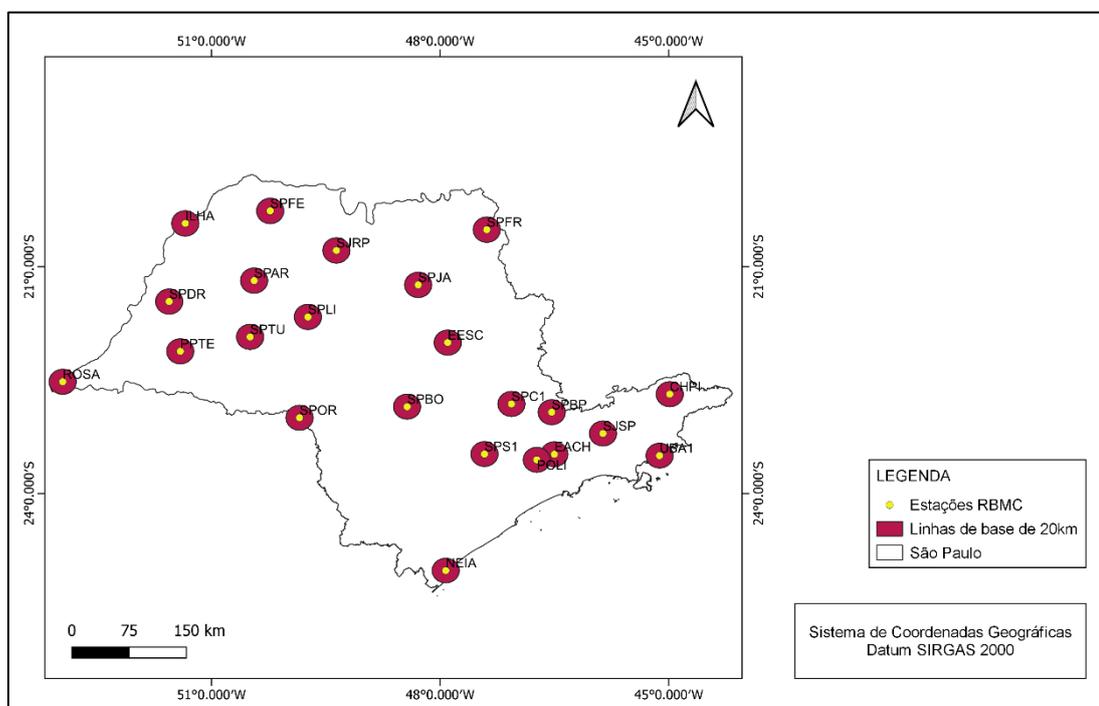
Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Figura 8 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 10km.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

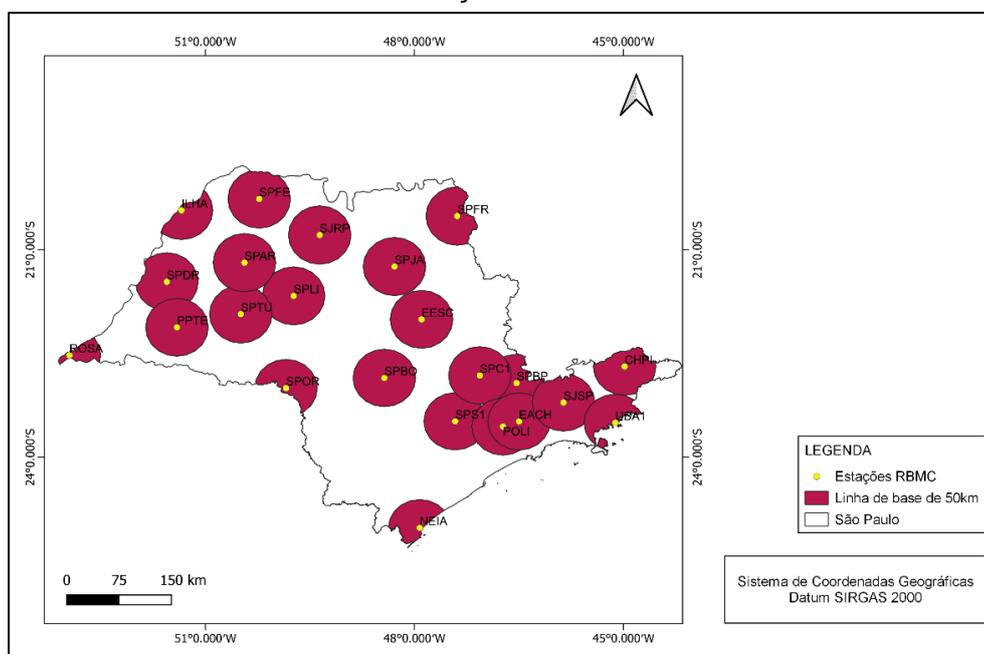
Figura 9 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 20km.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

