

Sistema de Medição e Análise de Qualidade de Redes Celulares Móveis

Vitor A. Carazza, Jorge G. S. Santos, Eduardo C. R. Da Costa, Mateus A. Rocha, Ugo S. dias

Resumo— Este artigo apresenta um sistema baseado em *crowdsourcing* criado para medição de parâmetros de redes celulares por meio de *smartphones*, utilizando um aplicativo desenvolvido para o Sistema Operacional Android e uma plataforma computacional em servidores remotos para cálculos e agregação dos dados obtidos. Devido à dificuldade em mapear problemas nas redes celulares, o sistema proposto tem por objetivo ser uma ferramenta online e transparente aos usuários e operadoras, de forma a ajudar não somente o cliente a escolher seu prestador de serviço, mas também proporcionar análises úteis às operadoras e que possam contribuir para o melhoramento da cobertura celular.

Abstract— This article presents a crowdsourcing system developed to measure parameters of cellular networks through user's smartphones, using an application based on Android Operating System and on a remote server platform to run calculations and aggregate the obtained data. Due to the difficulty of mapping issues in cellular networks, the proposed system aims to be an online and transparent tool for users and operators in order to help not only the customer to choose their service provider, but also to provide useful analyzes to operators that may contribute to the improvement of cellular coverage.

Palavras-Chave— Android, Cobertura de Redes Celulares Móveis, Crowdsourcing, Big-data.

Keywords— Android, Mobile Cellular Network Coverage, Crowdsourcing, Big-data.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço da sociedade moderna, a tecnologia se faz cada vez mais presente no cotidiano do ser humano. Melhorias nas comunicações digitais possibilitam a disseminação de informações ao redor do mundo em questões de segundos, figurativamente quebrando barreiras geográficas ao criar pontes de comunicação globais.

É possível notar, nos últimos anos, um enorme crescimento na indústria de comunicação sem fio, tanto se tratando de novas tecnologias que surgem a todo momento quanto do número de adeptos dessa indústria. Dessa forma, operadoras de telefonia móvel exercem um papel fundamental para o funcionamento desse complexo sistema. Há, porém, a necessidade de melhorias e adaptações nos equipamentos de comunicação utilizados por essas companhias para que a qualidade do serviço prestado apresente nível adequado de excelência para os usuários.

Atualmente há pouca abordagem a respeito da medição de qualidade de sinal celular na literatura acessível ao público,

Os autores pertencem ao Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, e agradecem o apoio da Secretaria Nacional do Consumidor e do Ministério da Justiça. E-mails: vitor.carazza@redes.unb.br, jorge.guilherme@redes.unb.br, eduardo.calandrini@hotmail.com, mateus.rocha@redes.unb.br e udias@unb.br.

pois grande parte dos métodos são desenvolvidos e mantidos em sigilo pelas próprias empresas. Devido a essa carência de informação foi desenvolvido o sistema de medição descrito neste artigo. O estado da arte sobre este tema, apesar de não ser vasto, é de extrema importância para visualizar pontos falhos e possíveis aprimoramentos nos estudos de cobertura de qualidade de redes móveis.

Um estudo [1] realizado por alunos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul possuiu uma abordagem comparativa para analisar a qualidade dos sinais de celular. Foram escolhidos como parâmetros de comparação as taxas de *download* e *upload* instantâneas e médias de celulares com chips de quatro operadoras do Brasil. Esse estudo averiguou qual operadora disponibiliza maiores taxas e também foi capaz de identificar situações onde uma melhor intensidade de sinal não significou maior taxa de transferência de dados.

Em um âmbito internacional, alunos da Aalborg University, na Dinamarca, compararam o desempenho e a acurácia de um aplicativo de medição de sinal, no estilo *crowdsourcing* para Android, com os mesmos parâmetros de aparelhos específicos para análise de sinal (telefones celulares e scanner de frequências de rádio). Por meio dos resultados coletados os alunos conseguiram afirmar que o aplicativo é capaz de medir e apresentar informações sobre a qualidade das redes celulares com acurácia surpreendentemente similar a dos aparelhos específicos para tal finalidade [2].

