



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC



CONECTIVIDADE E INCLUSÃO DIGITAL PARA SÃO PAULO

ACESSO, DISPONIBILIDADE E DESEMPENHO DAS PRAÇAS DIGITAIS

RELATÓRIO R2 - VERSÃO 7 - AVALIAÇÃO DO USO DE STREAMING DE
VÍDEO EM PRAÇAS DO PROGRAMA WIFI LIVRE SP

Prof. Sérgio Amadeu da Silveira, UFABC (coordenador)

Santo André, Dezembro de 2015.

CONECTIVIDADE E INCLUSÃO DIGITAL PARA SÃO PAULO

Equipe de Projeto

Coordenador

Prof. Dr. Sérgio Amadeu da Silveira – CECS/UFABC

Pesquisadores Principais

Prof. Dr. Claudio Luis de Camargo Penteado – CECS/UFABC

Prof. Dr. Carlos Alberto Kamienski – CMCC/UFABC

Colaboradores

Waleska Barbosa da Silva

Juliano Ratusznei

Nilton Queiroz Pinheiro

Raul Iago Ataíde de Souza Melo

Paulo Roberto Elias de Souza

Renata Faleiros Camargo Moreno

Resumo

O programa WiFi Livre SP está sendo desenvolvido pela prefeitura de São Paulo com o objetivo de tornar a Internet mais acessível ao cidadão, disponibilizando sinal WiFi livre e gratuito em praças, parques e outros locais públicos. O projeto “Conectividade e Inclusão Digital para São Paulo” é uma parceria da Universidade Federal do ABC (UFABC) com a Prefeitura de São Paulo que visa estudar os efeitos da Internet, em suas múltiplas dimensões, na vida dos cidadãos e das comunidades atendidas pela política de abertura de sinal de rede sem fio do programa Wi-Fi Livre SP. Esses estudos têm a finalidade de gerar dados para fomentar a implementação e avaliação de uma política pública de acesso gratuito a Internet por meio de rede sem fio. Independente do modelo utilizado para abrir o sinal WiFi à população, sempre haverá a necessidade de mensurar e divulgar métricas de desempenho da rede que demonstram a qualidade e estabilidade da conexão oferecida à Internet. No caso do programa WiFi Livre SP foi adotado o modelo de contratação de empresas para prestação do serviço de conectividade.

Este relatório tem o objetivo apresentar uma análise do uso de vídeo em cinco praças do programa WiFi Livre SP, uma em cada região: centro, norte, sul, leste, oeste. Atualmente, a maior parte do tráfego da Internet é gerado por aplicações de vídeo que transmitem os dados continuamente (chamado de *streaming*). Segundo um estudo da CISCO, aplicações de streaming de vídeo geraram 67% do tráfego da Internet em 2014, percentual que deve subir para 80% em 2019 (CISCO 2015). Foi realizada uma análise de desempenho nas praças utilizando-se de métricas que avaliam tanto a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário, como a Qualidade de Serviço (QoS) da rede. Os resultados mostram que para diferentes praças, dias e níveis de qualidades de vídeo, na maioria das vezes o resultado é satisfatório para os usuários.

Sumário

EQUIPE DE PROJETO	2
COORDENADOR	2
PESQUISADORES PRINCIPAIS	2
COLABORADORES	2
RESUMO	3
SUMÁRIO	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
3. TRABALHOS RELACIONADOS	10
4. METODOLOGIA	11
4.1. CENÁRIO DOS EXPERIMENTOS	11
4.2. DESAFIO	12
4.3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	12
4.4. FATORES E NÍVEIS	13
4.5. DESCRIÇÃO E SELEÇÃO DAS PRAÇAS.....	13
4.6. PROCEDIMENTOS DAS MEDIÇÕES	18
4.7. MÉTRICAS	18
5. RESULTADOS	19
5.1. QUALIDADE DO SERVIÇO (QOS).....	19
5.2. QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA.....	22
6. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1. Introdução

Em 2014 a Prefeitura de São Paulo iniciou a implantação do programa WiFi Livre SP¹, desenvolvido com o objetivo de tornar a Internet mais acessível ao cidadão, disponibilizando sinal WiFi livre e gratuito em praças, parques e outros locais públicos. O programa WiFi Livre SP tem o objetivo de implantar 120 praças digitais, das quais em novembro de 2015, o website do programa contabilizava 120 em operação, atendendo todos os 96 distritos da Capital. Nestas praças digitais o acesso é irrestrito e gratuito a qualquer cidadão, que pode fazer uso da rede por meio de diferentes dispositivos, como notebooks, tablets ou smartphones. O programa tem a coordenação da Secretaria Municipal de Serviços com apoio técnico da PRODAM - Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo.

O projeto “Conectividade e Inclusão Digital para São Paulo” é uma parceria da Universidade Federal do ABC (UFABC) com a Prefeitura de São Paulo que visa estudar os efeitos da Internet, em suas múltiplas dimensões, na vida dos cidadãos e das comunidades atendidas pela política de abertura de sinal de rede sem fio do programa Wi-Fi Livre SP. Esses estudos têm a finalidade de gerar dados para fomentar a implementação e avaliação de uma política pública de acesso gratuito a Internet por meio de rede sem fio. Os estudos e dados obtidos são importantes ferramentas para a gestão da política de conectividade e inclusão digital, que além de medir os efeitos da política, também permite fazer os ajustes e correções necessárias, condições necessárias para uma maior efetividade e eficácia da ação, como também auxiliar no desenvolvimento de novos projetos voltados para o aprofundamento da inclusão digital e promoção da cidadania.

Existem diferentes modelos de implantação de redes Wi-Fi de acesso gratuito em uma municipalidade, que podem variar de situações onde o poder público é proprietário de toda a infraestrutura de rede ou usa conexões alugadas a modelos onde uma ou várias empresas privadas realizam o serviço mediante um contrato. Independente do modelo utilizado, sempre haverá a necessidade de mensurar e divulgar métricas de desempenho da rede que demonstram a qualidade e estabilidade da conexão oferecida à Internet. No caso do programa WiFi Livre SP foi adotado o modelo de contratação de empresas para prestação do serviço de conectividade.

Devido a atual popularidade dos dispositivos móveis e sua crescente utilização em locais públicos, a disponibilização de Internet tem se tornado um serviço cada vez mais importante ao redor do mundo. Tanto estabelecimentos privados quanto órgãos públicos têm priorizado o oferecimento de Internet para seu público alvo, visando ganhar maior permanência nos locais onde o serviço é oferecido e possibilitando ao usuário acessar e produzir conteúdo e compartilhar para qualquer lugar do mundo.

Diversas são as iniciativas pelo mundo que procuram democratizar o acesso a Internet. A rede Iperbole², por exemplo, é uma iniciativa da cidade de Bologna, que oferece 220 pontos de acesso sem fio, onde os usuários se conectam utilizando *login* e podem acessar durante 3 horas por dia, em sessões diferentes e locais diferentes. Um serviço semelhante é oferecido pela Câmara Municipal de Milão³, que provê acesso a diversos locais no centro da cidade gratuitamente a partir do registro do usuário na rede.

¹ <http://wifilivre.sp.gov.br>

² <https://servizi.comune.bologna.it/fascicolo/web/fascicolo/home>

³ <http://info.openwifimilano.it/en/index.aspx>

Na rede privada também estão surgindo projetos para fornecer internet de forma gratuita. A Coca-Cola⁴ em parceria com a BT Global Services⁵ oferece Internet em tecnologia sem fio para diversas comunidades rurais na África do Sul⁶. A infraestrutura fica instalada em quiosques localizados estrategicamente perto de centros comerciais e escolas.

Tanto iniciativas privadas quanto iniciativas públicas cumprem uma finalidade social ao contribuir com a inclusão digital, mas também atendem aos usuários em suas necessidades pessoais, escolares, profissionais e de entretenimento. Surge então a necessidade de utilizar aplicações que carreguem mais informação agregada e maior sensação de proximidade, tal como o vídeo. De acordo com Biwass et al. (2015), aplicações de vídeo e música constituem a maior fração do uso da Internet, somando em 34% do total. Aplicações de vídeo permitem que o usuário produza conteúdo e compartilhe com outros usuários, visualize conteúdos produzidos por usuários, tenha acesso a conteúdos educacionais à distância, participem de reuniões à distância etc.