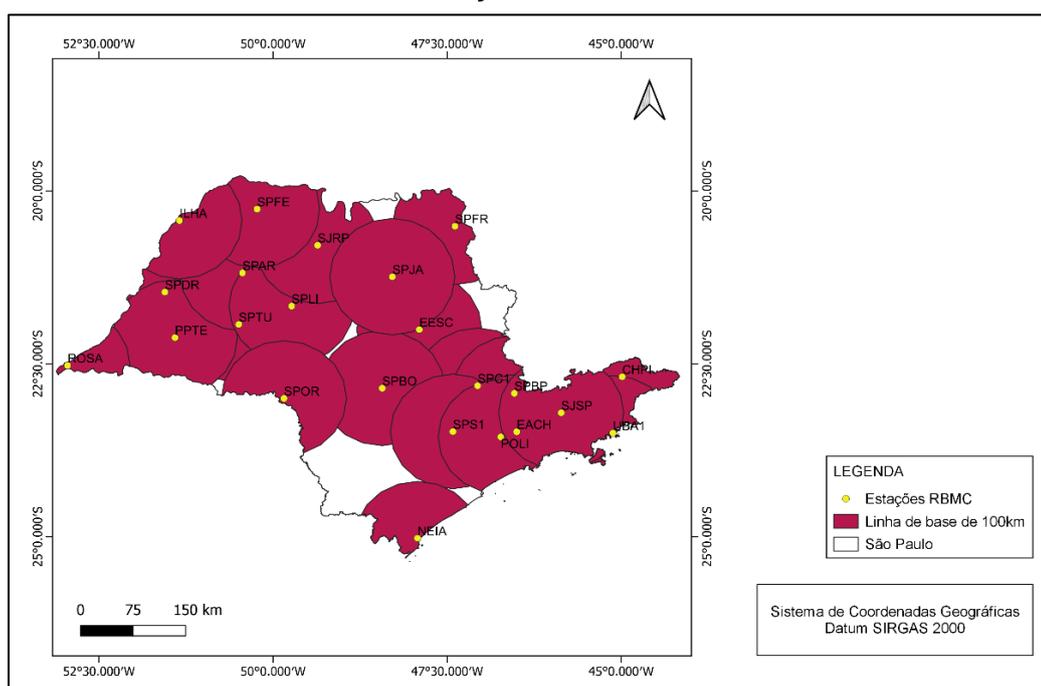
Já nos mapas de área de cobertura de 50km (Figura 10) e 100km (Figura 11), nota-se que o território obtém uma maior cobertura analisando as estações de forma individual.

