



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Mapeamento da área de cobertura do sinal 4G de telefonia móvel na cidade de Itaqui-RS***Mapping of the coverage area of signal 4G of mobile telephony in the city of Itaqui-RS***Thainan Tammy Tameirão¹, Pablo Francisco Benitez Baratto²**RESUMO**

Os sistemas de comunicação móvel têm influenciado cada vez mais o cotidiano da população em todo o mundo. A quarta geração (4G) de tecnologia de telefonia já está sendo implementada no Brasil, mas, desde a primeira geração, a dificuldade encontrada foi a padronização dos aparelhos e a expansão da tecnologia nos extremos do território nacional. Pelas regras da ANATEL, a cobertura do serviço de telefonia móvel das operadoras deve atender ao pré-requisito de prestação de serviço de 80% da área urbana das sedes dos municípios. Diante do exposto, a área de cobertura de sinal das operadoras de telefonia é uma questão-chave e uma poderosa ferramenta para a representação de dados espaciais da atualidade é um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite análises embasadas na informação espacial obtida. Nesse sentido, o presente trabalho visou realizar um mapeamento da disponibilidade e intensidade do sinal 4G na cidade de Itaqui. A área de estudo foi a área urbana do município de Itaqui-RS. Foram realizadas visitas aos locais de instalação das Estações Rádio-base (ERBs) nas quais foram confirmadas suas coordenadas geodésicas a partir do rastreamento realizado pelo dispositivo GNSS RTK.

Palavras-chave: Estação Rádio-Base; 4G; *Long Time Evolution*; Cartografia; SIG.

ABSTRACT

Mobile communication systems have increasingly influenced the daily lives of the population around the world. The fourth generation (4G) of telephony technology is already being implemented in Brazil, but since the first generation, the difficulty has been the standardization of the handsets and the expansion of technology in the extremes of the national territory. Under the rules of ANATEL, the coverage of the operators' mobile telephony service must meet the prerequisite of service provision of 80% of the urban area of the municipalities. In light of the above, the signal coverage area of the telephone operators is a key issue and a powerful tool for the representation of spatial data of the present time is a Geographic Information System (GIS), which allows analysis based on the spatial information obtained. In this sense, the present work aimed at mapping the availability and intensity of the 4G signal in the city of Itaqui. The study area was the urban area of the municipality of Itaqui-RS. Visits were made to

¹ Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Bagé/RS – Brasil. E-mail: thainantt@outlook.com

² Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa/MG – Brasil. E-mail: pablofbaratto@gmail.com



the installation sites of the Radio Base Stations (ERBs) in which their geodetic coordinates were confirmed from the tracking performed by the GNSS RTK device.

Keywords: Radio Base Station; 4G; Long Time Evolution; Cartography; GIS.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação móvel têm influenciado cada vez mais o cotidiano da população em todo o mundo. O desenvolvimento desses sistemas tem ocorrido de forma gradual desde o começo do século XX, inicialmente eram aplicados para fins militares, mas por volta dos anos 80, a população civil contava apenas com sistemas analógicos limitados às pessoas com alto poder aquisitivo. Finalmente, nas últimas décadas, as comunicações móveis deixaram de ser uma tecnologia cara e se transformou em sistemas ubíquos.

A quarta geração (4G) de tecnologia de telefonia já está sendo implementada no Brasil, mas, desde a primeira geração, a dificuldade encontrada foi a padronização dos aparelhos e a expansão da tecnologia nos extremos do território nacional. Inicialmente, as redes celulares foram desenvolvidas para alcançar cobertura com poucos requisitos de capacidade. Com o aumento do número de usuários dos sistemas de rede móvel, as operadoras necessitaram ampliar a quantidade de Estações Rádio-Base (ERB) para suprir a demanda de tráfego, sendo necessária a instalação de um maior número de equipamentos transmissores. (CUNHA, 2017).

Assim como o desenvolvimento tecnológico trouxe inúmeras inovações no que concerne às telecomunicações, também proporcionou o surgimento de novas técnicas e recursos em várias outras áreas, como, por exemplo, nas ciências de mensuração e representação do espaço geográfico, os avanços tecnológicos, principalmente no que diz respeito ao surgimento de computadores com maior poder de processamento e o surgimento de sensores orbitais e *softwares* de processamento da informação geográfica. A conjuntura destes elementos deu origem a termos como geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), citada dentre outros autores por Câmara e Davis (2001).

A ascensão dos SIGs permitiu a representação dinâmica de paradigmas diversos, e análises embasadas na informação espacial obtida. De fato, Fitz (2008) ressalta que um SIG é uma ferramenta de grande importância para a tomada de decisões.

Exemplos de aplicações do uso de SIGs para a gestão urbana podem ser identificados no planejamento de cidades. Rezende *et al.* (2017) fizeram uso do SIG QGIS para a identificação de áreas urbanas suscetíveis a inundações, uma problemática recorrente nos aglomerados urbanos.

Os SIGs possuem aplicações em diversas áreas, incluindo o planejamento da telefonia móvel em uma cidade, objetivo deste trabalho. De fato, este fenômeno pode ser exemplificado pelo trabalho de Arenas e Castilla (2017), que utilizaram um SIG para a avaliação da qualidade ambiental de centros educacionais próximos a antenas de telefonia.



O objetivo principal deste trabalho foi mapear a disponibilidade e intensidade do sinal 4G na cidade de Itaqui. Os objetivos específicos consistiram em medir a intensidade do sinal 4G em diferentes localidades da área urbana de Itaqui e elaborar análises qualitativas e quantitativas acerca da cobertura de sinal 4G na sede urbana de Itaqui.

2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A comunicação é um aspecto inerente à humanidade desde seus primórdios. Para que ela aconteça, foram desenvolvidas formas de expressão, como pinturas e a escrita. Além disso, ao longo das eras surgiram novas tecnologias que permitiram a otimização das comunicações, tornando o processo de trocas de informações mais rápido e capaz de acontecer entre distâncias cada vez maiores.

