

UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO DA REDE METROPOLITANA DE TELEMEDICINA DOS HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS DA CIDADE DE NATAL-RN/BRASIL

R. M. MEDEIROS², A. H. F. MORAIS^{2*}, R. A. M. VALENTIM¹, H. R. HÉKIS¹, M. C. R. DANTAS¹, D. M. S. BARROS¹ e G. B. BRANDÃO¹

¹Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde do Hospital Universitário Onofre Lopes – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

*Autor para Correspondência, higormorais@gmail.com

Artigo submetido em novembro/2013 e aceito em dezembro/2013

DOI: 10.15628/holos.2014.987

RESUMO

A convergência das diversas tecnologias no uso de redes de computadores é uma realidade em nossa sociedade e o aumento do uso destas redes, sejam elas cabeadas ou sem fios, é uma realidade que se consolida a cada dia. Neste sentido, é oportuno fazer uso das atuais estruturas de redes existentes nos vários hospitais e permitir que aplicações de Telemedicina e Telessaúde possam funcionar de forma satisfatória nestes ambientes. Todavia, as estruturas de redes já existentes são em sua maioria redes do tipo Ethernet que atendem perfeitamente aplicações comuns, mas que não satisfazem os requisitos impostos por algumas aplicações na área da saúde, principalmente as aplicações que

necessitem transmitir vídeo em tempo real. Desta forma, o presente trabalho apresenta uma abordagem baseada na aplicação de políticas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) e analisa o comportamento da Rede Metropolitana de Telemedicina dos Hospitais Universitários de Natal em situações de pico de uso desta. O objetivo destas políticas visa assegurar as condições necessárias, tais como melhorias nas características de previsibilidade da rede e diminuição do *jitter* (variação do atraso das mensagens), de tal forma que aplicações de Telemedicina possam ser utilizadas nestas redes de computadores de forma satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Rede Metropolitana, Telemedicina, Qualidade de Serviço.

A PERFORMANCE ANALYZE IN TELEMEDICINE METROPOLITAN NETWORK ACADEMIC HOSPITALS ON NATAL-RN/BRAZIL

ABSTRACT

The convergence of several technologies using computer networks is a reality in our society nowadays and the increased use of such networks, being it or wireless, is a fact that is becoming increasingly consolidated. In this regard, it is appropriate to make use of existing network structures in different hospitals and allow Telemedicine and Telehealth applications to function satisfactorily in these environments. However, the structures of existing networks are mostly Ethernet networks that serve well typical applications, but do not meet the requirements for some applications in healthcare, especially those

applications that require real-time video broadcast. Therefore, this paper an approach based on QoS (Quality of Service) policies and analyzes the behavior of the metropolitan network of telemedicine in university hospitals of Natal in cases of peak usage. The purpose of these policies is to ensure the necessary conditions, such as improvements on the characteristics of predictability of the network and decrease in the jitter (the variation of delay of messages), so that telemedicine applications can be used in these computer networks in a satisfactory way.

KEYWORDS: Metropolitan Network; Telemedicine; Quality of Service.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias relacionadas aos diversos processos de comunicação alcançaram patamares de grande relevância desde a criação do primeiro telefone (Andrews, 2002). Todavia, ao passo que novas tecnologias são descobertas, novos desafios associados a este processo evolutivo surgem na mesma proporção, como, por exemplo, os vários aspectos inerentes aos processos da computação distribuída (Pedreiras, 2001). Os avanços científicos alcançados no século passado proporcionaram o advento de máquinas com grande poder computacional, principalmente a partir da década de 1970. Atualmente, a capacidade de processamento dos computadores permite a manipulação e controle de dados, tais como processamento de imagens de satélites ou controle de processos em parques industriais, que outrora seriam inconcebíveis. A conjunção destas duas tecnologias - comunicação e processamento de informações - revolucionaram o mundo em que vivemos. Desta forma, foram abertas fronteiras para novos mecanismos de comunicação, permitindo uma maior eficácia dos sistemas computacionais (Soares *et al.*, 1995). Com o passar do tempo, as redes de computadores tornaram-se cada vez mais presentes em nosso cotidiano, tendo como aliados o desenvolvimento tecnológico, através da contínua redução do custo e do tamanho do *hardware*, acompanhada do aumento da capacidade computacional e o desenvolvimento de interfaces cada vez mais acessíveis ao usuário.