Figura 10 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

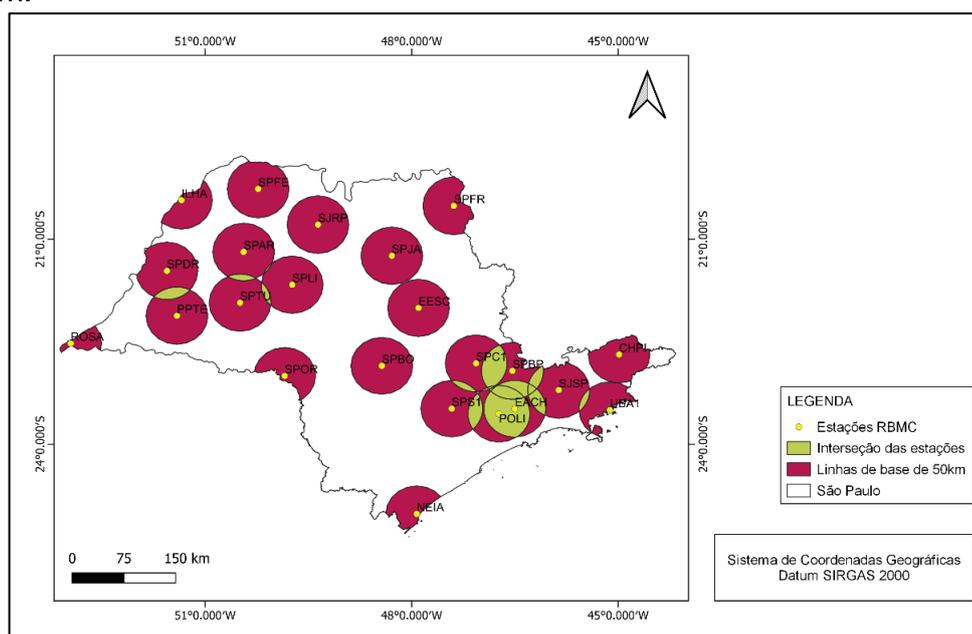
Figura 11 – Área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100km.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

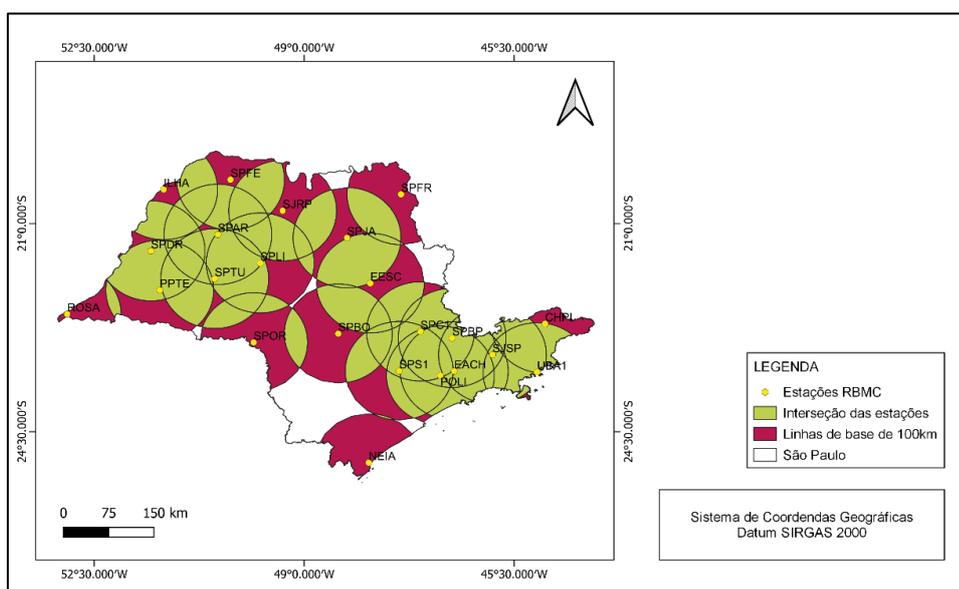
A partir da interseção das camadas de 50km (Figura 12) e 100km (Figura 13) e de se dissolver os resultados obtidos para as duas linhas de base (Figura 14 e Figura 15), é possível identificar que a área de cobertura das estações presentes em São Paulo atende uma mínima parcela do território.

Figura 12 – Interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km.