Um dos principais dispositivos de comunicações da contemporaneidade é o telefone. Os telefones, inicialmente, operavam sob um sistema de transmissão de voz através de impulsos elétricos. Com o tempo, ganharam funcionalidades e aprimoramentos, inclusive a possibilidade de funcionamento sem fios e a utilização de baterias. A popularização da telefonia móvel é marcante de tal forma que atualmente o telefone celular é um acessório indispensável, que atua como despertador, calendário, entre tantas outras funções. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018a), a partir de 2014 os telefones inteligentes ultrapassaram os computadores e se tornaram os dispositivos preferidos pelos brasileiros para se conectar à internet.

Evidenciada a importância da telefonia móvel para o atual cenário das comunicações, torna-se relevante que os serviços que permitem a transmissão de dados sejam capazes de atender a demanda por sua utilização. Diante do exposto, a área de cobertura de sinal das operadoras de telefonia é uma questão-chave.

2.1. TECNOLOGIA 4G

Com o advento da tecnologia de telefonia sem fio, as vias pelas quais ocorre a transmissão de dados têm passado por mudanças. Em um primeiro momento, a telefonia móvel de primeira geração (1G) era bastante rudimentar, segundo Xavier *et al.* (2006), formado por sistemas analógicos do tipo Sistema Analógico de Telefonia Móvel (AMPS).

Um segundo momento para a telefonia móvel foi a segunda geração (2G), que podem ser classificadas em tecnologias de: Acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA), Acesso múltiplo por divisão de código (CDMA-One) e Sistema Móvel Global (GSM).

A terceira etapa da telefonia móvel é marcada pelo surgimento do Taxas de Dados Ampliadas para a Evolução do GSM (EDGE) e, como apontado por Gonçalves e Gomes (2006), possibilitou a utilização de taxas de download de até 473 kbps, além de ser compatível com GSM e, portanto, requerer alterações mínimas na rede então existente. Já o 3G foi uma das modalidades mais recentes de transmissão de dados, sendo superado apenas pelo 4G.

A rede 4G, também chamada de Evolução de Longo Prazo (LTE) é o modelo mais recente. Conforme Izario e Akamine (2015), este sistema de dados já se encontra ativo em diversos países inclusive no Brasil e chama atenção pelas altas velocidades



com as quais pode operar, com taxas de 300 Mbps (em torno de 22 Mbps para o usuário final), dependendo da quantidade e modo de utilização das antenas componentes do sistema implantado.

A quarta geração de telefonia móvel, mais conhecida por 4G, deveria estar disponível em todos os municípios com mais de 30 mil habitantes até 2017. Essa foi uma obrigação assumida pelas empresas que participaram do leilão da faixa de 2,5 GHz em 2012, o primeiro para bandas de frequência voltadas à prestação de serviços de quarta geração (ANATEL, 2012). As empresas que venceram o leilão assumiram algumas obrigações, entre elas, que, até dezembro deste ano, todas as cidades com até 200 mil habitantes devem contar com a nova tecnologia. Essa progressão da cobertura se encerra nos próximos dois anos, com o 4G chegando aos municípios de até 30 mil habitantes. Conforme dados do site Teleco (TELECO, 2018), em 2018 a população atendida pelo serviço de sinal 4G já representa 93,9% da população total dos municípios brasileiros.

Dado que o posicionamento adequado é crucial para o aproveitamento máximo das redes de telefonia, é relevante a utilização de técnicas de representação do espaço geográfico, como por exemplo, a cartografia.

2.2. CARTOGRAFIA

Uma vez que a área de atuação das antenas está ligada à localização, é possível e importante a sua representação através de metodologias de espacialização da informação. Uma das opções para a representação de fenômenos espaciais é a cartografia. Segundo Menezes e Fernandes (2013), a cartografia é a ciência e a arte da concepção, estudo, produção e utilização dos mapas.

Tuler e Saraiva (2016) ressaltam, ainda, que a cartografia é o conjunto de técnicas que, baseadas nas informações de observações ou análises, permite a elaboração de mapas, inclusive por meio de processos computacionais.

Menezes e Fernandes (2013) destacam que a cartografia se encarrega de responder questões como “onde?”, “por quê?”, “quando?”, “por quem?”, “para que finalidade?” e “como representar?”. Assim, a cartografia permite a representação de um fenômeno com a possibilidade de análises multifacetadas. Em outras palavras, todo o evento passível de análise e localização pode ter sua representação cartográfica. Menezes e Fernandes (2013) apontam ainda que qualquer fenômeno passível de localização pode ser representado por meio de um mapa.

A cartografia pode ser dividida em cartografia de base e cartografia temática, segundo Gaspar (2005). A cartografia de base trata de informações mais genéricas e de maior grau de acurácia, ou seja, informações de interesse comum a todas as representações, como hidrografia e limites, que posteriormente podem ser utilizadas para a representação de fenômenos específicos. A representação de fenômenos específicos é a cartografia temática, que direciona seus esforços para a transmissão de informações qualitativas e quantitativas através de mapas acerca de temas diversificados, como cobertura vegetal (RIBEIRO *et al.*, 2017), gestão de informações sobre bacias hidrográficas (GUIMARÃES *et al.*, 2017), entre outros.



Para fins de processamento e representação, é necessário que os dados referentes às ERBs, objeto de estudo deste trabalho, sejam representados em uma forma de exibição que seja passível de consulta facilitada e atualização. Para tal finalidade, uma opção bastante versátil é o SIG.

2.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A representação das informações georreferenciadas culmina na utilização dos SIGs. Segundo Longley *et al.* (2013), os SIGs são sistemas computacionais projetados para armazenar e processar a informação geográfica e podem ser utilizados para muitas tarefas úteis como armazenar grandes volumes de informações em bancos de dados e processá-los rapidamente.

Conforme Ghilani e Wolf (2013), SIGs podem ser definidos como um sistema de hardware, *software* de dados e estrutura organizacional que permitem o armazenamento, manipulação e análise simultânea de dados de diferentes tipos, desde que estes estejam associados a uma referência geográfica em comum. Além disso, Ghilani e Wolf (2013) ressaltam a possibilidade de trabalhar com camadas de informações, como por exemplo terrenos, planícies pluviais, vegetação, sendo possível a sobreposição destas camadas para fins de análise a partir de uma visão holística.