As conclusões dos estudos e artigos mencionados nos parágrafos anteriores comprovam a eficácia do método proposto e desenvolvido neste artigo e a necessidade de sua implementação. Como diferencial dos trabalhos realizados, é possível correlacionar todas as informações obtidas no sistema, como por exemplo, intensidade do sinal com velocidade, modelo de celular, ERB conectada, entre outros. Nas próximas seções, serão abordados aspectos técnicos do sistema desenvolvido e algumas validações experimentais realizadas pela ferramenta.

II. O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema proposto consiste na coleta de dados das redes celulares e no processamento desses dados para obtenção de resultados quanto à qualidade dos serviços de comunicação. Os dados são obtidos por meio dos *smartphones* e, neste primeiro momento, apenas dispositivos com o sistema operacional *Android* são utilizados devido principalmente à facilidade de implementação. Por meio de uma *API (Application Programming Interface)* disponibilizada pelo *Google* [3], é possível obter diversas informações sobre a rede celular sob a

perspectiva do usuário, as quais serão discutidas nos próximos itens.

O sistema baseia-se em *crowdsourcing* devido à grande diversidade de *smartphones* disponíveis no mercado que são populares entre os usuários de aparelhos celulares. O termo *crowdsourcing* pode ser entendido como a terceirização de um trabalho, tradicionalmente realizado por um único responsável, para um grupo indefinido, geralmente grande de pessoas/dispositivos.

Essa estratégia gera benefícios tanto para os clientes quanto para as prestadoras de serviço móvel. Para o cliente que utilizará o serviço móvel, as informações coletadas e apresentadas no sistema desenvolvido indicam o cenário de qualidade da rede mais próximo da realidade, visto que foram obtidas dos próprios usuários do serviço de comunicação. No caso das prestadoras de serviço, o trabalho para realizar uma medição de campo para testar a qualidade da rede em uma certa região envolve equipamentos caros, equipe profissionalizada e recursos da empresa, o que acaba diminuindo o interesse destas em realizar esses testes e consequentemente identificar as falhas em sua rede.

A. Funcionamento geral

Tendo em vista a necessidade de uma ferramenta escalável e compatível com a maioria dos dispositivos móveis, o sistema proposto neste artigo considerou e implementou, desde o início do seu desenvolvimento, os conceitos mais modernos em compatibilidade de dispositivos móveis, linguagens de programação, sistemas de *big-data* e segurança da informação.

Os usuários visualizam os dados de qualidade da rede móvel por meio de um aplicativo em seu *smartphone*, no qual são exibidos os dados referentes à intensidade do sinal para diferentes regiões representadas por hexágonos em um mapa. O formato hexagonal foi escolhido pela facilidade em encaixar os formatos e cobrir a superfície terrestre. Assim, cada hexágono representa uma coleção de medições (pontos) e possui como propriedade principal a média aritmética das intensidades de sinal de todos os pontos contidos em sua área, com o valor dessa média associado a uma cor para melhor visualização.

Os intervalos de cores para os hexágonos foram atribuídos conforme as regras a seguir, comumente usadas no âmbito de telecomunicações. Futuramente, caso haja necessidade de alterar esses intervalos, basta mudar este parâmetro no sistema e automaticamente os hexágonos irão aplicar a nova regra.

- Verde (boa qualidade): Maior ou igual a -80 dBm;
- Amarelo (média qualidade): Menor que -80 dBm e maior ou igual a -90 dBm;
- Vermelho (má qualidade): Menor que -90 dBm;

Devido ao tamanho da base de usuários e da quantidade de dados, o sistema precisou ser dividido em duas partes principais: uma parte mais leve, em execução nos *smartphones* chamada *cliente*, responsável por coletar os dados e oferecer uma interface amigável ao usuário, e uma parte responsável pelo armazenamento dos dados e execução de cálculos em larga escala, que está sendo executada em um conjunto de servidores remotos de grande capacidade de processamento. Essas duas partes são discutidas nas seções a seguir.