Dada a atual importância das aplicações de vídeo, esse relatório apresenta a avaliação de desempenho de aplicações de streaming de vídeo em locais públicos com Internet sem fio aberta. Os locais utilizados para o experimento foram diversas praças da cidade de São Paulo, que participam do Programa WiFi Livre SP, desenvolvido com o objetivo de tornar a Internet mais acessível ao cidadão, disponibilizando sinal WiFi livre e gratuito em praças, parques e outros locais públicos. Para avaliar o desempenho das aplicações de vídeo foram utilizadas métricas que avaliam tanto a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário, como a Qualidade de Serviço (QoS) da rede. Os resultados confirmam que as métricas de QoS e QoE estão intimamente relacionadas e comprovam disparidade entre as praças com relação à qualidade de visualização de vídeos. Algumas praças permitem a visualização com qualidade adequada de vídeos com taxa de codificação de até 1200 Kbps, enquanto que outras geram desconfortos aos usuários (número e tempo de congelamento do vídeo) que impedem uma experiência satisfatória com bom nível de qualidade.

Na sequência deste relatório, a seção 2 apresenta o referencial teórico, a seção 4 detalha a metodologia utilizada para realizar as coletas, processamento e análise de dados, a seção 5 apresenta os principais resultados e finalmente a seção 6 apresenta algumas conclusões e caminhos para investigações futuras.

2. Referencial Teórico

Sociedades inteligentes em todo o mundo precisam encontrar soluções para as principais tendências que irão mudar o mundo e o modo como vivemos nas próximas décadas. Nesse contexto, uma área de importância especial para o nosso futuro é o desenvolvimento de infraestrutura urbana. Uma análise de *megatendências* globais para a sociedade do futuro baseada em dezenas de projetos de pesquisa e conduzida por governos, agências e especialistas concluiu que até 2020 haverá um grande avanço no modo como a tecnologia pode apropriar-se da inteligência coletiva da sociedade para gerar conexão, colaboração, inovação e vida urbana sustentável (ver projeto Almere

⁴ <http://www.cocacola.com.br/>

⁵ <https://www.globalservices.bt.com>

⁶ <http://www.coca-colacompany.com/stories/bridging-the-digital-divide-coca-cola-bt-deliver-wifi-access-to-rural-communities-in-south-africa/>

Smart City⁷). Conforme Schaffers et. al (2011) a sociedade deveria explorar totalmente o potencial de uma infraestrutura digital inteligente que conecta pessoas, negócios e a vida urbana, suportando inovação colaborativa, consciência coletiva e criação compartilhada de serviços sustentáveis⁸. Dentro dessa perspectiva, a União Europeia está financiando o desenvolvimento de plataformas computacionais dentro da iniciativa Europe 2020 chamado *Collective Awareness Platforms for Sustainability and Social Innovation*⁹, que são sistemas TIC para alavancar o “efeito de rede” para criar novas formas de inovação social através da combinação de mídias sociais online abertas e dados e conhecimentos distribuídos advindos de ambientes reais (conhecido como Internet das Coisas, ou Internet of Things).

Cidades Inteligentes desempenham um papel significativo nas sociedades inteligentes uma vez que as cidades são habitadas por mais da metade da população mundial, consomem 80% da energia mundial e são responsáveis por 70% da emissão total de dióxido de carbono (KPMG 2012). Apesar do conceito de cidades inteligentes ter um foco em sustentabilidade, ele possui um escopo mais amplo do que questões de energia. O projeto europeu Smart Cities¹⁰ define Cidade Inteligente como aquela que apresenta bom desempenho em seis características relacionadas com a visão estratégica de futuro: Economia Inteligente, Pessoas Inteligentes, Governança Inteligente, Mobilidade Inteligente, Ambiente Inteligente e Moradia Inteligente (Giffinger et. Al 2007).

Para que os conceitos de sociedades inteligentes e cidades inteligentes sejam implementados e se tornem realidade, existem necessidades mais básicas que devem estar disponíveis a todos os cidadãos em todos os momentos. A principal delas é o acesso à rede livre e irrestrito. Existem vários esforços nesse sentido, alguns que partem do poder público e outros dos próprios cidadãos. Diversas cidades mundiais já estão adotando políticas de abertura de sinal de rede sem fio para acesso à Internet, principalmente pelo uso da tecnologia Wi-Fi, possuindo variações quanto a área de abertura do sinal: Kuala Lumpur/ Malásia (livre nas áreas comerciais), Singapura (livre), Bangkok/ Tailândia (grátis para os cidadãos, financiado pela True Corporation), Bolonha/ Itália (livre por 3 horas diárias), Dublin/ Irlanda (livre na área central), Paris/ França (livre em algumas áreas públicas como parques, bibliotecas, etc), Quebec/ Canadá (livre, financiado comunitariamente), Houston/ EUA (livre no centro e bairros próximos), Miami/ EUA (livre na maior parte da cidade)¹¹. Essas redes são frequentemente chamadas de Redes Municipais Sem Fio ou MuniWi-Fi (BAR & PARK 2006).

Nas grandes cidades brasileiras, a infraestrutura de acesso à Internet além de precária, em termos de qualidade e velocidade, está localizada nas regiões centrais e mais abastadas. A periferia muitas vezes não tem acesso a rede, ou quando tem utiliza conexões precárias conhecidas como o “gatonet”, devido à inexistência de acessos comerciais ou mesmo livres. Desta forma, o passo inicial para uma política de inclusão digital passa pela abertura de sinal, principalmente em banda larga de forma a permitir que os cidadãos tenham amplo acesso as diversas possibilidades da cibercultura. Sousa et al (2009: 13) argumentam que a banda larga possui a característica de externalidade de rede: “a cada novo acesso instalado, maior é a utilidade da rede para todos os

⁷ <http://www.unescap.org/idd/events/2012-Colombo-meeting/2-3-Mr-Seongtak-oh.pdf>

⁸ <http://amsterdamsmartcity.com/projects/detail/label/Almere%20Smart%20Society?lang=en>

⁹ <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/collective-awareness-platforms>

¹⁰ <http://eu-smartcities.eu>

¹¹ A lista completa está disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Municipal_wireless_network.

usuários”. Assim, o efeito social (e econômico) de uma política pública de abertura de sinal é maior que o preço pago por ele, cabendo ao poder público, em parceria com o mercado e com a sociedade civil, desenvolver programas e ações voltados para ampliar o acesso da população à Internet.

No Brasil podemos destacar os exemplos das cidades de Vitória/ ES, São Vicente/ SP e Pitangueiras/ PR. O projeto Vitória Digital¹² disponibiliza tecnologias que permitem que qualquer cidadão possa acessar a web utilizando recursos de uma rede sem fio (wireless), sem a necessidade de um provedor comercial, com o objetivo de promover à inclusão digital, apoio ao turista e o desenvolvimento econômico. O sinal aberto está disponível em dez áreas da cidade. O projeto São Vicente Digital¹³ prevê a disponibilização do acesso a Internet em banda larga sem fio gratuita para todo o cidadão, por meio da tecnologia de wireless. Os objetivos desse projeto é possibilitar a produção de conhecimento e o acesso à informação de maneira descentralizada, contribuir para a geração de emprego e renda e consequentemente inclusão social. Inicialmente está previsto a instalação de sete áreas com sinal aberto, para no futuro atingir todo o município. No município de Pitangueiras, no norte do Paraná, foi inaugurado em 2009 o programa de inclusão digital pela abertura de sinal, através de rede sem fio. O sinal aberto atinge toda a área urbana e 80% da zona rural¹⁴. Os benefícios esperados são: desenvolvimento tecnológico, melhoria na gestão pública, fomento do empreendedorismo, qualificação profissional e a alfabetização digital.

A Google também tem um plano de se tornar um provedor gratuito de acesso sem fio em grandes cidades do mundo. Inicialmente a gigante empresa de TI está desenvolvendo uma experiência na cidade de Mountain View/California (EUA), sede da empresa. É uma rede sem fio municipal financiada e instalada pela companhia, que abrange toda a área da cidade e está aberta para o uso de todos seus habitantes e visitantes.