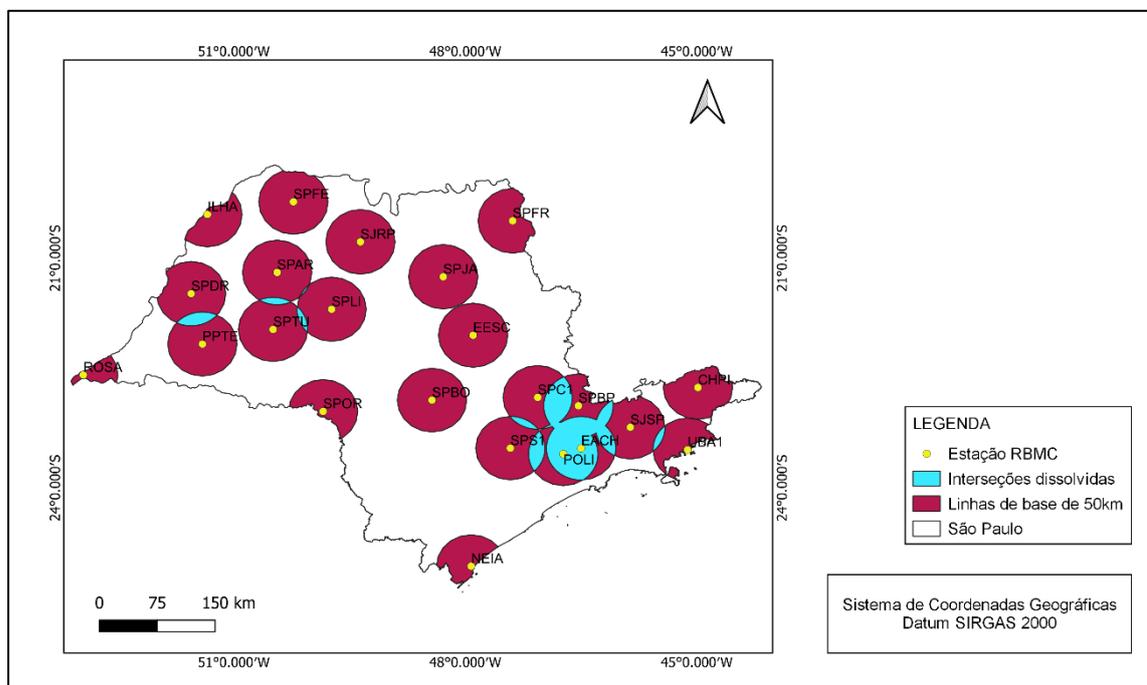
Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Figura 13 – Interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100 km.



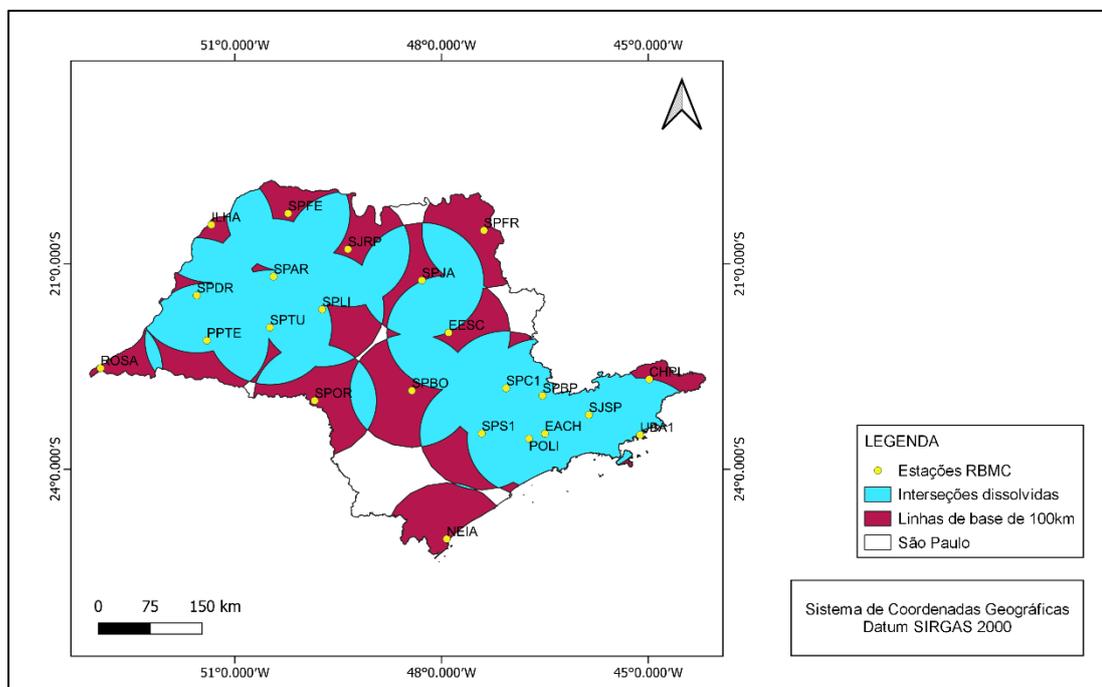
Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Figura 14 – Camada de interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 50km dissolvida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Figura 15 – Camada de interseção da área de cobertura de estações RBMC com linha de base de 100km dissolvida.