Os dados processados em um ambiente de SIG podem ser de natureza vetorial e matricial. Arquivos vetoriais são comumente utilizados para representação de variáveis discretas, com distribuição consideravelmente homogênea ao longo de sua área de ocorrência. Consistem em elementos geométricos do tipo “ponto”, “linha” ou “polígono” que podem ser visualizados em diferentes escalas de exibição sem que se perca qualidade visual na representação. Dados matriciais (ou *raster*) são conjuntos de matrizes (normalmente imagens) que representam variáveis que sofrem diferenciação gradativa ao longo de sua extensão, como imagens de satélite e mapas de calor.

Os SIGs, conforme Longley *et al.* (2013), podem ser ainda descritos como um sistema composto por interface gráfica, ferramentas e acesso aos dados, sendo estes sistemas representados principalmente por *softwares* como *ArcGIS* e programas similares. Além disso, cabe, também, ressaltar que os principais, porém não exclusivos, formatos de dados para estes programas são o *shapefile* para dados vetoriais e *GeoTiff* para dados matriciais, e os SIGs permitem que ambos os tipos de informações sejam trabalhados concomitantemente.

Devido a esta versatilidade, suas aplicações podem ser então estendidas a áreas como as telecomunicações, e, portanto, atuarem como ferramentas para a representação das suas características, inclusive a área de cobertura das operadoras de telefonia.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

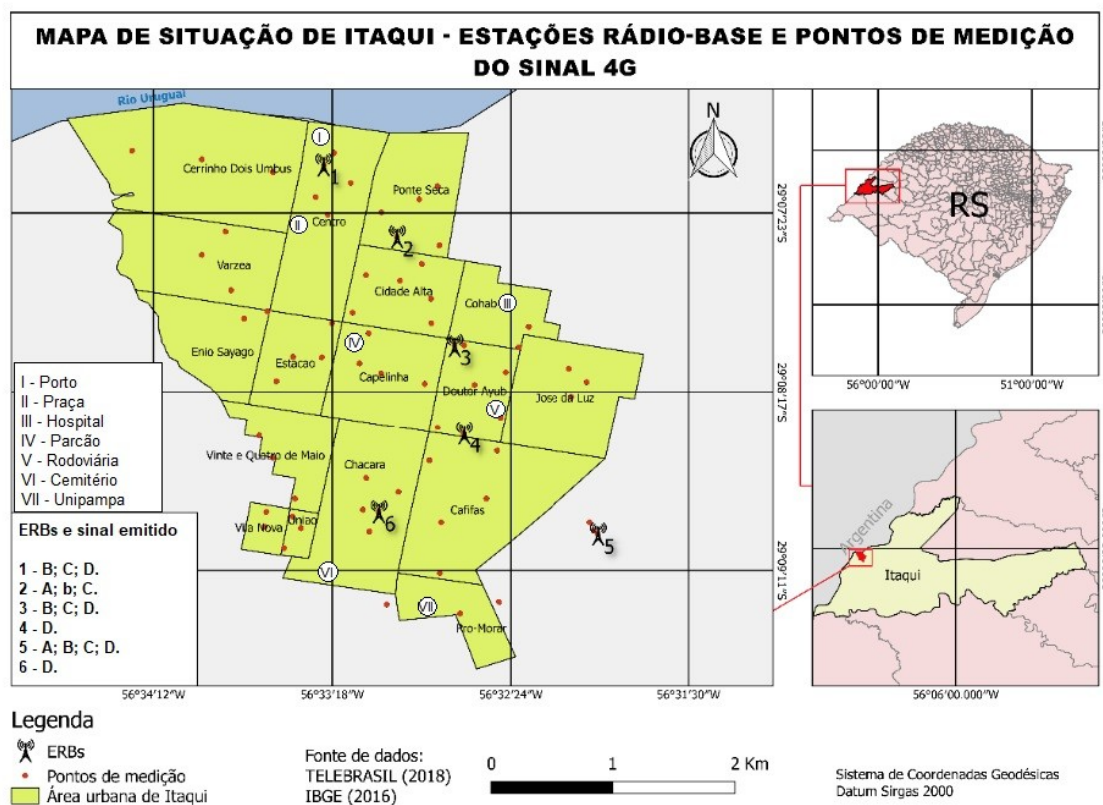
O local de estudo foi a área urbana do município de Itaqui, localizada entre as latitudes -29° 6' 49" S e -29° 9' 40" S e entre as longitudes -56° 31' 43" S e -56° 34'



38" S. O município está localizado na fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul. A área urbana de Itaqui está representada na figura 1.

O município conta com uma população estimada de 39.012 pessoas em uma área de 3.406,606 km² e está localizado às margens do Rio Uruguai. O município faz divisa com os municípios de Alegrete, Maçambará, Manoel Viana, São Borja e Uruguaiana, no Brasil, e La Cruz e Alvear, na Argentina. (IBGE, 2018b).

Figura 1 - Mapa de situação da área de estudo - cidade: Itaqui, ERBs e pontos de medição.



Fonte: Autores.

3.2. DADOS ESPACIAIS

Os dados cartográficos de base utilizados para este estudo são oriundos da malha territorial de 2016 do IBGE (IBGE, 2016) para os municípios brasileiros.

Esta etapa de levantamento de campo consistiu na visita aos locais de instalação das ERBs. A visita aos locais foi realizada com o intuito de verificar a existência das ERBs nos locais indicados e para registrar a posição precisa das mesmas. Uma vez verificada a localização das ERBs, foi realizado no respectivo local o rastreamento das coordenadas geodésicas das mesmas. Para tanto, foi utilizado um receptor GNSS RTK Leica Viva GS15 RTK. A base realizou um rastreamento de 5 horas. Conforme constatado por Keller (2016), é possível conseguir resultados com erro de posicionamento inferiores a 2 cm com rastreios de no máximo 5 segundos. Além disso, segundo Tameirão (2017), o receptor GNSS RTK possibilita o posicionamento em tempo real de uma estação móvel a partir das correções diferenciais geradas em uma estação base. Foi determinado um ponto do qual foi instalado um piquete e neste foi posicionada



uma base de rastreamento da metodologia RTK e com *rover* foi coletado os pontos nas localizações das ERBs. Os dados da base foram enviados para o PPP – IBGE, que conforme Tameirão (2017), é um serviço on-line gratuito, para o processamento de dados dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS), que permite a determinação de coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000.