Existem movimentos que tentam estimular os cidadãos a abrirem o sinal das suas redes Wi-Fi privadas e assim obter uma maior cobertura de sinal com maior qualidade a um custo menor para o poder público (SCHMIDT e TOWNSEND 2003). O Open Wireless Movement¹⁵ busca um futuro onde em qualquer ambiente urbano do mundo haja várias redes abertas permitindo que diferentes usuários usando diferentes dispositivos possam se conectar automaticamente e onde a população tem uma mentalidade de compartilhamento. Entre os benefícios esperados pelo movimento estão facilitar a inovação, beneficiar o desenvolvimento econômico, possibilitar a introdução de novos serviços, auxiliar a transposição da exclusão digital e auxiliar pessoas em trânsito. Existem também iniciativas que combinam redes Wi-Fi públicas e privadas de sinal aberto formando uma grande rede colaborativa (HERR 2010).

O resultado dos estudos realizados em locais públicos com acesso a Wi-Fi apresentam revelações importantes. Por exemplo, HAMPTON et. al (2010) mostram que o uso da Internet em espaços públicos permite interações sociais mais variadas do que usar outros meios de comunicação como o telefone celular. Eles argumentam que as atividades online em espaços públicos contribuem para uma maior participação em assuntos da esfera pública, como a obtenção de níveis mais altos de engajamento democrático e social.

¹² <http://www.vitoria.es.gov.br/setger.php?pagina=oquee>

¹³ <http://svdigital.saovicente.sp.gov.br/projeto.php>

¹⁴ <http://www.fiepr.org.br/cidadedigital/FreeComponent18087content142321.shtml>

¹⁵ <http://openwireless.org>

Existem diferentes modelos de implantação de redes Wi-Fi de acesso gratuito em uma municipalidade, que podem variar de situações onde o poder público é proprietário de toda a infraestrutura de rede ou usa conexões alugadas a modelos onde uma ou várias empresas privadas realizam o serviço mediante um contrato (EVENEPOEL et. al 2012). Independente do modelo utilizado, sempre haverá a necessidade de mensurar e divulgar métricas de desempenho da rede que demonstram a qualidade e estabilidade da conexão oferecida à Internet (HEER et. al 2010) (WEISS & HUANG 2007).

Essa área, conhecida como Qualidade de Serviço (QoS), vem sendo amplamente estudada e utilizada pela comunidade de redes de computadores há várias décadas. É essencial que o poder público da municipalidade tenha controle sobre os níveis de qualidade obtidos a partir da abertura do sinal, para que as políticas e o orçamento possam ser efetivamente usados para gerar qualidade para o cidadão. Existem fatores limitantes, no entanto. O padrão IEEE 802.11, no qual Wi-Fi é baseado, estabelece um serviço de melhor esforço, onde os elementos de rede não garantem níveis específicos de qualidade. A alocação da capacidade de rede é realizada de maneira dinâmica, sob demanda, o que frequentemente torna impossível garantir que todos os usuários tenham o mesmo nível de serviço. A vantagem desse modelo é a sua maior eficiência, comparado com outros modelos que alocam a largura de banda de maneira estática.

Redes Wi-Fi utilizam uma faixa do espectro de frequência que não é alocada para nenhuma finalidade específica e portanto pode ser usada para diferentes finalidades, como equipamentos médicos, eletrodomésticos e diferentes tecnologias de rede. Uma vantagem visível dessa abordagem é a facilidade com que qualquer usuário pode criar a sua própria rede Wi-Fi. Isso está cada vez sendo mais utilizado por usuários de banda larga fixa, que sempre recebem de brinde um ponto de acesso Wi-Fi e criam um rede sem fio residencial. Empresas, estabelecimentos comerciais e as mais diferentes instituições também estão a todo momento criando as suas próprias redes Wi-Fi com muita facilidade. Por outro lado, essa liberdade gera problemas para a garantia de desempenho de uma praça digital, uma vez que podem haver nos arredores uma grande variedade de dispositivos competindo pelo mesmo espectro de frequência e como consequência gerando interferências indesejáveis que prejudicam o desempenho de todos. Além disso, embora existam limites legais para a potência de transmissão que pode ser configurada nos equipamentos, com o objetivo de diminuir a interferência, nem todos os donos de equipamentos respeitam necessariamente essas restrições de boa convivência.

Para escapar dos problemas e garantir níveis adequados de desempenho, o projeto de localização e configuração dos equipamentos deve ser cuidadosamente elaborado e o resultado deve ser constantemente monitorado para que readaptações sejam feitas.

Uma grande variedade de métodos podem ser empregados para realizar uma avaliação de desempenho da qualidade do sinal oferecido. Uma rede de computadores é organizada seguindo uma abstração de camadas, onde cada camada adiciona uma nova funcionalidade à camada imediatamente inferior. O padrão mais aceito na comunidade é o modelo OSI da ISO que divide o software e hardware de rede em 7 (sete) camadas (TANENBAUM 2010). O desempenho de uma rede Wi-Fi pode ser avaliado na camada física, camada de rede ou transporte e camada de aplicação.

- a) Camada física: nessa camada é avaliado o nível de transmissão de sinal: nesse nível mede-se a intensidade do sinal, em geral a relação sinal/ruído, que determina a qualidade máxima possível no nível mais ligado à transmissão física através de ondas de rádio. Existem ferramentas de software e/ou

hardware específicos para realizar essas mediações, tanto gratuitos quanto comerciais. Algumas abordagens para medir a qualidade são a medição da intensidade do sinal como fator da distância física dos limites da área onde o acesso deve ser oferecido ou a medição da intensidade do sinal como fator da distância física de um ou mais pontos de acesso Wi-Fi

- b) Camada de rede ou transporte: várias métricas de desempenho podem ser obtidas nessas camadas, como atraso de pacotes, taxa de perda de pacotes, vazão (taxa de recebimento das informações), disponibilidade do acesso (tempo médio que o acesso está disponível) e estabilidade de roteamento. Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas, como as bem conhecidas *ping* e *traceroute*, além de ferramentas de gerenciamento de rede que utilizam o protocolo SNMP. Além dessas, podem ser utilizadas diversas outras ferramentas gratuitas e comerciais, como aquelas listadas no site CAIDA¹⁶.
- c) Camada de aplicação: na camada de aplicação são medidos diretamente os aspectos que definem a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário. Por exemplo, em aplicações de transferência de arquivos mede-se o tempo de conclusão e taxa de transferência de dados e em aplicações Web mede-se o tempo de carregamento de página.

3. Trabalhos Relacionados

O trabalho de Andreollo (2014) que aborda um estudo baseado em teste de qualidade de sinal de radio frequência e taxa de transmissão entre aparelhos à medida que ambos vão se distanciando e dessa forma verificando qual o máximo de transmissão na rede local sem fio.

O trabalho desenvolvido por Sommers (2012) têm como objetivo entender o desempenho das redes móveis comparando o desempenho de redes celular e de WiFi utilizando de dados do Speedtest.net¹⁷ de uma multidão de usuários de uma determinada região. O estudo considera o desempenho espaço-temporal (*upload/download*) da taxa de transferência e *round trip time* conhecido como RTT). Ele utilizou mais de 3 milhões de testes iniciados pelos usuários de iOS e Android em 15 diferentes áreas metropolitanas. Os dados foram recolhidos ao longo de um período de 15 semanas.

Um artigo correlato em termos de medida de larga escala em lugares de conexão sem fio aberta ao público foi o trabalho de Ghosh (2011) que obteve métricas de vários lugares como restaurantes bares empresas e cafeterias de duas cidades dos estados unidos com o intuito de propor um modelo de utilização das redes públicas.

Biwass et al. (2015) utilizou-se do sistema Meraki¹⁸ o qual foi capaz de disponibilizar dados estatísticos com respeito à mais de 20.000 redes e encontrado uma grande variedade de dispositivos de clientes operando na faixa de 2,4 GHz com o padrão 802.11ac. Ele afirma que o uso global de clientes cresceu consideravelmente, impulsionada por aplicações de uso intensivo de banda tais como streaming de vídeo do YouTube¹⁹ e Netflix²⁰ e downloads de fotografias através das mídias sociais.