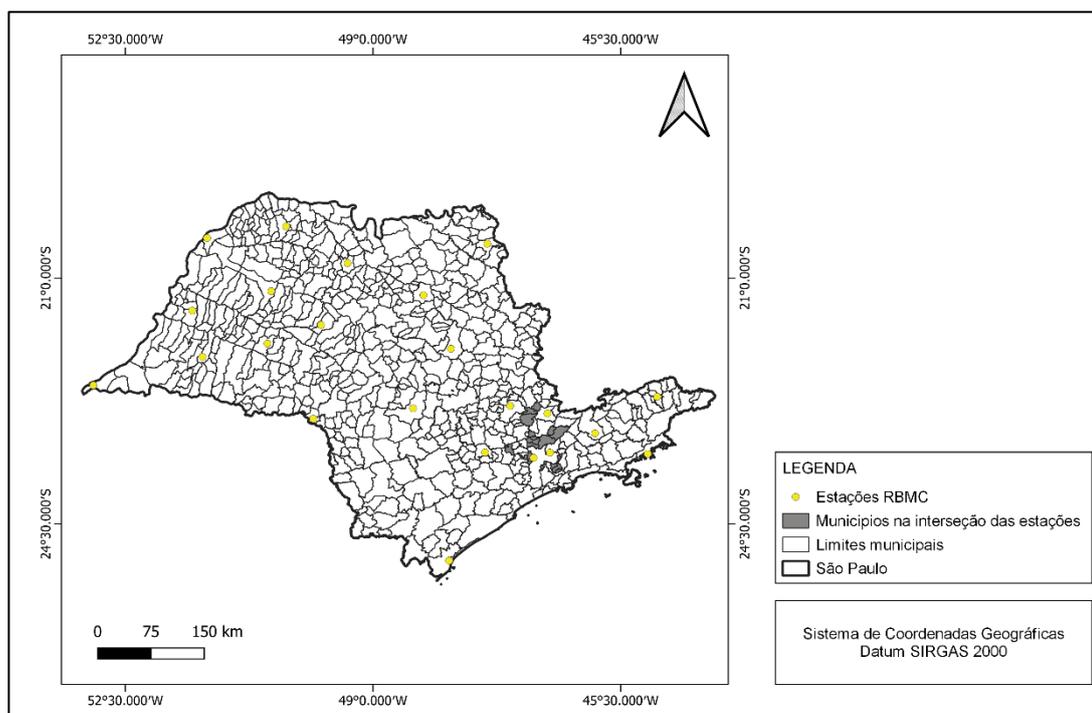


Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

Por fim, através do método de seleção feições, foi possível identificar 22 municípios, que são completamente atendidos por pelo menos duas estações de RBMC com linhas de base de 50 km (Figura 16), equivalente a aproximadamente 3,14% dos municípios existentes no estado e 0,92% em relação ao território.

Os municípios atendidos são: Araçariguama; Bom Jesus dos Perdões; Caieiras; Campo Limpo Paulista; Carapicuíba; Diadema; Ferraz de Vasconcelos; Francisco Morato; Franco da Rocha; Itatiba; Jandira; Mairiporã; Mauá; Morungaba; Nazaré Paulista; Osasco; Poá; Ribeirão Pires; Rio Grande da Serra; São Caetano do Sul; Taboão da Serra; Tuiuti.