Os ambientes industriais sejam eles, petroquímicos, ceramistas ou siderúrgicos, trazem consigo um alto risco associado aos seus respectivos processos. Tais riscos, além de poderem prejudicar a integridade física daqueles que desenvolvem suas atividades nesses ambientes, também podem comprometer o próprio negócio gerando prejuízos e perdas demasiadas ao invés de lucro. Por esta razão, os investimentos em pesquisas e melhorias que visem o aperfeiçoamento, principalmente no que se refere à comunicação deste setor, é uma praxe. Por outro lado, as necessidades por melhorias nas formas de comunicação não estão limitadas aos ambientes industriais, mas também é observada uma demanda crescente na área da saúde, sejam em ambientes hospitalares, nas clínicas médicas ou no Programa Saúde da Família (PSF) (Valentim, 2008). Neste sentido, existem diversas aplicações que são desenvolvidas para as mais variadas tarefas existentes nestes ambientes, tais como: prontuário eletrônico, marcação de consultas, controle de farmácia, internamento, sistemas laboratoriais, monitoramento de pacientes locais e remotos, processamento de imagens médicas. Outras tarefas também requerem o auxílio de ferramentas que permitam sua execução de forma não convencional, ou seja, sem a necessidade do paciente ou médico no local, como é o caso de monitoramento de pacientes, diagnóstico de doenças ou procedimentos cirúrgicos que são realizados à distância. Uma demanda latente para esse tipo de aplicação são os pacientes atendidos em *homecare*, os quais podem ser monitorados de forma remota (em casa) por uma equipe de saúde (Cerny e Penhaker, 2008).

Neste contexto, as tecnologias de telecomunicações estão sendo usadas para mudar as relações na área da Saúde, permitindo, por exemplo, a assistência médica a pacientes remotos e facilitando a troca de informações entre médicos generalistas e especialistas. Surge então um conjunto de possibilidades referentes às tecnologias de interconexão e transmissão, além de dispositivos e sistemas que poderão ser utilizados de acordo com a demanda da aplicação desejada. Por outro lado, existem ainda muitas questões não resolvidas sobre eficácia, custos,

segurança, privacidade, ética, gestão de risco, retorno sobre o investimento, qualidade dos serviços prestados (Maheu *et al.*, 2000).

Diante da necessidade da utilização de redes de computadores e outros dispositivos remotos, tais como celulares, sensores e atuadores na área da saúde, percebe-se a necessidade de uma área específica para tratar destes temas que vem sendo objeto de estudo por parte da academia e por empresas do setor. São elas, as aplicações em Telemedicina e Telessaúde. Algumas das aplicações inerentes a essa área tratam da transferência de imagens de alta resolução, som, vídeo e dados de pacientes entre dois ou mais locais, podendo ser utilizadas por diversas especialidades médicas. Esforços por melhorias vêm sendo empreendidos pelos principais centros de pesquisa do mundo desde a década de 1960, quando tiveram início as primeiras viagens espaciais e parâmetros fisiológicos precisavam ser transmitidos à Terra. Avanços e investimentos em comunicação via satélite permitiram os primeiros desenvolvimentos na área de telemedicina (RUTE, 2006) e alavancaram a indústria de micro processadores.

Ainda segundo Maheu *et al.* (2000), existem três categorias sobrepostas de assistência médica eletrônica: Telemedicina, Telessaúde e *e-health*.

- **Telemedicina** - Trata-se de uma categoria, cuja provisão de serviços de saúde, informações clínicas e educação à distância utilizam tecnologias de telecomunicações - existente antes da Internet. Alguns autores observam que a telemedicina era amplamente concebida antes mesmo de o termo ser usado no início da década de 70. Bashshuret *al.* (2000) destacam como primeiros relatos relacionados ao tema a transmissão de imagens radiográficas do *Hôtel-Dieu* de Montreal no ano de 1957, e em 1959 o uso de um Circuito Fechado de Televisão (CFTV) na condução de sessões de terapia entre o *Nebraska Psychiatric Institute* e o *NorfolkState Hospital*, distantes 180 km. Podemos citar ainda como primeiros relatos documentados (Maheu, 2000) educação e treinamento (1970), televisitas a comunidades de profissionais de saúde (1972), *homecare* (1974), interações de enfermagem (1978), telemetria (1979), entre outras. Em muitos casos, não havia nenhum médico envolvido, e a interatividade não era parte necessária. De uma forma geral, podemos conceituar Telemedicina como sendo a transferência de dados médicos eletrônicos (imagens de alta resolução, som, vídeo ao vivo e dados de pacientes) de um local para outro, usando uma variedade de tecnologias da telecomunicação e utilizada por prestadores de serviços de saúde, em um número crescente de especialidades médicas: dermatologia, oncologia, radiologia, cirurgia, cardiologia, psiquiatria e atendimento domiciliar (Lin, 1999).
- **Telessaúde** - Esta é vista por alguns autores como um termo mais abrangente do que a Telemedicina, definida como restrita a teleconsultas interativas médico-paciente. Outras dimensões têm sido usadas para ilustrar diferenças entre os termos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011), Telessaúde pode ser entendida como a integração de sistemas de telecomunicações para a prática de proteger e promover a saúde, enquanto que a telemedicina é a incorporação destes sistemas na cura pela medicina. É notório que até o final da década de 90, o termo Telessaúde tornou-se popular e agora é usado por muitos, como sinônimo de um termo mais antigo, Telemedicina. Outros termos, como informática da saúde,