¹⁶ <http://www.caida.org/tools/>

¹⁷ Disponível em <http://www.speedtest.net/>

¹⁸ Sistema Meraki. Disponível em <https://meraki.cisco.com/>

¹⁹ YouTube é um site que permite usuários carreguem e compartilhem vídeos. Disponível em <https://www.youtube.com/>

²⁰ Netflix – aplicativo de streaming de séries e filmes online. Disponível em <https://www.netflix.com>

Segundo Biwass et al. (2015) as transmissões WiFi têm-se degradado nos últimos seis meses, mas não é proveniente da quantidade de pontos de acesso (AP) instalados. Também traz dados estatísticos referentes ao mês de janeiro de dois anos comparando a utilização do WiFi por aplicativos, sistemas operacionais, sites e diversos outros sistemas populares. A contribuição é que para todos os aplicativos que utilizam *streaming* de vídeo a demanda cresceu cerca de 75% em um ano.

Baik (2015) utiliza vários vídeos da Internet com diversas taxas de transferência, o trabalho deles foi comparar se os usuários percebem e abandonam os vídeos assistidos quando há congelamentos, baixa a qualidade e ou alta qualidade de exibição além de comparar métricas de classificação dos vídeos transmitidos, metodologia que poderá ser utilizado na comparação entre dois vídeos transmitidos.

Para Balachandran (2013) a transmissão de vídeo na Internet é uma oportunidade de medição da qualidade de experiência do usuário, ele propõe um modelo de como medir a qualidade de experiência do usuário ao assistir um vídeo. Basicamente é focado em três fatores: qualidade de aceitação do vídeo a qual não há relação, dependência entre qualidade do vídeo e métricas (taxa de transferência) nesse caso a taxa de transferência determina a quantidade de memória de *buffer* do vídeo, e fatores de confusão aos quais depende da aceitação do usuário pelo vídeo. No caso desse trabalho a utilização de métricas de taxa de transferência e memória de *buffer* e a sua compreensão são necessárias.

4. Metodologia

Este projeto visa estudar os efeitos da Internet, em suas múltiplas dimensões, na vida dos cidadãos e das comunidades atendidas pela política de abertura de sinal de rede sem fio Wi-Fi. Esses estudos têm a finalidade de gerar dados para fomentar a implementação e avaliação de uma política pública de acesso gratuito a Internet por meio de rede sem fio. A metodologia utilizada neste relatório tem por objetivo revelar informações que poderão ser utilizadas para aprimorar a abordagem da implementação técnica que baliza o projeto, instalação e operação das praças digitais.

O trabalho contido nesse artigo visa avaliar o desempenho das praças utilizando de streaming de vídeo como o principal indicador de qualidade. Foi realizada uma análise de desempenho nas praças utilizando-se de métricas que avaliam tanto a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário, como a Qualidade de Serviço (QoS) da rede. Essa seção está subdividida em cenários dos experimentos, ferramentas, fatores e níveis, descrição e seleção das praças, procedimento das medições e por último as métricas utilizadas.

4.1. Cenário dos experimentos

Pessoas que frequentam espaços públicos devem ter garantidos o direito de ir e vir, de expressão e de comunicação. A oferta de WiFi gratuito em locais públicos é uma ferramenta para permitir o exercício da cidadania e a inclusão digital possibilitando o acesso à Internet para a realização de atividades de naturezas variadas como interação social e entretenimento, acesso à informação e à educação e participação política.

Levando em conta esses aspectos quando o cidadão percebe que a prefeitura disponibiliza o sinal de WiFi livre e gratuito, resolve utilizar a rede para visualizar um email ou navegar nas redes sociais e com isso descobre que alguém enviou um vídeo. Logo ele seleciona o vídeo para assisti-lo e postar comentários.

O cenário descrito acima é o ideal quando o usuário consegue visualizar o vídeo e interagir com outros usuários a seu respeito. Entretanto, a qualidade da rede da rede é fundamental para permitir tal comportamento. Uma conexão lenta à Internet acarreta em desistência do usuário em utilizar o serviço, mas uma rede rápida gera satisfação e continuidade no seu uso.

4.2. Desafio

É importante ressaltar que usuários da Internet visualizam vídeos de diferentes qualidades em diferentes servidores alocados em locais geograficamente diferentes. E por essas características é comum ocorrer que um determinado vídeo exiba melhor do que em comparação a outro vídeo.

Vídeos alocados em determinados servidores podem ser classificados de acordo com tamanho, número de visualizações, entre outros, portanto é possível que um mesmo vídeo seja migrado para outro servidor à medida que essas características mudam. Por essas razões é um desafio avaliar um mesmo vídeo com qualidades diferentes, pois ambas as qualidades devem estar alocado em um mesmo servidor.

Solucionado o problema do servidor fica mais fácil mensurar a qualidade de experiência do usuário em utilizar uma praça digital para visualizar streaming de vídeo, permitindo responder se é possível o usuário visualizar de forma satisfatória vídeo nas diferentes praças e regiões da cidade de São Paulo.

4.3. Ferramentas Computacionais

Para realizar os procedimentos de medições identificou-se a necessidade de desenvolver algumas ferramentas baseados na transmissão de streaming, utilizando a linguagem Java juntamente com o pacote de desenvolvimento do VLC²¹ da versão 2.2.1. O VLC é um reprodutor multimídia livre, multi-plataforma, de código aberto. Desenvolveram-se dois programas baseado na estrutura cliente-servidor.

O programa servidor de vídeo é responsável pela transmissão do vídeo e foi instalado em um servidor do Núcleo Estratégico NUVEM²² da UFABC. O servidor inicia a transmissão de vídeo quando há solicitação de transmissão pelo programa cliente. Ele transmite um vídeo com em duas diferentes taxas de transmissão.

O programa cliente é responsável por conectar-se ao servidor e solicitar a transmissão do vídeo. Esse programa requisita a transmissão do vídeo e inicia a transmissão de pacotes ping até o IP do servidor simultaneamente. Ele também armazena todos os dados estatísticos obtidos com a execução da transmissão.

²¹ <http://www.videolan.org/vlc>

²² <http://nuvem.ufabc.edu.br>

4.4. Fatores e níveis

Os fatores são variáveis que afetam o resultado final da experiência. Cada fator tem um conjunto de valores que são alternados em experimentos diferentes.

A Tabela 1 traz as lista dos parâmetros fixos utilizados nos experimentos. A distância de aproximadamente 10 metros, correspondente à distância que está o usuário em relação ao AP. Para a constante “servidor de destino” foi fixado em um servidor da UFABC para todas as praças, já a constante “tempo de duração” leva em consideração o tamanho do vídeo que é de 60 segundos. A captura dos dados de uma transmissão ocorre no intervalo de um em um segundo. Para a constante a “quantidade de repetições” foi fixada em 30 vezes.

Tabela 1: Parâmetros

Parâmetro	Valor
Distância do Access Point (AP)	≈ 10 metros
Servidor de destino	UFABC
Duração	60 segundos
Periodicidade de captura	1 segundo

A Tabela 2 traz os fatores e níveis, que são os valores que são variados em experimentos diferentes. Para o fator “praça” foi escolhida uma praça para cada região da cidade, isto é, têm-se cinco praças correspondentes às regiões centro, norte sul, leste e oeste. O fator “qualidade do vídeo” é distribuído em apenas duas taxas de transmissão que são 1200 Kbps e 840 Kbps. Em ambos os experimentos foram analisados diferentes horas do dia e diferentes dias da semana.

Tabela 2: Fatores e Níveis

Fator	Nível
Praça	Centro, Norte, Sul, Leste, Oeste
Qualidade de vídeo	1200 Kbps, 840 Kbps
Hora	7:00h às 18:00h
Dia	Segunda, Terça, Quarta, Quinta, Sexta, Sábado, Domingo

4.5. Descrição e Seleção das Praças

Foram selecionadas cinco praças entre as 120 do programa WiFi Livre SP, sendo uma de cada região (centro, norte, sul, leste, oeste). Os seguinte critérios foram aplicados:

- Utilização da praça: dados dos últimos três meses de todas as praças, como a número médio de usuários a cada hora e a taxa média de entrada de dados. Foram coletados dados de todas as praças a cada 10 minutos, disponibilizados pelas empresas que operam o serviço.
- Segurança da praça: como as medições são realizadas in loco, deve-se considerar que alguns locais da cidade apresentam maior taxa de criminalidade, principalmente considerando a necessidade de uso de um notebook;
- Acessibilidade e deslocamento: as cinco praças devem ser visitadas a cada dia de medição e portanto deve-se considerar a facilidade de deslocamento entre elas num período de duas.