B. Componente de aplicativos (clientes)

O aplicativo é baseado na linguagem de programação Java, por ser o padrão de aplicações *Android*, e visa adquirir as seguintes informações básicas do celular: intensidade do sinal, nome da operadora de telefonia celular, tecnologia em que o aparelho está operando e a localização do dispositivo. As seguintes informações também são obtidas, porém ainda não as utilizamos completamente nas análises:

- Informações sobre o dispositivo: nome popular, modelo, versão do software, nível de bateria, entre outros.
- Taxa de erro de bit (*BER*), porém apenas quando conectado em uma rede GSM.
- Velocidade, altitude e a precisão da localização obtida.
- Tipo de conexão com a internet: *Wi-Fi*, redes móveis, entre outros.
- Informações sobre as ERBs (Estação Rádio Base), tanto as que o aparelho está conectada quando às vizinhas, tais como o número identificador, data do último *reset*, código do país (*MCC*), código de operadora (*MNC*), código de área (*TAC* e *LAC*), entre outros.
- Canal de frequência utilizado (*RFC*), tanto no enlace de subida quanto no enlace de descida.

Para a obtenção dessas informações foram utilizadas bibliotecas disponibilizadas pela empresa *Google* em sua API [3], cuja implementação também seguiu as recomendações indicadas. Ao iniciar o aplicativo pela primeira vez, o usuário deve se cadastrar no sistema disponibilizado para ser identificado e atrelar sua identificação a todas as medições feitas por meio de seu aparelho. Esse recurso permitirá que o usuário visualize os dados enviados por ele e que o aplicativo possa realizar *drive-tests*, uma espécie de rastreamento do sinal por onde o usuário se locomover, possibilitando que o cliente não apenas visualize os resultados globais da sua região, mas também os dados obtidos do seu próprio dispositivo.

O aplicativo funciona na maior parte do tempo em segundo plano, verificando periodicamente se há informações novas a serem enviadas ao servidor. O período de envio de dados é pré-definido ao inicializar o aplicativo e atualizado por um parâmetro configurado no servidor. Um aspecto importante e fundamental para cumprir o objetivo do sistema é a funcionalidade de salvar os dados em um banco de dados local quando não for possível enviar os dados para o servidor. Dessa forma, caso o dispositivo fique sem conexão com a internet ou esteja em uma região de baixa qualidade de rede, o aplicativo irá salvar os dados obtidos e os enviará quando possuir conectividade à rede novamente.

Já em primeiro plano, o usuário pode verificar as informações de rede no mapa do *Google Maps*, onde são apresentados os hexágonos sobrepostos junto a uma legenda de cores para facilitar o entendimento do usuário. Nos menus superiores, é possível selecionar a operadora e a tecnologia que deseja visualizar, junto com algumas configurações extras. Dentre elas, a possibilidade de mostrar a localização das ERBs de cada operadora, utilizando as informações públicas da base de antenas da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) [4].

C. Componente dos servidores

Os servidores são divididos em duas partes principais: um servidor de banco de dados e um servidor de aplicação. O servidor de banco de dados é responsável por armazenar os dados coletados pelos *smartphones*, enquanto o servidor de aplicação é responsável por tratar os dados recebidos dos *smartphones*, fazer as verificações necessárias e enviar os dados na formatação correta para o banco de dados.

Devido à alta capacidade de processamento dos servidores, eles são as entidades responsáveis por realizar todos os cálculos complexos que poderiam impactar no funcionamento do aplicativo nos *smartphones*, o que deixa a aplicação mais leve e responsiva. Esse cuidado com a experiência do usuário é essencial para o funcionamento de um aplicativo baseado em *crowdsourcing*, uma vez que é necessário atrair o maior número possível de pessoas para formar uma grande base de usuários. Nesse aspecto, o consumo de bateria e dados móveis são as duas componentes principais que podem afetar a adesão por parte dos usuários. Portanto, as funcionalidades existentes no sistema foram criadas e desenhadas buscando a otimização desses recursos no sistema como um todo.

O funcionamento dos servidores possui dois tipos básicos de interação com os clientes: gravação e leitura de dados. As gravações de dados se referem a cada uma das medições que são enviadas pelos *smartphones*, enquanto as operações de leitura se referem à obtenção de informações do servidor que devem ser visualizadas pelos usuários.

Para cada novo ponto medido é disparada uma ação de atualização do hexágono que contém o novo ponto. Primeiro, o ponto é recebido pelo servidor de aplicação e as informações são verificadas. Após a verificação, o valor da potência em dBm é convertido para mW e é feito o cálculo de média de intensidade de sinal envolvendo o novo ponto e todos os demais contidos no hexágono correspondente. Por fim, o valor da média das intensidades de sinal nesse hexágono é imediatamente atualizado.