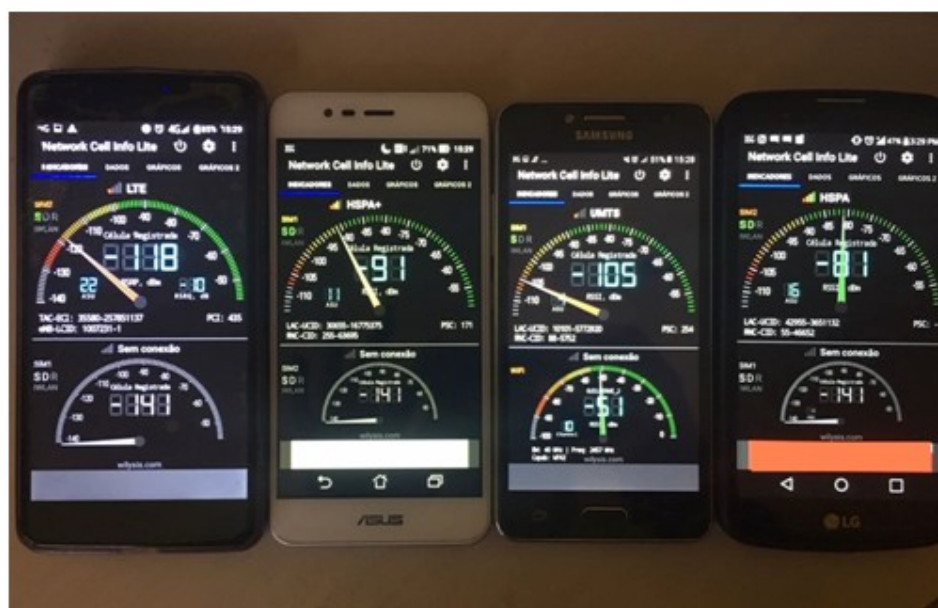
3.3. TESTES DE RECEPÇÃO DO SINAL 4G

A coleta dos pontos de cobertura foi realizada por meio do rastreamento de sinal promovido por quatro *smartphones*, sendo estes BlackView P2®, LG K10 Novo®, Samsung Galaxy J2 Prime® (SM-G532MT) e ASUS ZenFone 3 Max®, cada um destinado a realizar as medições para uma das operadoras. Nos *smartphones* utilizados foi instalado o aplicativo Network Cell Info Lite® (WILYSIS, 2018), que exibe informações detalhadas sobre o sinal recebido pelo telefone celular. Na figura 2 é possível observar os aparelhos telefônicos utilizados e o aplicativo instalado nos mesmos.

As medições de intensidade de sinal foram realizadas nos locais de interesse público, sendo estes: universidade, cemitério, rodoviária, hospital, porto da cidade, praça central e um parque. No concernente à distribuição de pontos de teste ao longo da sede urbana, determinou-se como critério de seleção o centroide de cada bairro. Para cada bairro foram feitas duas medições adicionais, com o intuito de identificar variações ao longo de suas extensões.

Por motivos de fácil acesso, as medições foram realizadas apenas em ambientes externos.

Figura 2 – *Smartphones* utilizados para a medição do sinal 4G, com o aplicativo de medição ativo.



Equipamentos cedidos pela empresa Agrosul – Agricultura de Precisão e Assessoria Agrônômica Ltda.³

Fonte: Autores.

³ Disponível em: <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm> . Acesso em: 04 mai. 2019.



3.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SIG

O tratamento das informações coletadas foi realizado a partir de uma integração dos SIGs ArcGIS (ESRI, 2014) e QGIS 2.14.4 Essen (QGIS, 2018), além do *software* de cálculo de planilhas eletrônicas LibreOffice Calc®. (LIBREOFFICE, 2018).

As informações de campo - coordenadas do local e intensidade do sinal 4G por operadora - foram materializadas em um arquivo shapefile de pontos criado no SIG QGIS, junto com o auxílio do complemento *NumericalDigitize*. As informações referentes à intensidade do sinal foram associadas aos pontos via tabela de atributos, para posteriores processamentos.

Em posse do shapefile de pontos e suas respectivas informações associadas, foi realizada a importação do mesmo no SIG ArcGIS. Também foi realizada a importação de um shapefile referente à área urbana de Itaquí e seus bairros.

Para fins de determinação das análises, foram testados diferentes interpoladores disponíveis no ArcToolBox, dos quais os que se destacaram foram a Ponderação pelo Inverso da Distância (*Inverse Distance Weighted - IDW*) e a Função de Base Radial (FBR). O expoente do IDW foi igual a 2 e o *kernel* do FBR foi o inverso multiquadrático. Foi realizada a validação cruzada para o erro dos pontos de medição e o IDW apresentou a menor raiz quadrada média (RMS) para o erro, conforme tabela 1, e portanto, foi eleita como interpolador para as análises subsequentes. O erro foi calculado ao se utilizar a ferramenta Assistente de Geoestatística.

Tabela 1 - Raiz quadrada média (RMS) dos erros para os interpoladores IDW e FBR.

Interpolador	Operadora	Raiz quadrada média (dBm)	Erro médio (dBm)
IDW	A	26,662	23,233
	B	26,775	
	C	17,577	
	D	21,9175	
FBR	A	26,760	23,346
	B	26,778	
	C	17,739	
	D	22,107	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a execução do interpolador IDW, no ArcGIS foi acessada a ferramenta ArcToolbox / Ferramentas do *Spatial Analyst* / Interpolação / IDW. Para este processamento, foi definido como parâmetro de entrada o arquivo vetorial com as intensidades de sinal 4G, o valor Z foi o valor da medição, a extensão do processamento foi definida como igual a do shapefile da área urbana e o tamanho da célula 1,89687067564392E-04 graus decimais, que foi atribuído automaticamente pelo *software* e utilizado para todos os processamentos de interpolação IDW utilizados.



A classificação das superfícies interpoladas pelo IDW foi efetuada conforme a escala apresentada pelo aplicativo de medição, sendo esta: a) -54 a -98 dBm (ótimo); b) -99 a -108 dBm (bom); c) -109 a -118 dBm (moderado); d) -119 a -128 dBm (ruim); e) -129 a -140 dBm (péssimo); e, f) menor que -140 dBm (inexistente).