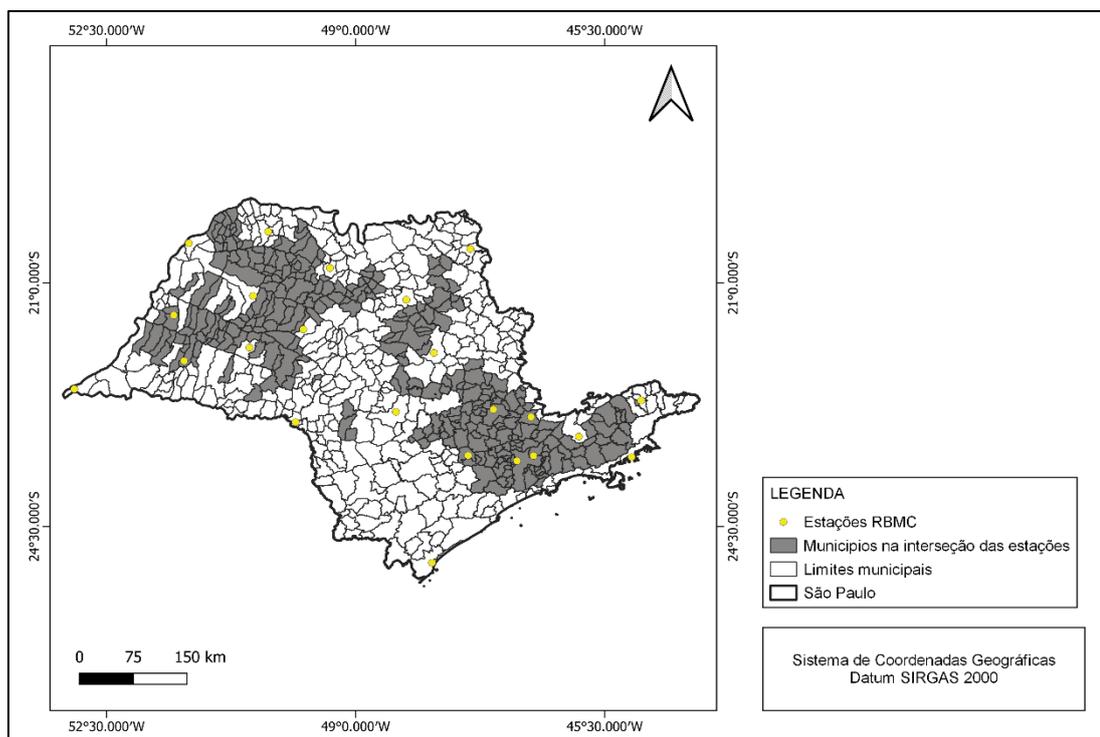
Figura 16 – Municípios completamente atendidos por duas ou mais estações RBMC com linha de base de 50km no estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

O mesmo processo foi realizado para as RBMC com linhas de base de 100km, neste caso foi possível identificar 318 municípios que são completamente atendidos por duas ou mais estações (Figura 17), equivalente a aproximadamente 49,30% dos municípios existentes no estado e 35,10% em relação ao território.

Figura 17 - Municípios completamente atendidos por duas ou mais estações RBMC com linha de base de 50km no estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023), a partir das camadas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos após a aplicação de todas as funções do *software QGIS* e elaboração de seus respectivos mapas, considera-se que os objetivos foram alcançados, pois os produtos obtidos condizem com suas dimensões e raios aplicados.

Nas interseções realizadas para as áreas de cobertura das linhas de base de 50km e 100km é possível notar a falta de estações no estado, gerando poucas áreas de cobertura total, deste modo, defasando o sistema de rede dos locais não atingidos pela cobertura de duas ou mais estações RBMC, podendo considerar que se empregue mais estações para o território, a fim de cobrir o maior número de municípios possível.

Pode-se considerar, também que quanto maior a linha de base e conseqüentemente menor a distância entre as estações, melhor é a precisão dos levantamentos que serão realizados utilizando seus pontos de apoio, assim como melhor será a qualidade do serviço, já que o território conseguirá ser atendido pela interseção de duas ou mais estações

Conclui-se, então, que os resultados mostram que a metodologia pode ser é aplicável para uma mesma finalidade e para análises semelhantes, em outras regiões do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://www.carto.eng.uerj.br/cdecart/download/NBR13133.pdf>>. Acesso em: 25 jan.2023.