Para as operações de leitura, o aplicativo envia ao servidor algumas informações para filtrar e agregar os hexágonos que serão visualizados. Essa agregação consiste em calcular a média (em mW) para as diferentes tecnologias em cada categoria (2G, 3G e 4G) e então fazer a conversão para dBm. Para evitar que haja tráfego de dados excessivo e desperdício da franquia de dados dos usuários, o aplicativo comunica o servidor informando uma região retangular (em termos de latitude e longitude) que deve ser usada para filtrar os hexágonos. O servidor de aplicação valida esses dados e então faz a consulta no banco de dados, retornando para o cliente uma lista de hexágonos e seus respectivos valores de média de intensidade de sinal.

O sistema foi construído utilizando tecnologias e padrões já existentes, entre os quais destacam-se o servidor de aplicação escrito em *NodeJS*. Esta é a linguagem, de *IO* não-bloqueante, que faz a interface com os clientes, recebendo e verificando as requisições antes de realizar as gravações e leitura do banco de dados.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para mostrar o funcionamento do sistema como um todo, foram feitas uma série de medições na região da Asa Norte, em Brasília. Os experimentos foram realizados, para a rede 4G, com cinco aparelhos e quatro operadoras de telefonia móvel distintas, cujos nomes não serão divulgados neste trabalho e serão representadas por “Operadora 1”, “Operadora 2”, “Operadora 3” e “Operadora 4”.

A. Montagem do experimento

A associação entre cada operadora e modelo de celular foi atribuída de forma aleatória e apresentada na Tabela I. Para padronizar as condições de posicionamento entre os celulares, foi confeccionado um suporte (Figura 1), de forma a manter os dispositivos estabilizados e na mesma polarização durante todo o período do experimento.

TABELA I
MODELOS DE CELULAR E RESPECTIVAS OPERADORAS.

Modelos de celular	Operadora
Motorola Moto G Play	Operadora 1
Sony Xperia Z3	Operadora 2
Samsung Galaxy S7 Edge	Operadora 2
Samsung SM-G360BT	Operadora 3
LG Nexus 5x	Operadora 4



Fig. 1. Suporte confeccionado para os celulares.

É importante ressaltar que diferentes níveis de potência são obtidos dependendo do estado do dispositivo móvel. Quando uma ligação está em andamento, por exemplo, o sistema celular aumenta significativamente a potência de transmissão para garantir certa qualidade na comunicação. Da mesma forma, quando o dispositivo móvel está trafegando dados na rede móvel, as potências emitidas pela ERB e pelo celular são superiores comparativamente às do estado *idle*, em que o dispositivo encontra-se sem atividade na rede.

Durante o experimento realizado, os dispositivos coletaram informações da rede e as enviaram para o servidor a um período (configurável) de 2 segundos. Como as informações foram enviadas por meio da própria rede móvel do dispositivo celular, o resultados obtidos se referem à cobertura da rede de dados móveis e não podem ser utilizados para representar a cobertura do serviço de voz.