Após a obtenção das interpolações, foi realizada a exportação destas para o formato de arquivo *raster* “*.tif”. Os arquivos *raster* foram importados para o SIG QGIS, no qual foram recortados ao se utilizar como camada máscara os limites da sede urbana de Itaqui.

Para fins de cálculos de área, os recortes de imagem foram reprojatados para o Sistema de Referência de Coordenadas 31981 (SIRGAS2000 - UTM 21 S). A imagem reprojatada foi convertida em arquivo vetorial (poligonização). O arquivo de polígonos foi submetido ao modo de edição e em sua planilha foi inserida uma coluna na qual foi calculada a área. O cálculo de área foi realizado a partir da inserção da fórmula $\$area / 1000000$, conforme metodologia descrita por Gass e Silva (2016) que se refere à área em quilômetros quadrados. Após as alterações no arquivo vetorial, foi realizada a exportação da tabela de sua tabela de atributos para o formato de valores separados por vírgulas (CSV).

O arquivo “*.csv” resultante do cálculo de áreas foi importado para o *software* LibreOffice Calc. Os valores da tabela foram agrupados conforme os intervalos de medição do aplicativo de teste e recepção, e, então, foi realizada a soma das áreas dos intervalos.

As áreas de cobertura obtidas foram comparadas com a área da sede urbana, o que possibilitou estabelecer um comparativo entre a área coberta e o cumprimento com a exigência de cobertura de sinal definida pela Anatel (80%). Para este trabalho, foi considerada a área atendida pelos sinais de nível “ótimo”, “bom” e “moderado”.

4. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os pontos públicos são de interesse comum a todos os indivíduos de uma população, é importante que estes locais sejam atendidos por um serviço de 4G, dado que nestes locais se faz importante a comunicação. As medições realizadas nos locais públicos de Itaqui, permitiram constatar que em todos os locais de interesse público é possível a recepção de sinal 4G, como pode ser visualizado na tabela 2.

Para fins de pesquisa, foram considerados os pontos da cidade nos quais existe maior fluxo de pessoas, sendo estes:

- Universidade Federal do Pampa, devido a quantidade de pessoas reunidas diariamente neste local;
- Cemitério - devido a movimentação habitual nesses locais devido a ocorrência de óbitos, bem como a necessidade de comunicação decorrente;
- Rodoviária - devido ao fluxo diário de viagens de pessoas e objetos;
- Hospital - devido ao fluxo diário de pessoas e pela necessidade de qualidade de comunicação devido à necessidade de celeridade em todos os processos de comunicação, inclusive via sinal 4G;



- Porto – local de intenso fluxo de pessoas, especialmente em momentos de lazer;
- Praça Marechal Deodoro da Fonseca – localizada no centro da cidade, é ponto de encontro de pessoas; e,
- Parque Comendador Firmino Fernandes (Parcão) – parque no qual são realizados eventos e também há considerável fluxo de pessoas.

Convém destacar que os dados informados pelo aplicativo funcionam de tal forma que os índices mais próximos de -51 dBm correspondem às maiores intensidades de sinal. Em contrapartida, os índices próximos de -141 dBm. Com base nisso, foi possível verificar que de forma geral o sinal das operadoras nos pontos de interesse comum da cidade encontra-se em um nível razoável.

Tabela 2 – Sinal 4G nos pontos públicos de Itaqui, RS.

Local	Qualidade do Sinal por operadora (dBm)			
	A	B	C	D
Unipampa	-125	-137	-115	-115
Cemitério	-119	-118	-125	-130
Rodoviária	-96	-137	-100	-101
Hospital	-119	-87	-100	-108
Porto	-95	-129	-100	-109
Praça	-97	-75	-78	-85
Parcão	-103	-51	-111	-110

Fonte: Elaborada pelos autores.

A correta distribuição dos pontos amostrais é de grande importância para a realização de pesquisas. Como o local de estudo é agrupado em bairros e sua representação é feita em áreas, a adoção de centroides como pontos de referência se mostrou uma boa metodologia, pois o centroide é o ponto em que em todas as regiões vizinhas se encontra a mesma quantidade de áreas. Longley *et al.* (2013) destacam que a determinação do centroide é a maneira mais conveniente de resumir as localizações de um conjunto de pontos, pois permite identificar um ponto de equilíbrio em um local de estudo.

O tratamento das informações coletadas em campo permitiu a obtenção de uma camada vetorial de pontos, na qual foram inseridas em sua tabela de atributos a medida de intensidade de sinal para cada local de medição. No entanto, a representação pontual apenas expressa os parâmetros do local de medição, e portanto, se faz necessária a utilização de processos que estendam a informação para todo o território de interesse. A determinação dos centroides também acrescentou a possibilidade de arbitrar mais pontos de coletas, em localidades estabelecidas mediante o posicionamento de pontos de medição intermediários.



A interpolação dos dados permitiu a obtenção de uma provável superfície de cobertura de sinal para cada operadora. De fato, este tipo de processamento tem sido utilizado por diversos autores e em diferentes temáticas, como a distribuição de precipitações através de krigagem realizada por Belladonna e Vargas (2017), krigagem e IDW para o mapeamento de manchas de óleo e graxa em zonas portuárias, desenvolvido por Souza (2017).

Por sua natureza preditiva, que estabelece um possível valor para cada localização a partir de medições em locais próximos, a interpolação de dados IDW é um método de interpolação eficaz para a demonstração do comportamento de variáveis que variam ao longo do espaço. Conforme Longley *et al.* (2013), o IDW é o método mais comumente utilizado para a interpolação de dados, e emprega a lei de Tobler, que considera as médias ponderadas das medidas conhecidas mais próximas para prever o valor do ponto a ser determinado. Além disso, convém ressaltar que a principal característica do IDW é estimar valores de um campo contínuo para locais onde não há medições disponíveis.

A utilização do IDW para as medições realizadas resultou em quatro mapas de cobertura de sinal 4G, sendo estes o mapa de cobertura de sinal 4G para as operadoras A, B, C e D.