A Tabela 3 lista as praças selecionadas para cada região da cidade,

Tabela 3: Praças Selecionadas

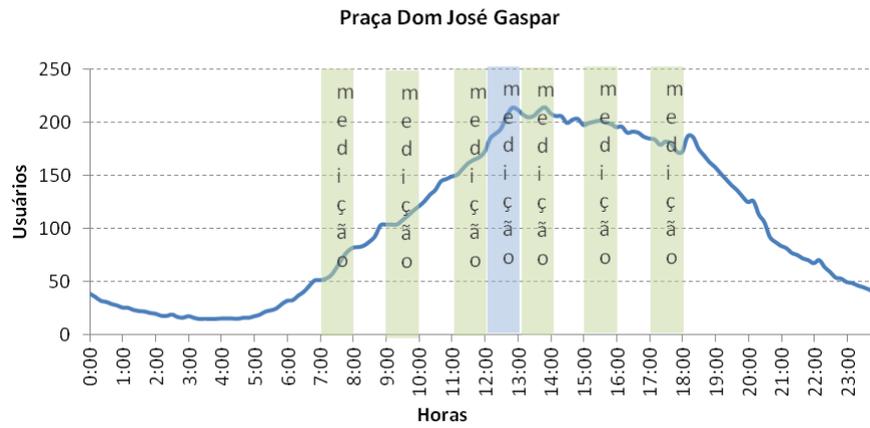
Região	Centro	Norte	Sul	Leste	Oeste
Praça	Biblioteca Dom José Gaspar	Praça Nossa Senhora dos Prazeres	Largo Dona Ana Rosa	Praça Silvio Romero	Praça Conde Francisco Matarazzo
Número Máximo de Usuários Simultâneos	150	50	75	100	50

A **Figura 1** apresenta a localização no mapa das praças selecionadas nas cinco regiões de São Paulo.



Figura 1: Distribuição das praças na cidade de São Paulo

A Figura 2 apresenta o número médio de usuários conectados nas cinco praças selecionados durante um período de três meses. Esse parâmetro pautou tanto a escolha dessas praças quanto a concepção do cronograma e horários de medição em cada praça. A escolha dos horários para realizar as medições é extremamente importante, pois por se tratar de um experimento intrusivo a quantidade de usuários conectados na praça é um fator que pode determinar sucesso ou fracasso de visualização do vídeo. Com base na Figura 2 foram utilizados diferentes horários com diferentes taxas de utilização das praças, onde cada barra horizontal representa uma medição.



a) Centro



b) Norte



c) Sul

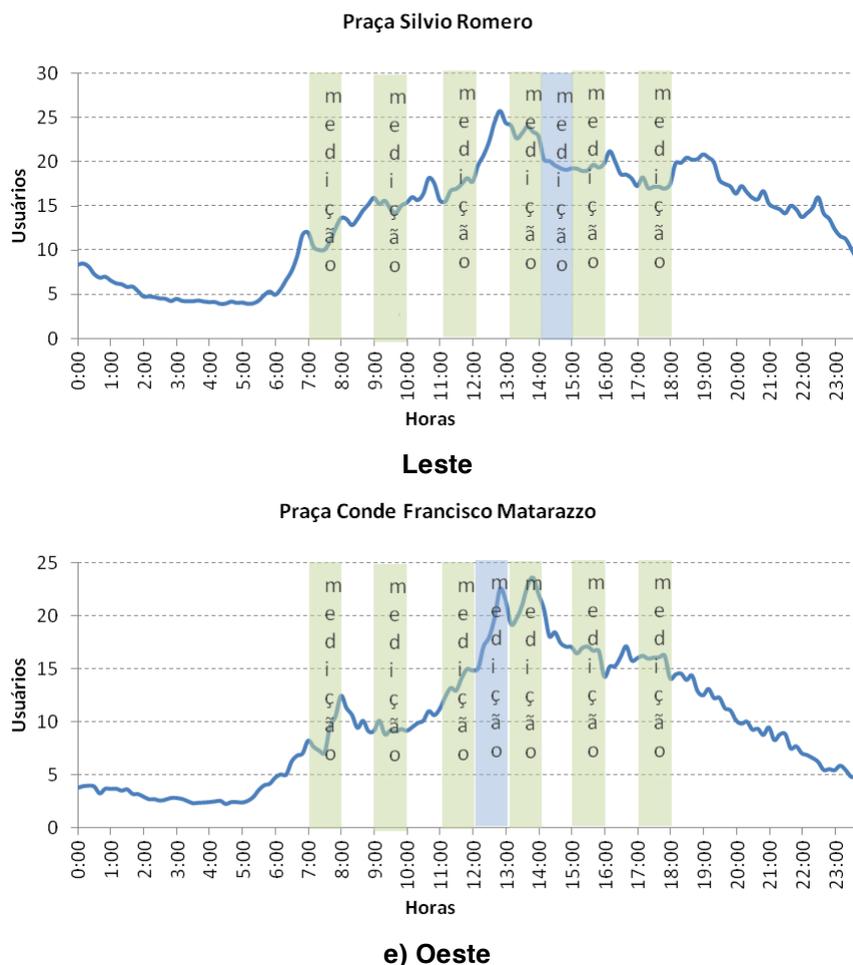


Figura 2: Quantidade de usuários por horas do dia nas praças selecionadas

A Tabela 4 apresenta o cronograma utilizado para realizar as medições nas diversas regiões da cidade. Dada a diferença de perfil de usuário e de utilização entre dias de semana e finais de semana, foram realizadas medições em todas as praças em todos os dias. Devido a limitações logísticas, não foi possível realizar medições em várias horas do dia em vários dias da semana em uma mesma praça. O cronograma foi integralmente cumprido em aproximadamente 16 dias por questões de carga de bateria do notebook e também devido a ocorrência de chuva em alguns dias. É possível observar que na Tabela 4 existem dois dias de sábado, o que ocorre devido à necessidade de realizar medições em diferentes horas do dia. Nesse caso utilizou-se um dia extra da semana, pois não foi possível encaixar outra praça no horário do meio dia.

Tabela 4: Cronograma de medições

Dia	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Sab
Hora								
07:00								
08:00	Leste	Sul	Oeste	Norte		Centro		

09:00		Leste	Centro	Sul	Norte	Oeste		
10:00	Norte							
11:00			Sul	Centro	Leste		Oeste	
12:00	Centro	Oeste				Sul		Norte
13:00			Leste	Oeste	Sul		Centro	
14:00		Norte				Leste		
15:00	Oeste		Norte	Leste	Centro		Sul	
16:00								
17:00								
18:00	Sul	Centro			Oeste	Norte	Leste	

4.6. Procedimentos das medições

Foram realizadas as medições nas praças listadas na Tabela 3 de acordo com o cronograma contido na Tabela 4. Para cada qualidade diferente de vídeo em cada praça, em cada dia da semana foram realizadas 30 replicações do experimento e o intervalo de confiança ao nível de 99% foi computado. Entre duas replicações consecutivas o programa cliente é desconectado do programa servidor e efetuada uma nova conexão, Vale ressaltar que é importante aguardar um determinado tempo entre as transmissões para garantir que seja efetuada uma nova transmissão de vídeo sem interferência da transmissão anterior, isto é, a transmissão atual não pode conter dados da transmissão anterior.

O tempo total de realização de todos os experimentos em cada praça em cada dia é aproximadamente uma hora e quarenta minutos, onde no mínimo a uma hora e consumido com as transmissões dos vídeo. Cada trecho de vídeo possui 1 minuto de duração e considerando dois tipos de vídeo (de qualidades diferentes), com 30 replicações cada um, a soma termina em uma hora. Os 40 minutos restantes são devidos a troca de vídeo, intervalos entre replicações e eventuais falhas de conexão.

4.7. Métricas

As métricas utilizadas para avaliar as praças são divididas em duas categorias: Qualidade de Serviço (QoS) do serviço WiFi na praça, representando métricas de desempenho das praças; e Qualidade de Experiência (QoE) do usuário com relação ao vídeo. Cada categoria possui métricas distintas, que definiram a geração dos resultados

- QoS: obtidos através da execução do comando ping durante as medições e através da coleta de dados provenientes das empresas prestadores do serviço.
 - Taxa de utilização da praça: número de usuários que utilizam a praça dividido pelo número máximo de usuários estabelecido pelo edital da prefeitura de SP. O número máximo determina a capacidade da rede

WiFi da praça e do enlace de acesso, uma vez que para cada usuário deve-se considerar uma capacidade de 512 Kbps.