telemática da saúde e *telecare* estão sendo propostos para a área. Em 1999, o termo *e-health* popularizou-se como a prestação de cuidados de saúde através da Internet (Mclendon, 2000).

- ***e-health*** - Segundo Eysenbach (2001), este termo é utilizado para descrever um campo emergente denotado pela intersecção entre a informática médica, saúde pública e negócios, referindo-se aos serviços de saúde e informações que são realizados ou melhorados por meio da internet e suas tecnologias relacionadas. Num sentido mais amplo, o termo caracteriza não só o desenvolvimento de uma técnica, mas também um estado de espírito, uma maneira de pensar, uma atitude e um compromisso para a rede de saúde, um pensamento global para melhorar os cuidados de saúde a nível local, regional e mundial usando tecnologias de informação e comunicação.

A intersecção entre as três áreas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) demonstra que, apesar possuírem nichos específicos, existe uma inter-relação que tem como base o desenvolvimento da saúde. Neste caso, a Telemedicina denota o segmento responsável pela aplicação de procedimentos médicos, subsidiados por tecnologias de comunicação que possibilitem o aporte necessário à execução destes procedimentos. Já a Telessaúde, fornece a tecnologia que permite a melhoria da saúde não pela execução destes procedimentos médicos, mas por meio da difusão do conhecimento, bem como por meio de políticas preventivas que possam ser divulgadas à sociedade. O conceito que define o *e-health* deriva de outros como *e-bussinesse* e *e-commerce*, sendo assim, possui um caráter mercadológico forte associado ao mesmo, acentuando a sua diferença em relação aos demais conceitos que priorizam a pesquisa acadêmica e a aplicação das práticas médicas. Desta forma, o tríplice relacionamento existente nas áreas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), demonstra a clara interligação entre o mercado e o meio científico, favorecendo o desenvolvimento da pesquisa. Sendo assim, é necessário que haja o apoio do setor econômico/industrial com vistas à aplicação real das pesquisas que são realizadas pelo meio acadêmico. Além disso, políticas governamentais que favoreçam o desenvolvimento dessas pesquisas, bem como incentivos fiscais, são importantes para estas áreas de assistência médica eletrônica possam crescer e se articularem de forma sustentável.

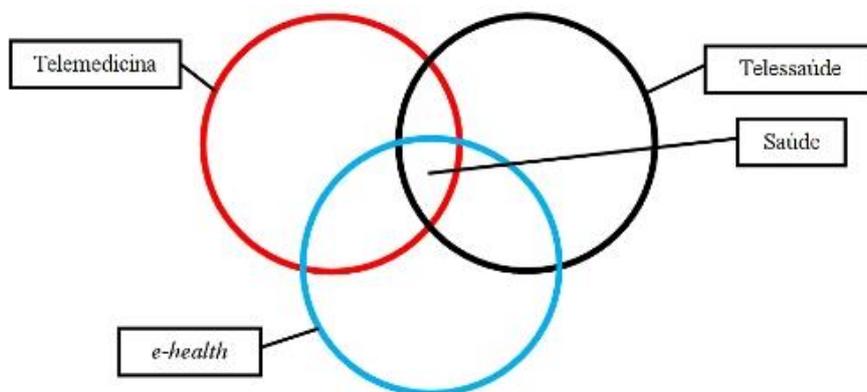


Figura 1 -Correlação entre áreas de assistência médica eletrônica.