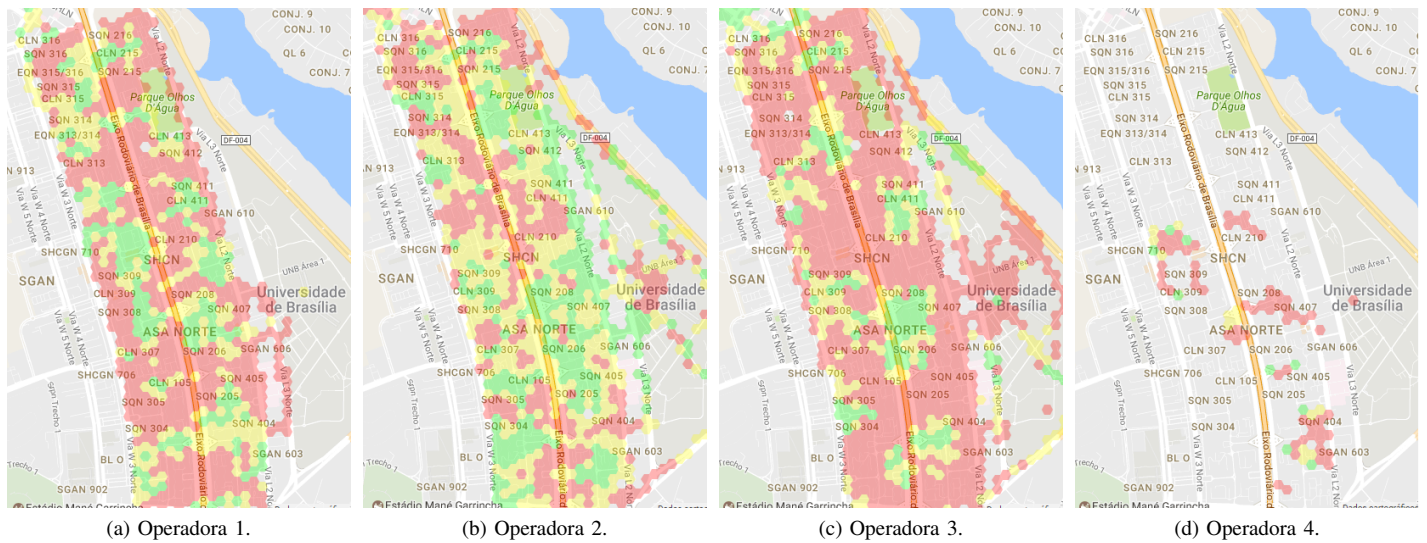


Fig. 2. Dados obtidos para cobertura de rede celular 4G para diversas operadoras.

B. Análise dos dados

Na Figura 2 são apresentadas as telas dos aplicativos contendo as medições realizadas para cada operadora na rede 4G. Analisando a figura, ficam evidentes as diferenças de cobertura e qualidade entre as operadoras e também a delimitação da região na qual foram feitos os testes. No caso da Operadora 4, dificilmente o dispositivo conectava-se na rede 4G, permanecendo na maior parte do experimento na rede 3G.

Assim, é possível perceber que este tipo de visualização, agrupada em hexágonos, é útil para o cliente pois permite analisar de forma rápida e eficiente a qualidade do sinal em sua região de interesse. Claramente, por meio das figuras, a Operadora 2 se destaca no número de hexágonos de boa qualidade, seguido das Operadoras 1, 3 e 4, respectivamente. Entretanto, como cada cor representa uma faixa de valores, pode-se cometer um equívoco ao associar qualidade somente às cores dos hexágonos, ou seja, não há informação suficiente para afirmar se os sinais dos hexágonos amarelos estão concentrados perto da extremidade superior (-80 dBm) ou perto da inferior (-90 dBm) da escala.

Dessa forma, para realizar uma análise mais detalhada, a função densidade de probabilidade (do inglês, *Probability Density Function* - PDF) é apresentada na Figura 3, da qual foi retirada a Operadora 4 devido ao número pequeno de hexágonos obtidos no experimento. Por meio das PDFs, confirma-se que a Operadora 2 apresentou uma qualidade superior à das outras duas operadoras, devido principalmente à sua forma menos dispersa e concentrada na potência de -88 dBm, enquanto as Operadoras 1 e 3 apresentaram uma cobertura com quantidade significativa de potência nas zonas mais inferiores, perto da região de -100 dBm.

Como de costume no setor de telecomunicações, há um interesse maior em determinar a probabilidade de que um sinal esteja acima de um limiar (*threshold*), definido neste artigo como *confiabilidade*, o qual pode ser calculado como $R(x) = 1 - CDF(x)$, onde CDF é a função de distribuição acumulada (do inglês, *Cumulative Distribution Function* - CDF). O gráfico da

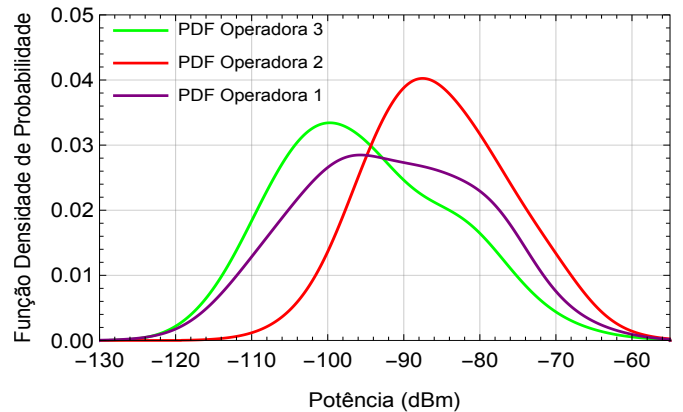


Fig. 3. Gráfico das PDFs dos hexágonos obtidos por operadora.