- Taxa de entrada de dados por usuário: a taxa total de dados de entrada na praça dividida pelo número de usuários conectados naquele momento.
- RTT: tempo de ida e volta de pacotes até o IP de destino.
- Taxa de perda de pacotes: percentual de pacotes perdidos no caminho de ida ou de volta.
- QoE: visualização do vídeo com as médias dos dados estatísticos de:
 - Tempo de espera para carregamento de buffer: tempo despendido para encher o buffer e possibilitar o início da exibição do vídeo.
 - Número de congelamentos de vídeo: quantidade de vezes que o vídeo é interrompido devido a condições inadequadas de rede, para recompor o buffer de recepção.
 - Tempo de congelamento: tempo gasto para o vídeo se recuperar de uma interrupção (congelamento da imagem) em uma transmissão.
 - Taxa de transmissão: taxa de transmissão real que o vídeo atinge, apresentada em bits por segundo (bps), que na teoria deveria ser igual à sua taxa de codificação.

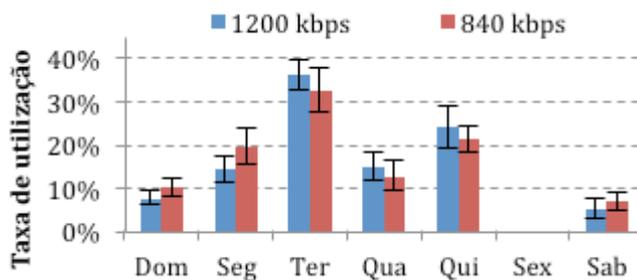
5. Resultados

Os resultados obtidos na execução dos experimentos são classificados de acordo com as métricas em dois grandes grupos: Qualidade de Serviço e Qualidade de Experiência. Para todas as praças e todas as métricas foram gerados gráficos e analisados individualmente. Para diminuir o número de gráficos no texto, foram selecionadas apenas duas praças, as com melhor e pior desempenho que são a Praça Conde Francisco Matarazzo (Zona Oeste) e a Praça Silvio Romero (Zona Leste), respectivamente.

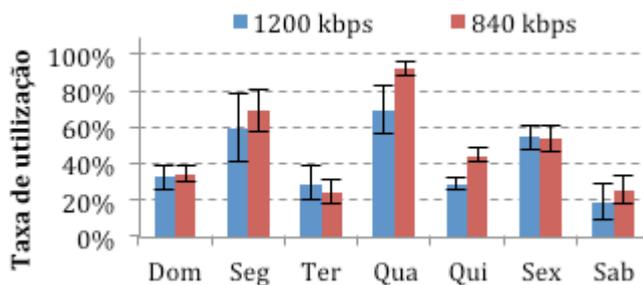
5.1. Qualidade do Serviço (QoS)

Na **Figura 3** é possível observar que a taxa de utilização das praças no momento em que ocorreram os experimentos. Na **Figura 3a** é possível notar que durante as medições realizadas no domingo a Praça Silvio Romero contava com apenas 10% do número máximo de usuários, devido ao horário da medição (7:00 horas da manhã), diferente da terça-feira, que obteve cerca de 40% do número de usuários para o qual foi projetada e a medição foi realizada no início da tarde (13:00 horas). Além disso, na sexta-feira não há dados para essa métrica por motivo de falha na captura dos dados.

A **Figura 3b** mostra que a praça Francisco Matarazzo apresenta utilização regular também considerando os dias e horários de medição conforme a Tabela 4 Para as demais praças ocorre comportamento similar ao da **Figura 3**.



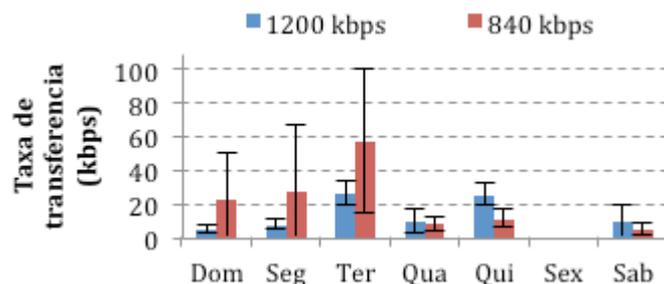
a) Praça Silvio Romero



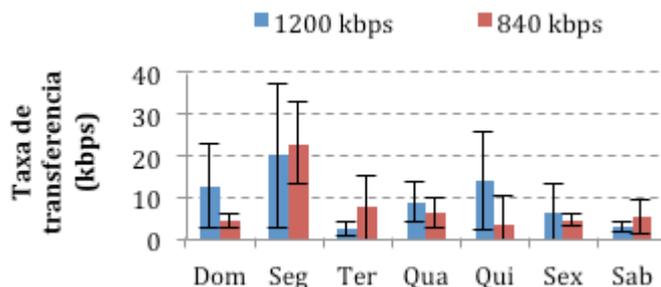
b) Praça Francisco Matarazzo

Figura 3: Taxa de utilização da praça

Na **Figura 4** é possível observar uma grande diferença entre as duas praças com relação à taxa de transferência de dados (entrada, ou seja download), onde há muito mais dados trafegados na Praça Francisco Matarazzo do que na Praça Silvio Romero. Esse fenômeno ocorre também para as demais praças analisadas, pois cada uma possui diferentes tipos de usuários, caracterizando o seu próprio comportamento. A respeito da **Figura 4a** não há dados coletados na sexta em que foi realizado o experimento.



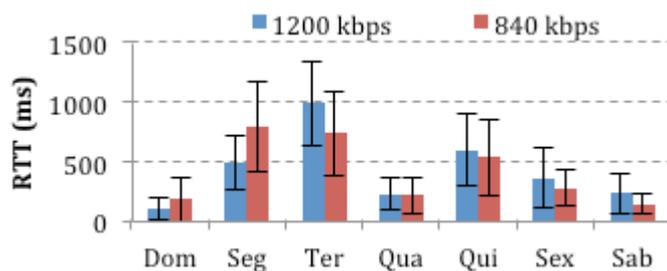
a) Praça Silvio Romero



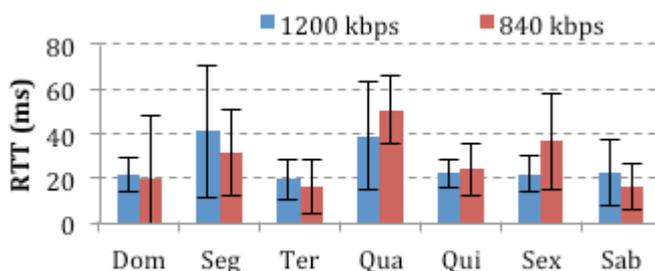
Praça Francisco Matarazzo

Figura 4: Taxa de transferência por usuário (download)

Para a métrica RTT é possível verificar que na **Figura 5a** que o atraso médio entre os dias da semana sofre alterações muito bruscas. Comparando o domingo com a segunda-feira é visível um aumento de quatro vezes. Entretanto na quarta-feira há uma redução brusca, o que ocorre devido ao horário em que é realizado o experimento. Alguns valores de RTT são claramente inadequados para uma boa qualidade de utilização da maioria das aplicações na Internet. Esse comportamento ocorre nas praças do Centro e Zona Sul. Já na Praça Francisco Matarazzo na Zona Oeste (**Figura 5b**) os valores e a variação são consideravelmente menores, situação similar à Zona Norte.