Apesar de seus primeiros relatos terem mais de cinquenta anos, a área de Telemedicina e Telessaúde encontra-se em pleno desenvolvimento e novas demandas surgem diariamente requerendo cada vez mais recursos de processamento, transmissão e armazenamento de informações. Exemplos de aplicações que trabalham neste setor e necessitam destas demandas

são as que realizam processamento de imagens e que fazem transmissão de vídeos em alta resolução, ambas utilizadas em aplicações médicas. Tais aplicações necessitam de uma boa infraestrutura de comunicação, bem como, de um altíssimo grau de processamento dos dispositivos que estão envolvidos na codificação e decodificação de tais arquivos. Estas necessidades devem-se aos requisitos de sistema que são impostos e que precisam ser atendidos para não comprometer o desenvolvimento das atividades a ele relacionadas, ou seja, a qualidade do serviço prestado. Desta forma, uma rede de computadores poderá oferecer Qualidade de Serviço (QoS) às aplicações que nela trafegam. Todavia, a QoS poderá estar adequada ou não aos pré-requisitos mínimos de bom funcionamento, os quais são demandados por cada aplicação. Os sistemas de telemedicina ou telessaúde seguem a mesma filosofia e necessitam que seus pré-requisitos sejam atendidos a contento.

Por exemplo, o padrão Ethernet (IEEE 802.3) utilizado em grande parte das redes de computadores oferece a política do melhor esforço (*besteffort*), a qual é bastante adequada a aplicações que não tenham restrições relacionadas ao tempo. Todavia, isto não é o caso das aplicações que fazem transmissão de áudio e vídeo em tempo real, ou seja, no mesmo instante em que uma apresentação em videoconferência está sendo feita todos os outros espectadores deveram receber a mensagem o menor atraso possível, além de uma baixa variação deste mesmo atraso.

No Brasil, com vistas a fortalecer o estudo e a pesquisa sobre a temática da Telemedicina, foi criada a Rede Universitária de Telemedicina (RUTE), ambiente de estudo e pesquisa que é integrado principalmente pelos Hospitais Universitários. Influenciado pela RUTE os Hospitais Universitários da Região Metropolitana de Natal-RN, localizada na região Nordeste do Brasil aumentaram sua rede de comunicação no sentido de fortalecer o atendimento aos pacientes do Sistema Único de Saúde (SUS), visto que são hospitais públicos que atendem pacientes apenas por meio deste sistema. Essa demanda, portanto passou a gerar a aquisição de equipamentos para videoconferência, webconferência, desenvolvimento de sistemas e equipamentos de saúde para monitoramento de pacientes a distância, teleconsultas. Deste modo, motivando a avaliação da qualidade desta rede metropolitana, bem como, da definição de políticas de QoS compatíveis com as restrições impostas pelas demandas de telemedicina. Tais políticas devem considerar que nesta mesma rede trafegam dados convencionais oriundos das aplicações institucionais que não são da área da saúde, mas que concorrem com as de telemedicina pela utilização dos recursos da rede de computadores.

Nesta perspectiva, esse artigo apresenta uma abordagem baseada na aplicação de políticas de QoS e analisa o comportamento da Rede Metropolitana de Telemedicina dos Hospitais Universitários da cidade do Natal-RN/Brasil em situações de pico de uso destas redes. O principal propósito foi de avaliar e extrair métricas de desempenho que permitissem medir a eficiência das políticas de QoS estabelecidas no nível da camada de enlace de dados. Desta forma, por meio desta avaliação, tornar possível a garantia de que aplicações de telemedicina possam funcionar de forma satisfatória e sem prejudicar as demais aplicações correntes nessa rede metropolitana.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na sessão Materiais e Métodos é descrita a metodologia (política de QoS) utilizada para resolução do problema, os cenários de teste criados, além da infraestrutura e programas utilizados no processo; na sessão Resultados são demonstrados os resultados obtidos com a aplicação da solução sugerida neste trabalho e

comparado com um mesmo cenário sem a aplicação da solução; na sessão Conclusão é feita uma discussão sobre os resultados obtidos e a validade da solução.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Qualidade de Serviço na Camada de Enlace

Tradicionalmente, as diversas redes de telecomunicações (redes de telegrafia/telex, telefonia, dados, TV a cabo, etc.) eram segmentadas para cada tipo de serviço, de forma a atender a cada uma das exigências que o serviço impunha. Assim, eram utilizadas diferentes tecnologias para transmissão, sendo as mais importantes as de telefonia e as de dados (Andrews, 2002). A rede de telefonia fixa é baseada na comutação de circuitos, ou seja, antes do início da comunicação entre quaisquer estações nesta rede, deverá ser estabelecido um circuito fim-a-fim. Este circuito fará uso dos recursos de rede, no caso, o caminho físico de comunicação sobre o qual a informação será transmitida durante todo o processo de comunicação até que este seja encerrado (Ross e Kurose, 2006). Esses aspectos oneram demasiadamente os custos das redes associadas a este tipo de técnica de comutação e comprometem bastante sua utilização, ao passo que a quantidade de estações que a utilizem aumenta.