4.1. ANÁLISE QUANTITATIVA DO SINAL 4G PELAS OPERADORAS A, B, C E D NA CIDADE DE ITAQUI

A análise quantitativa da área de cobertura das operadoras A, B, C e D pode ser verificada na figura 3. Nota-se que para a operadora A, a área de cobertura de sinal de qualidade foi de 63,95%, bastante inferior à cobertura mínima exigida pela ANATEL (ANATEL, 2018), que é de 80% (Figura 3a). É possível verificar ainda a existência de uma área de 14,10% onde não há cobertura de sinal representa um local que merece atenção e investimento por parte da empresa fornecedora de sinal de telefonia móvel 4G.

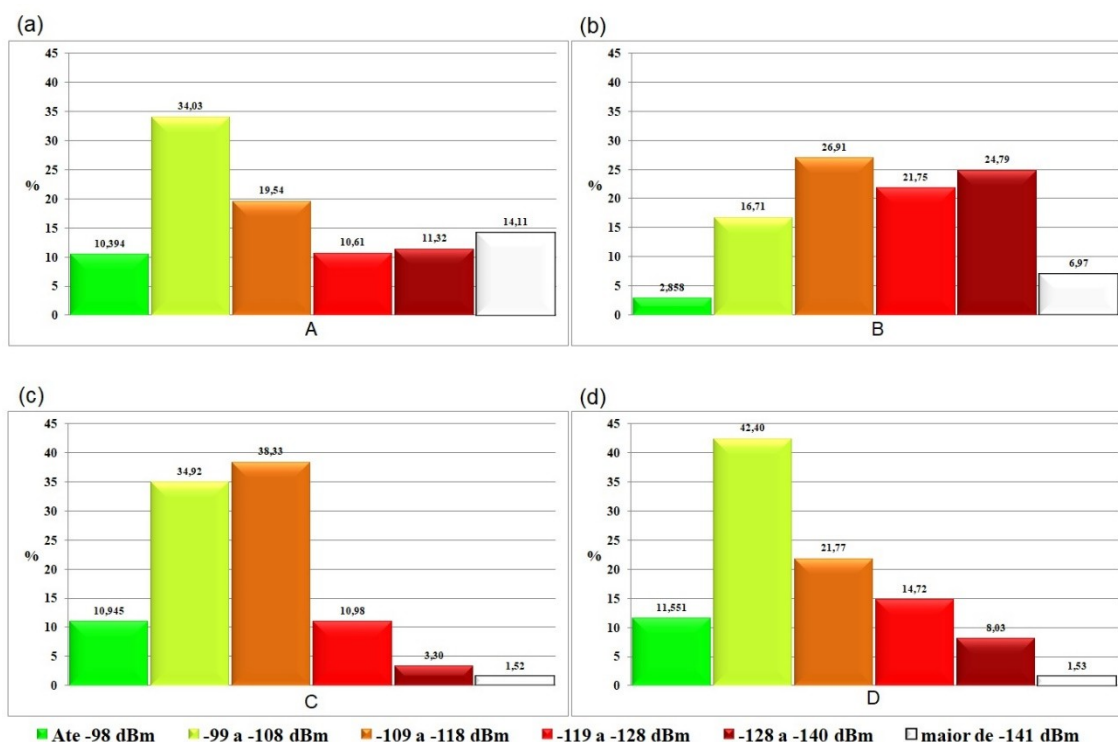
Com relação a área atendida pelo sinal 4G a operadora B alcançou apenas 2,86% de cobertura de sinal 4G de intensidade ótima, acompanhado de apenas 16,71% de área atendida por sinal de boa intensidade (Figura 3b). O total de cobertura aceitável chegou a 46,48%. A análise do gráfico da figura 3b demonstra ainda que para a total cobertura de sinal 4G na área urbana do local de estudo ainda permanecem 6,97% de pontos nos quais provavelmente não há cobertura do sinal. Dessa forma, tais locais representam demandas para as melhorias do serviço de sinal.

Para a operadora C verificou-se que o sinal ótimo passou a 10,95% da área total da cidade, além de que 34,92% da área são atendidas por sinal de boa qualidade. Estes dados podem ser visualizados na figura 3c. A área de cobertura efetiva (ótima, boa e moderada) foi de 84,19%, o que atende aos requisitos de cobertura da ANATEL. Para esta operadora as áreas com inexistência de sinal correspondem a apenas 1,52% da área total da cidade, demonstrando que a operadora atinge praticamente a totalidade da área de interesse, com predominância dos sinais de nível “bom” e “moderado” (Figura 3c).



Já para a operadora D o cálculo de áreas de cobertura permitiu constatar que praticamente metade da área de estudo (42,40%) contam com sinal de qualidade “boa”. Além disso, também ocorre a cobertura de 11,55% de áreas com sinal “ótimo”, totalizando assim mais da metade da área de estudo coberta por sinal de nível satisfatório (43,95%) (Figura 3d). No entanto, estas áreas cobrem apenas 75,72% da área da cidade, o que representa um desafio de melhoria para a operadora. A figura 3d aponta também que a operadora D conta com uma área de inexistência de sinal de apenas 1,53% da área total da cidade, necessitando apenas de otimizações referentes a intensidade do sinal nas porções mais a oeste da área de estudo.

Figura 3 - Percentual de área de cobertura de sinal 4G para cada operadora de telefonia móvel na cidade de Itaqui-RS, medida em decibel milliwatt(dBm): a)A; b)B; c)C; e, d)D.



Fonte: Autores.