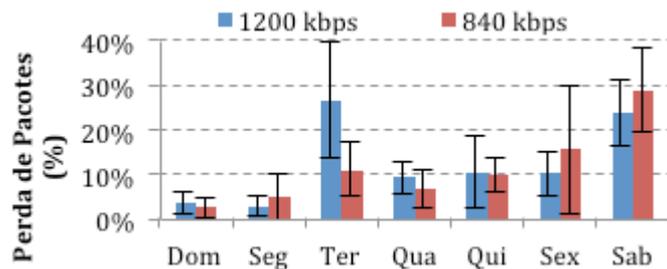
a) Praça Silvio Romero



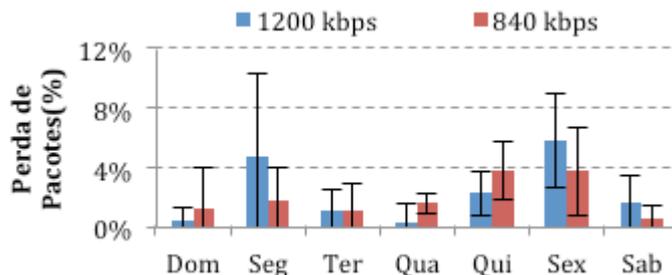
b) Praça Francisco Matarazzo

Figura 5: RTT

Para a perda de pacotes é possível verificar que no melhor caso (Figura 6b) existe uma perda de no máximo 6% que ocorre na sexta-feira para o vídeo de maior taxa de transmissão. Esse mesmo fato semelhante ocorre na segunda-feira. Esse mesmo comportamento foi observado nas praças da Zona Norte e Zona Sul. A Figura 6a apresenta um comportamento aceitável para o domingo e a segunda-feira. Entretanto no outros dias ocorre uma elevação significativa na perda de pacotes. Comportamento semelhante a esse ocorre na praça da região central.



a) Praça Silvio Romero.



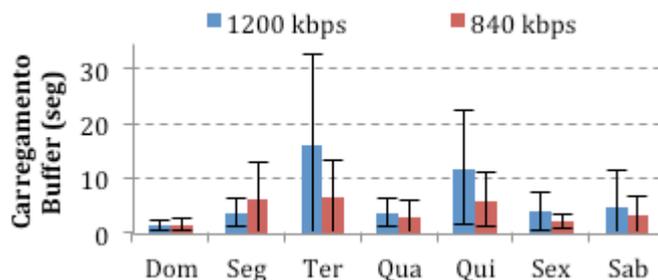
b) Praça Francisco Matarazzo.

Figura 6: Perda de Pacotes

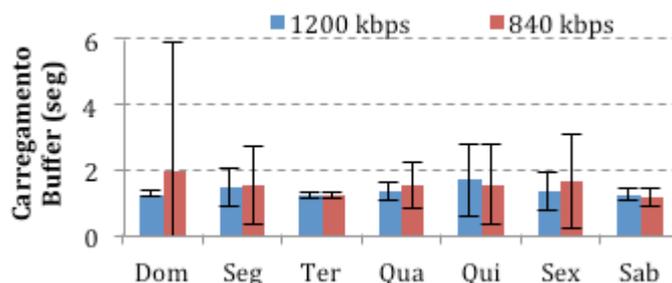
5.2. Qualidade de Experiência

A Figura 7a mostra a média de tempo que leva para carregar o buffer na Praça Silvio Romero. É possível visualizar que para a maioria dos dias da semana, exceto na segunda-feira ocorre um atraso significativo para carregar o buffer e iniciar a exibição do vídeo. Comportamento semelhante é observável em alguns dias da semana para as praças da zona norte, sul e central.

Analisando a **Figura 7b** é possível observar certa estabilidade de tempo necessário para o carregamento do buffer na praça Francisco Matarazzo, que na maioria dos dias em média não ultrapassa 2 segundos.



a) Praça Silvio Romero

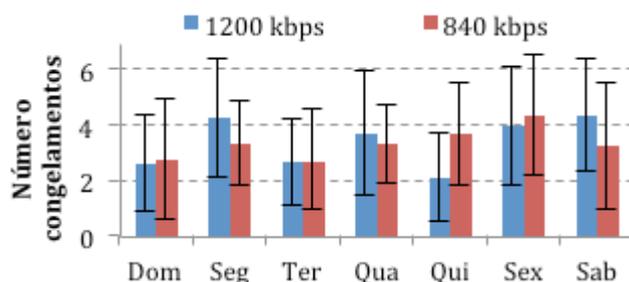


b) Praça Francisco Matarazzo

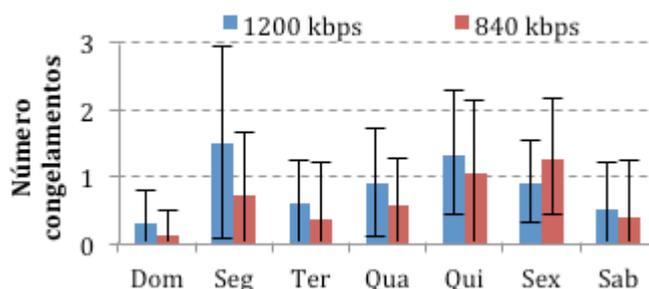
Figura 7: Carregamento de buffer

Para número de congelamentos do vídeo a **Figura 8a** representa o pior caso do observado em uma praça. Para a maioria dos dias da semana é possível visualizar que na terça-feira e para o vídeo de qualidade mais alta (1200 Kbps) ocorreram em média quatro congelamentos. Para as cinco praças analisadas a que teve o melhor

comportamento foi da zona oeste (**Figura 8b**) onde em média ocorreu um congelamento.



a) Praça Silvio Romero

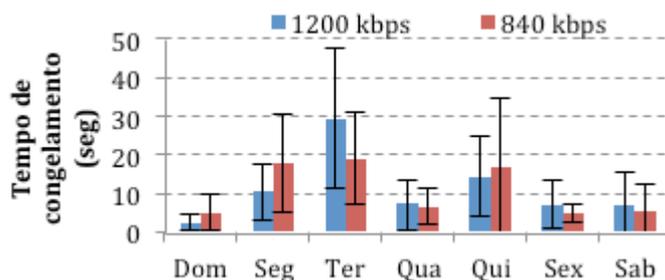


b) Praça Francisco Matarazzo

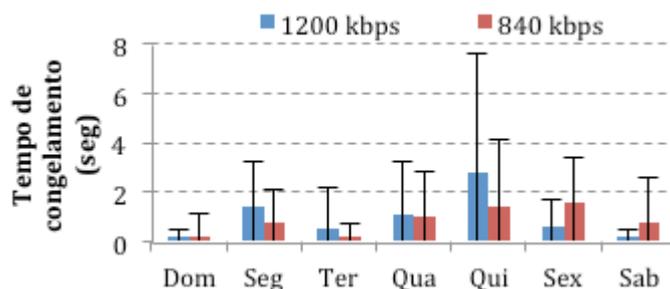
Figura 8: Número de congelamentos na exibição dos vídeos

O tempo de congelamento é a média de todos os tempos de congelamentos que ocorrem durante uma transmissão. A **Figura 9a** apresenta um pico de 30 segundos de congelamento para o vídeo de qualidade alta na terça feira na praça Silvio Romero. É possível visualizar para esse mesmo dia o vídeo de qualidade inferior possui tempo médio de congelamento de aproximadamente 20 segundos. A **Figura 9b** apresenta o melhor caso sendo na maioria dos dias da semana abaixo de 2 segundos de congelamento.

Para as praças do centro e da zona sul ocorre fenômeno parecido com o da **Figura 9a**. Já para a praça da zona norte é semelhante a **Figura 9b**.



a) Praça Silvio Romero

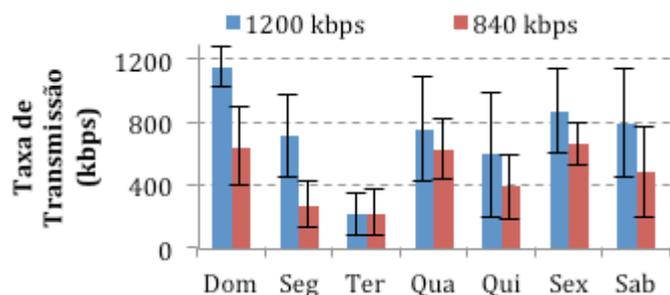


b) Praça Francisco Matarazzo

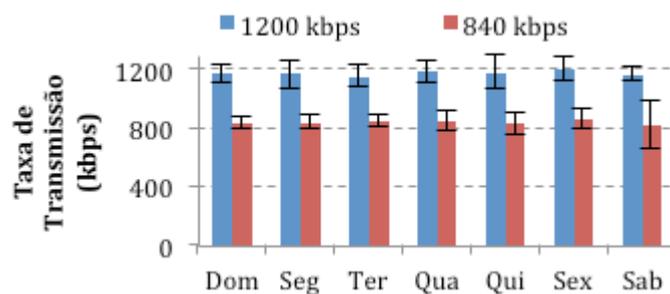
Figura 9: Tempo médio de congelamento por transmissão de vídeo

A métrica de taxa de transmissão visa complementar as anteriores e verificar se houve perda de qualidade e ou travamentos durante a exibição do vídeo. A **Figura 10a** é um exemplo em que houve falha na exibição do vídeo, pois há variações significativas na taxa de transmissão. Por exemplo, na terça-feira a taxa deveria estar em 1200 Kbps sendo que ela se encontra a aproximadamente 200 Kbps, indicando falha grave na execução do vídeo.