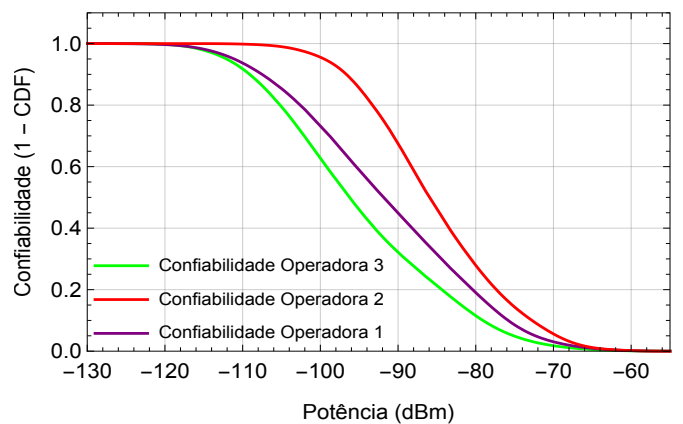


Fig. 4. Gráfico da confiabilidade da intensidade do sinal obtido por operadora.

confiabilidade pode ser observado na figura 4, onde fica claro, por exemplo, que a probabilidade de se estar em uma região de boa qualidade (≥ -80 dBm) é maior para a Operadora 2, seguido das Operadoras 1 e 3, respectivamente.

Como informação adicional, no momento da captura das

telas apresentadas, havia 1,43 milhão de medições salvas no banco de dados. Entretanto, devido à forma pela qual a comunicação entre aplicativo e servidor foi estabelecida, foram necessários, em média, apenas 75 MB de dados da franquia contratada, somando os enlaces de subida e o de descida. Na prática, no contexto *crowdsourcing* em que o aplicativo se enquadra, o período de coleta de dados será bastante inferior aos 2 segundos configurados, o que acaba gerando um consumo de dados mensal muito pequeno e sem prejuízos para o usuário do aplicativo.

Conforme mencionado na descrição do projeto, os dados referentes à estação rádio base em que o dispositivo está conectado também são enviados ao servidor. Com o intuito de mostrar possíveis cenários de estudo sobre a lógica de *handoffs* e dados individuais coletados por um cliente, apresenta-se na Figura 5 um trecho das medições coletadas da Operadora 2, junto às informações de posicionamento das estações rádio base, circuladas para melhor visualização.

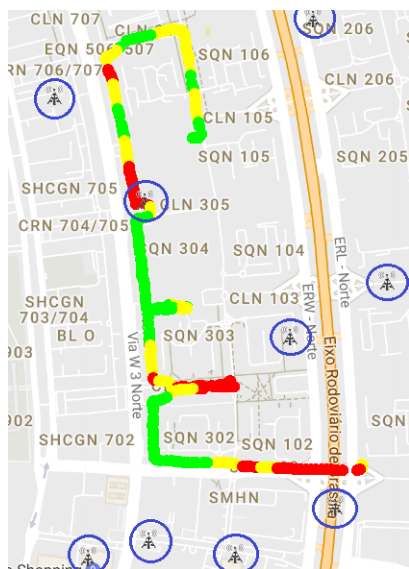


Fig. 5. Potência obtida e estações rádio base: Operadora 2.

Já na Figura 6, o mesmo sinal coletado é apresentado ao longo do tempo, sendo que cada cor representa uma estação rádio base distinta em que o dispositivo estava conectado.