BASTOS, F. **Sistema de Informações Georreferenciadas**. Instituto Pólis. São Paulo, SP, 2000. Disponível em: <<https://polis.org.br/publicacoes/sistemas-de-informacoes-georreferenciadas-sig/>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

BERNHARDSEN, T. **Geographic Information Systems: An Introduction**. 3. ed. Canadá: John Wiley & Sons, Inc, 2002. 417 p. ISBN 0471419680. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=e-yvDHkDLJQC&oi=fnd&pg=PR10&dq=BERNHARDSEN,+T.+Geographic+Information+Systems:+An+Introduction&ots=54U1pwLW1I&sig=XAzi7jo9ImFO6C8XnJMHgQAGZGs#v=onepage&q=BERNHARDSEN%2C%20T.%20Geographic%20Information%20Systems%3A%20An%20Introduction&f=false>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro. Abril, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

CPE TECNOLOGIA. **Blog da Topografia**, 2019. GNSS: o que é, aplicações, métodos e vantagens de utilizar. Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/gnss-global-navigation-satellite-system/>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

EMBRATOP GEO TECNOLOGIAS. **Embratop**, 2022a. O que é Datum?. Disponível em: <<https://www.embratop.com.br/noticias/o-que-e-datum/>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

EMBRATOP GEO TECNOLOGIAS. **Embratop**, 2022b. O que é Geóide?. Disponível em: <<https://www.embratop.com.br/noticias/o-que-e-geoide/>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

FONTES, Luiz Carlos Almeida de Andrade. **Fundamentos de Geodésia**. Universidade Federal da Bahia – UFBA, 2005. Disponível em: <<http://www.topografia.ufba.br/fundamentos%20de%20geodesia.pdf>>. Acesso em: 20 jan 2023.

GIOVANINI, Adenilson. **Geoide**: o que é e qual sua utilização?. [20--]. Disponível em: <<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/geoide/>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

GUIMARÃES, Gabriel do Nascimento; SANTANA, Tulio Alves. **A Geodésia e a forma da Terra**. Portal Comunica UFU, 2020. Disponível em: <<https://comunica.ufu.br/noticia/2020/05/geodesia-e-forma-da-terra>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao sistema geodésico brasileiro**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/normas\\_levantamentos\\_geodesicos.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC** - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. [20--] Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução - PR nº 22, de 21 de julho de 1983**. Rio de Janeiro, 1983. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/bservico1602.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/bservico1602.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Paulo**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MARINO, Tiago Badre. **Conceitos de Geodésia**. Departamento de Geociências – Instituto de Agronomia UFRRJ, 2005. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/lga/tiagomarino/aulas/3%20-%20Conceitos%20de%20Geodesia.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MONICO, João Francisco Galera. **Introdução a Geodésia: Perspectiva Atual**. FCT/UNESP, 2018. Disponível em: <[http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartogalera/FGL/Geod\\_Definicao.pdf](http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartogalera/FGL/Geod_Definicao.pdf)>. Acesso em: 17 jan. 2023.

QGIS. **QGIS**, [20--]. Sobre o QGIS. Disponível em: <[https://qgis.org/pt\\_BR/site/about/index.html](https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html)>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geografia - Laboratório de Geoprocessamento. Junho, 2013 Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5595356/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_Geop\\_rrosa.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5595356/mod_resource/content/2/Apostila_Geop_rrosa.pdf)>. Acesso em: 08 jul. 2022.

TORGE, Wolfgang. **Geodesy**. 3. ed. Berlin; New York: de Gruyter, 2001. Disponível em: <[http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/Torge-Geodesy\(2001\).pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/Torge-Geodesy(2001).pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2023.

VETTORAZZI, Carlos. **GNSS** – Global Navigation Satellite System. Departamento de Engenharia de Biosistemas – USP. 2016. Disponível em: <[http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Vettorazzi/LEB450\\_GNSS\\_2016.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Vettorazzi/LEB450_GNSS_2016.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2023.

Z Aidan, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia – PPGeo - UFJF**. Juiz de Fora, v.7, n.2, (Jul-Dez) p.195–201, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073/9359>>. Acesso em: 08 jul. 2022.

Zanetti, Maria Aparecida Zehnpfenig. **Geodésia**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007. Disponível em: <[https://www.academia.edu/15328206/UNIVERSIDADE\\_FEDERAL\\_DO\\_PARAN%C3%81\\_GEOD%C3%89SIA\\_MARIA\\_APARECIDA\\_ZEHNPFEENNIG\\_ZANETTI\\_CURITIBA\\_2007](https://www.academia.edu/15328206/UNIVERSIDADE_FEDERAL_DO_PARAN%C3%81_GEOD%C3%89SIA_MARIA_APARECIDA_ZEHNPFEENNIG_ZANETTI_CURITIBA_2007)>. Acesso em: 20 jan. 2023.