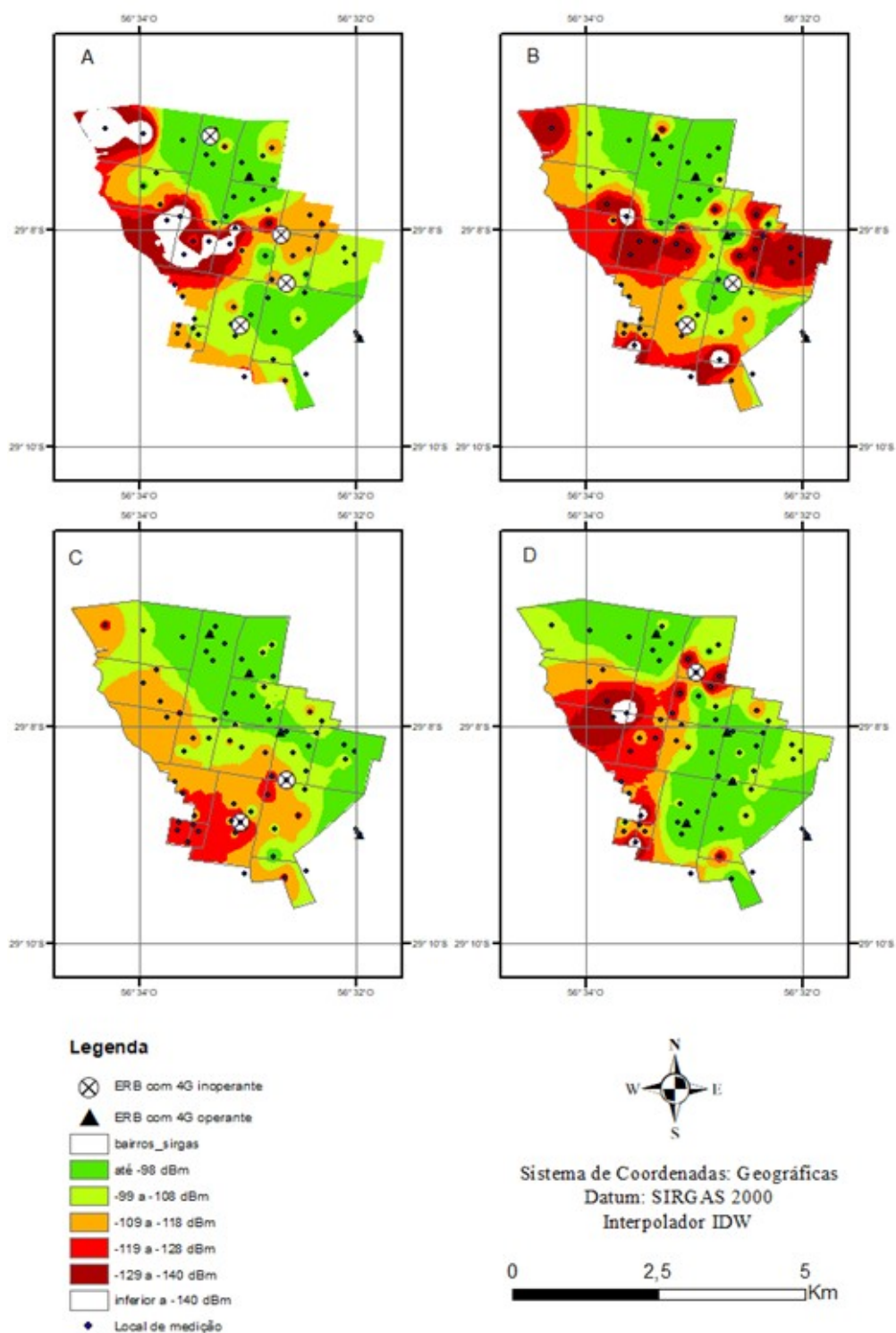
4.2. ANÁLISE QUALITATIVA DO SINAL 4G PELAS OPERADORAS A, B, C E D NA CIDADE DE ITAQUI

A interpolação dos valores encontrados nos pontos de medição resultou em mapas de áreas de influência do sinal 4G recebido ao longo da cidade para as quatro operadoras estudadas, que estão disponíveis para visualização na figura 4.

Para a operadora A, a análise qualitativa do mapa apresenta as porções norte e sul da cidade com o melhor serviço de sinal 4G (maior intensidade), enquanto que as áreas mais a oeste apresentam locais de sinal péssimo ou inexistente (Figura 4a). Ainda em tempo, é possível verificar que as áreas de maior intensidade de sinal estão localizadas nas proximidades das ERBs com antenas da operadora A instalada (Figura 4a).



Figura 4 - Mapa de cobertura de sinal 4G para as operadoras A, B, C e D na cidade de Itaqui, RS.



Fonte: Autores.

O mapa de cobertura do sinal 4G em Itaqui, para a operadora B, pode ser visualizado na figura 4b, o qual demonstra que a área de cobertura da operadora B na cidade de Itaqui atende praticamente toda a extensão territorial da sede urbana, com apenas alguns pontos de inexistência do sinal. A análise qualitativa do mapa possibilitou



identificar que as áreas de melhor atuação do sinal 4G encontram-se na porção norte da cidade, enquanto que a área sul da cidade conta com alguns pontos de sinal ótimo e em média sinal moderadamente bom (Figura 4b). As áreas leste, oeste, noroeste e extremo sul apresentam locais de sinal ruim ou nenhum sinal (Figura 4b).

A operadora de telefonia C foi a que mais se destacou pela qualidade de sinal, com aproximadamente metade do território da cidade alcançado pelo sinal 4G em nível “bom” e “ótimo”, conforme análise visual que pode ser realizada através da consulta ao mapa de cobertura disponível na figura 4c.

O sinal emitido pela operadora D, conforme análise qualitativa oriunda do mapa disponível na figura 4d, apresenta-se principalmente nas regiões norte e sudeste da cidade, porém com grande predominância do sinal de qualidade ótima (até -98 dBm).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes de recepção permitiram constatar que apenas a operadora C atende ao requisito de cobertura igual ou maior a 80% da área de serviço, enquanto as demais operadoras não atingem este parâmetro.

A ocorrência de menor intensidade nas proximidades da área mais à esquerda da sede urbana de Itaquí pode ser associada à disposição das antenas ao longo da cidade, instaladas principalmente nas áreas mais a leste. Além disso, o fato das operadoras não possuírem antenas instaladas em todas as ERBs se mostrou expressivo, de tal forma que a operadora A, com antenas instaladas apenas nas ERBs 2 e 6 foi a que mais apresentou locais de inexistência de sinal. Não obstante, as demais operadoras, com maior número de antenas instaladas, apresentaram melhores resultados de cobertura, principalmente as operadoras C e D.