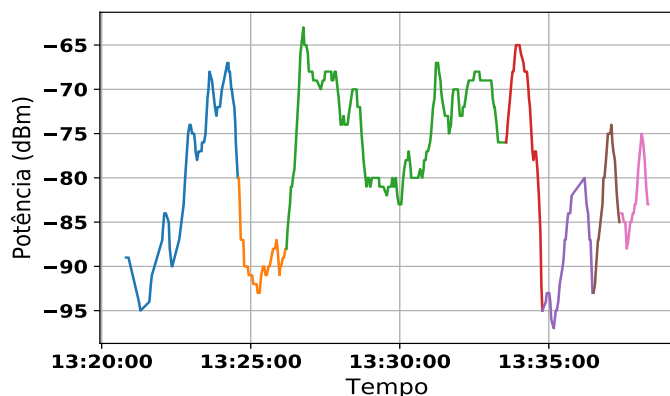


Fig. 6. Potência recebida pelo dispositivo ao longo do tempo: Operadora 2.

IV. ESTUDOS E TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO

Neste artigo foram apresentadas apenas algumas das funcionalidades existentes do sistema, porém existem uma série de outros recursos que ainda estão em desenvolvimento e serão implementados na ferramenta. Dentre os mais importantes, destaca-se a possibilidade dos usuários registrarem reclamações com base nas informações obtidas no momento em que vivenciaram problemas no serviço.

Outro recurso que já está em desenvolvimento na ferramenta é um *ranking* entre as operadoras de determinada região. A ideia é mostrar, baseado em uma análise estatística parecida com a deste artigo, quais operadoras oferecem o melhor serviço naquela área em questão. Por último, apesar de não ter sido apresentado neste artigo por estar em fase de desenvolvimento, o sistema atual já é capaz de medir a taxa de transferência de dados efetiva experimentada pelo usuário. Junto com o dado de potência obtido no mesmo instante do teste de velocidade, é possível confeccionar hexágonos cuja informação principal seja a taxa de dados em função da potência obtida.

V. CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido e descrito neste artigo tem por finalidade ser uma ferramenta de consulta aos usuários e operadoras, de forma a ajudar não somente o cliente a escolher seu prestador de serviço, mas também proporcionar informações úteis às operadoras referentes à qualidade do serviço oferecido.

Os resultados apresentados mostram uma pequena porção da gama de possíveis análises a serem realizadas. Junto com os estudos e trabalhos em desenvolvimento mencionados, a proposta de um sistema baseado em *crowdsourcing* vai ao encontro das tendências atuais do mercado e soa promissor para atender às atuais dificuldades em mapear e consequentemente solucionar problemas nas redes celulares por parte das operadoras.

REFERÊNCIAS

- [1] Saymon Della Flora, William Lautenschläger, Roberto Costa Filho, Valter Roesler, "Um método para análise comparativa de qualidade entre operadoras de serviço de dados da rede celular.", 2016, Instituto de Informática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [2] Mads Lauridsen, Ignacio Rodriguez, Lars Moller Mikkelsen, Lucas Chavarria Gimenez, Preben Mogensen, "Verification of 3G and 4G Received Power Measurements in a Crowdsourcing Android App.", 2016, IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
- [3] Google Inc., "Developers' reference", Abril 2017 [Online]. Disponível em: <https://developer.android.com/reference/classes.html>
- [4] Sistemas da Agência Nacional de Telecomunicações, Abril 2017 [Online] Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/stel/>
- [5] A. Nikraves, H. Yao, S. Xu, D. Choffnes, and M. Mao, "Mobilyzer: An open platform for controllable mobile network measurements.", Proceedings of MobiSys, Maio 2015.
- [6] S. Sonntag, J. Manner, L. Schulte, "Netradar - Measuring the wireless world.", 11th International Symposium on Modeling Optimization in Mobile, Ad Hoc Wireless Networks, Maio 2013, pp. 29-34.
- [7] S. Rosen, S.-J. Lee, J. Lee, P. Congdon, Z. Mao, K. Burden, "MCNet: Crowdsourcing wireless performance measurements through the eyes of mobile devices", Communications Magazine, IEEE, vol. 52, no. 10, pp. 86-91, Outubro 2014.
- [8] J. Yoon, S. Sen, J. Hare, S. Banerjee, "WiScape: A Framework for Measuring the Performance of Wide-Area Wireless Networks.", Mobile Computing, IEEE Transactions on, vol. 14, no. 8, pp. 1751-1764, 2015.