O caso ótimo é o que ocorre na **Figura 10b** onde para todos os dias as métricas se mantém estáveis em 1200 Kbps para o vídeo de melhor qualidade e 840 Kbps para o vídeo de baixa qualidade.



a) Praça Silvio Romero



b) Praça Francisco Matarazzo

Figura 10: Taxa de transmissão dos vídeos

Para todas as praças ocorre no mínimo um dia em que os experimentos foram próximos ao caso ótimo. Se visualizarmos todas as figuras intitulada de letra “a” em relação às métricas da qualidade de serviço e qualidade de experiência focando no dia de domingo, têm-se o caso ótimo da Praça Silvio Romero.

No melhor caso da Praça Silvio Romero a taxa de transmissão chega aproximadamente nos níveis de 1200 Kbps para o vídeo de melhor qualidade e 840 Kbps para o vídeo de baixa qualidade. Isso é devido nesse dia à praça estar com tempo de congelamento de 5 segundos e ocorrência de congelamento próxima a 2 vezes. O carregamento de buffer está em 2 segundos, a perda de pacotes em 4%, o RTT abaixo de 180 ms, com baixa taxa de utilização, e baixo tráfego de dados de entrada.

6. Conclusão

Este projeto visa estudar os efeitos da Internet, em suas múltiplas dimensões, na vida dos cidadãos e das comunidades atendidas pela política de abertura de sinal de rede sem fio do programa Wi-Fi Livre SP. Esses estudos têm a finalidade de gerar dados para fomentar a implementação e avaliação de uma política pública de acesso gratuito a Internet por meio de rede sem fio. Os dados analisados neste relatório foram coletados em outubro e novembro de 2015 em cinco praças digitais do programa WiFi Livre da cidade de São Paulo.

A abordagem desse relatório é a utilização de *streaming* de vídeo em praças digitais distribuídas pelas regiões da cidade de São Paulo. Foi realizada uma análise de desempenho nas praças utilizando-se de métricas que avaliam tanto a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário, como a Qualidade de Serviço (QoS) da rede. Para todas as praças foi possível verificar que em algum momento no mínimo uma transmissão teve algum tipo de perda, e também de no mínimo uma transmissão sem nenhuma falha. Em média os resultados mostram que para diferentes praças, dias e níveis de qualidades de vídeo, na maioria das vezes o resultado é satisfatório para os usuários

Comparando os resultados de QoS e QoE, é possível observar que existe grande compatibilidade entre eles. Ou seja, quando as condições de rede estão inadequadas, não será possível obter qualidade aceitável na visualização de um vídeo. É importante lembrar que de acordo com as especificações do edital de contratação das empresas prestadoras do serviço da cidade de São Paulo, o taxa média de download para cada usuário deve ser de 512 Kbps. Enquanto isso, as duas qualidades de vídeo utilizadas apresentam taxas superiores a esse patamar. Isso significa que para um usuário individual, em algumas praças a qualidade está superior ao que foi contratado, enquanto em outras está significativamente inferior, como pode ser observado na **Figura 10a**.

Os resultados das métricas de qualidade de serviço se relacionam. Por exemplo, é importante analisar a taxa de utilização da praça para entender quantos usuários estão conectados e se diferentes taxas possuem uma melhor ou pior visualização do vídeo, porque a capacidade de rede (largura de banda) é dividida entre os usuários. Da mesma forma é necessário compreender a taxa de transferência de dados de entrada na praça. Por se tratar de um experimento de medição ativa (gera tráfego) é verificado se os usuários conectados estão fazendo o uso da largura de banda disponível que afeta os experimentos. As métricas RTT e perda de pacotes devem estar relacionadas com a qualidade de experiência do usuário, para estimar um valor limite aceitável para a transmissão do vídeo.

Para a uma ótima visualização dos vídeos sem congelamentos a observação de todos os experimentos em todos os dias para todas as praças, foi identificado um limite empírico de 50 ms de RTT e 5% de perda de pacotes. Existe uma forte correlação entre esses limiares e a visualização de vídeos nas praças com cerca de dois segundos de

carregamento de *buffer* e apenas um congelamento de aproximadamente no máximo de dois segundos. Isso possibilita que o usuário assista o vídeo sem muitos problemas e com qualidade de taxa de transmissão muito próxima ao original transmitido.

É importante ressaltar que seria interessante obter dados para todas as horas do dia e todos os dias da semana, mas por questões de segurança e disponibilidade de pessoal e local adequado não foi possível realizar para este trabalho.

Referências

- 3GPP, “Services and service capabilities (Release 12)”, 3GPP TS 22.105 - V12.0.0, Outubro de 2014, <http://www.3gpp.org/DynaReport/22105.htm>.
- Andreollo, A.G.; et. al. (2015); Redes de comunicação de dados sem fio – Uma análise de desempenho. Puc-Campinas. São Paulo. Disponível em <<http://www.homexpert.com.br/areaservada/wp-content/uploads/2011/06/Redes-de-comunica%C3%A7%C3%A3o-sem-fio-Uma-an%C3%A1lise-de-desempenho.pdf>> Acesso novembro 2015.
- Baik, E. et al. (2015) Video Acuity Assessment in Mobile Devices, IEEE INFOCOM 2015.
- Balachandran, A. Developing a Predictive Model of Quality of Experience for Internet Video Categories and Subject Descriptors. *Acm Sigcomm*, p. 339–350, 2013.
- BAR, F., PARK, N., “Municipal Wi-Fi Networks: The Goals, Practices, and Policy Implications of the U.S. Case”, *Communications & Strategies*, no. 61, p. 107, 1st quarter 2006.
- Biswas, S. et al. Large-scale Measurements of Wireless Network Behavior. *SIGCOMM*, p. 153–165, 2015.
- CISCO, The Zettabyte Era: Trends and Analysis, White Paper, Maio 2015.
- EVENEPOEL, S., et. al, "Municipal Wi-Fi value network configurations: impact of motivations, pricing and topology", 11th Conference of Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics, 2012.
- Ghosh. A.; et. al. (2011), Modeling and Characterization of Large-Scale Wi-Fi Traffic in Public Hot-Spots. *IEEE INFOCOM 2011*.
- GIFFINGER, R. et. Al, “Smart cities: Ranking of European medium-sized cities”, Projeto Smart Cities, Relatório Final, 2007, <http://www.smart-cities.edu>.
- HAMPTON, K et. al. “The Social Life of Wireless Urban Spaces: Internet Use, Social Networks, and the Public Realm”, *Journal of Communication*, 60(4), p. 701-722, Dezembro de 2010.
- HEER, T. et. al, “Collaborative municipal Wi-Fi networks - challenges and opportunities”, 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010.
- HEER, T., et. Al, “Collaborative Municipal Wi-Fi Networks - Challenges and Opportunities”, IEEE 8th International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), April 2010.

- KPMG, “Expect the Unexpected: Building business value in a changing world”, KPMG International 2012, <http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/building-business-value.pdf>.
- Ratusznei, J., Silva, W., Pinheiro, N., Melo, R. e Kamienski, C. (2015). Uma Rede WiFi Aberta de Larga Escala como Infraestrutura para Cidades Inteligentes, SEMISH 2015.
- SCHAFFERS, H., et al. "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation." *The future internet*: 431-446, 2011.
- SCHMIDT, T., TOWNSEND, A., "Why Wi-Fi Wants to be Free", *Communications of the ACM*, 46(5), p. 47-52, Maio de 2003.
- Sommers, J.; Barford, P. (2012); Cell vs. WiFi: on the performance of metro area mobile connections. In: *Proceedings of the 2012 ACM conference on Internet measurement conference*. ACM, 2012. p. 301-314.
- TANENBAUM, A. S., “Computer Networks”, Prentice Hall, 5th edition, 2010.
- WEISS, M. B. H, Huang, KC, “To Be or Not to Be: A Comparative Study of City-wide Municipal WiFi in the US”, *Telecommunications Policy Research Conference*, 2007.