Ainda em tempo, cabe ressaltar que as áreas ao extremo sudoeste dos mapas temáticos obtidos foram consideradas para a geração do modelo IDW, de forma que o recorte da área (processo de *clip* em *raster*) foi realizado apenas após a geração do modelo, e portanto, não houve supressão de variáveis. A ocorrência de pontos fora do perímetro urbano é decorrente de uma antena estar instalada na porção externa ao perímetro urbano, porém direcionada para o mesmo, fornecendo sinal para os usuários residentes na cidade. Além disso, embora os dados oficiais dos limites da cidade sejam oriundos de fontes oficiais, na realidade a cidade já conta com áreas de expansão para além dos limites relacionados.

Por fim, vale ressaltar que a geração do modelo foi realizada a partir de dados coletados diretamente com *smartphones* de uso pessoal, com o intuito de verificar o sinal recebido pelos usuários finais atendidos pelas empresas fornecedoras de sinal de telefonia móvel. Com relação à qualidade de sinal, esta pode variar conforme as condições climáticas, instalação de novos equipamentos, alvos físicos que causem anomalias na transmissão do sinal, destacando-se o fato de que foi desconsiderado áreas internas na obtenção do sinal neste estudo, bem como demais interferência de ordem técnica inerentes a cada dispositivo de recepção e seu estado de conservação.

A integração dos SIGs ArcGIS e QGIS permitiu a realização de procedimentos de geoprocessamento que foram cruciais para a realização deste trabalho,



demonstrando-se a versatilidade e eficácia destes *softwares* para o tratamento das informações referentes aos fenômenos ocorridos na Terra.

6. REFERÊNCIAS

ANATEL, 2012. Agência Nacional de Telecomunicações. **Licitação nº 004/2012/PVCP/SPV**. Disponível em: http://www.anatel.gov.br/Portal/verifica_Documentos/documento.asp?numero-Publicacao=287817&ass. Acesso em: 02 abr. 2018.

ARENAS, Alexander Arnesto; CASTILLA, Wilson Angarita. Identificação de um método quantitativo para a avaliação da qualidade ambiental de centros educacionais próximos à antenas de estações base de telefonia. **Tecnura**, v.21, 2017.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CUNHA, Gilvan Carvalho. **Eventos de interrupção**: estudo em Estações Rádio-Base (ERBs) de uma operadora de telefonia móvel. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

®ESRI. **ArcGIS for Desktop**, version 10.3. Environmental Systems Research Institute Inc, Califórnia, EUA, 2014.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GASPAR, Joaquim Alves. **Cartas e projeções cartográficas**. 3. ed., Lisboa: Lidel, 2005.

GASS, Sidnei Luis Bohn; SILVA, Dieison Morozoli da. **Cálculo de áreas em arquivos raster (poligonização)**. Disponível em: https://www.academia.edu/26099669/Cálculo_de_áreas_em_arquivos_raster_poligonização. Acesso em: 06 jun. 2018.

GHILANI, Charles D.; WOLF, Paul R. **Geomática**. 13. ed., São Paulo: Pearson. 2013.

GONÇALVES, Elaine de Paiva; GOMES, Carlos Francisco Simões. Modelo de tomada de decisão para seleção de tecnologia de empresas prestadoras de serviços de telefonia móvel. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2005.

GUIMARÃES, Guilherme M.; ALMEIDA, Daniel B.; MARCUZZO, Francisco F. N. SIG na construção de diagramas unifilares das estações f, FD, P, Pr além das UHE, PCH, CGH das sub-bacias 80 a 84 na bacia hidrográfica do atlântico - trecho sudeste. **Poster** apresentado em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17848/2/poster_2.pdf. Acesso em: 22 mai. 2018.

IBGE, 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha territorial de municípios 2016**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 jun. 2018.



IBGE, 2018a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Suplemento Acesso à Internet e à Televisão e Posse de Telefone Móvel Celular para Uso Pessoal - 2013 a 2015**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnad/suplementos/aceso-a-internet-e-a-televisao-e-posse-de-telefone-movel-celular-para-uso-pessoal>. Acesso em: 03 abr. 2018.

IBGE, 2018b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Itaqui, RS**. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 04 abr. 2018.

IZARIO, Bruno Rodrigues Ferraz; AKAMINE, Cristiano. Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TC digital. **Set Expo Proceedings**, v.1, p.57- 65, 2015.

KELLER, Kaique Martins. **Qualidade de coordenadas geodésicas em diferentes métodos de posicionamento por GNSS para fins de Cadastro Técnico Municipal**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2016.

LIBREOFFICE. **LibreOffice The Document Foundation**. Disponível em: <https://pt-br.libreoffice.org/>. Acesso em: 24 abr. 2018.

LONGLEY, Paul A. *et al.* **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed., Porto Alegre: Bookman, 2013.

MENEZES, Paulo Márcio Leal de.; FERNANDES, Manoel do Couto. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

QGIS Development Team, 2018. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 23. abr. 2018.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; OLIVEIRA, Luiz Antônio de. Construção de modelo no QGIS e utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico - AHP para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de Paracatu - MG. **Caminhos de Geografia**, v.18, n.61, p.01-18, mar. 2017.

RIBEIRO, Gilberto Pessanha; SANTOS, Artur Willcox dos. Ensaios laboratoriais em segmentação de imagens de parte do litoral norte paulista como requisito aos mapeamentos regionais de uso da terra e cobertura vegetal. **Brazilian Journal of Geomatics**, v.5, n.2, 2017.

TAMEIRÃO, Thainan Tammy. **Relatório de estágio curricular obrigatório: atividades de georreferenciamento**. 2017. Relatório - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2017.

TELECO. **Teleco - Inteligência em Telecomunicações - Seção 4G**. Disponível em: http://www.teleco.com.br/4g_cobertura.asp. Acesso em: 22 mai. 2018.

TELEBRASIL. **Associação Brasileira de Telecomunicações: mapa de ERBs de Itaqui, RS**. Disponível em: <http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/mapa-de-erbs-antenas>. Acesso em: 22 mai. 2018.

TULER, Marcelo.; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de Geodésia e Cartografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016.



XAVIER, Jonas *et al.* Estudo da evolução da telefonia móvel no Brasil. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 6., 2006, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

© WILYSIS. [Software]. Network Cell Info Lite. Disponível em: <http://wilysis.com/networkcellinfo>. Acesso em: 01 jun. 2018.

Submetido em: **04/05/2019**

Aceito em: **24/07/2020**