A comutação de pacotes é uma técnica que tem como premissa a não alocação do canal de comunicação durante todo o tempo de transmissão da mensagem. Diferentemente da comutação de circuitos, não existe o estabelecimento de uma comunicação fim-a-fim, mas a mensagem é segmentada em diversos pacotes que poderão percorrer diferentes caminhos até serem entregues ao destinatário. Estes mesmos pacotes, não necessitam obedecer a uma ordem de chegada, ou seja, é perfeitamente possível que a transmissão de uma mensagem com 10 pacotes, onde o número de cada pacote indica a ordem com que este fora lançado na rede, o pacote de número 7 chegue antes que o de número 3 ao seu destinatário (Tanenbaum, 2003). Este tipo de técnica acaba por diminuir o retardo e melhora a velocidade da transferência da rede. Todavia, o receptor da mensagem se encarrega de fazer a ordenação e montagem dos pacotes para leitura da mensagem.

Estas simples técnicas, principalmente a de comutação de pacotes (ou datagramas), foram responsáveis pela elaboração de outras abordagens (*store-and-forward*, *cut-through*, *fragment-free*) que tinham por objetivo melhorar a qualidade do serviço da rede, seja aumentando a taxa de entrega das mensagens ou permitindo a sua utilização por uma quantidade maior de usuários. Ao longo do tempo, novas aplicações começaram a surgir e para que estas funcionassem de forma correta era necessário o atendimento de seus requisitos, tais como: atraso de banda, *jitter* e confiabilidade. A junção destes conceitos deu origem ao conceito de Qualidade de Serviço. Este conceito pode ser aplicado em diversas camadas do modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) a depender do tipo de aplicação e QoS empregados. Neste trabalho, a qualidade de serviço foi utilizada no nível da camada de enlace (modelo de referência OSI) para o estabelecimento de garantias do bom funcionamento das aplicações de Telemedicina do complexo de saúde dos Hospitais Universitários da região metropolitana de Natal-RN/Brasil, considerando, portanto, cenários no qual a rede está submetida a tráfego intenso. A escolha por abordar esse problema no nível de enlace de dados, dá-se em função dos ativos utilizados no processo de interconexão nesta rede metropolitana de saúde suportarem as políticas de QoS previstas pelo

padrão IEEE 802.1Q/p. Sendo este padrão, utilizado nos estudos referentes a análise de desempenho desenvolvidas neste trabalho.

2.2 Conceitos Básicos de Qualidade de Serviço

Toda rede é responsável pelo fornecimento de seus serviços/recursos às estações que a compõe, porém, sem a devida especificação e estabelecimento de regras que garantam este fornecimento às necessidades exigidas por uma aplicação da rede poderá não ser atendida, ou atendida de forma inadequada. Uma Rede baseada em QoS faz uso de uma coleção de técnicas que permitem às aplicações ou usuários a solicitação/recebimento de diferentes níveis de serviço pré-definidos, de forma que os requisitos dessas aplicações/usuários sejam atendidos satisfatoriamente (Charikar *et al.*, 2004). Para se obter tal condicionamento, podem ser necessárias alterações em diversos elementos da rede, tais como estações, *gateways* de aplicação, roteadores e *switches* (camada de enlace de dados). Vários parâmetros são usados para se definir as exigências das aplicações. Os mais comumente utilizados são (Martins, 2000):

- **Largura de banda (vazão)** - É a capacidade máxima de transmissão de *bits* através de um determinado meio físico em relação ao tempo. É o parâmetro mais básico de QoS, visto que é necessário para a operação adequada de qualquer aplicação. Por isso, este parâmetro normalmente é considerado durante a fase de projeto e implantação da rede;
- **Atraso (latência)** - O termo "latência" é mais utilizado para equipamentos e o termo "atraso" é mais aplicado para transmissões de dados (atrasos de transmissão, atrasos de propagação). De maneira geral, a latência da rede pode ser entendida como o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. Do ponto de vista da aplicação, a latência é entendida como o tempo de resposta para a mesma;
- **Jitter** - Sob o ponto de vista de uma rede de computadores, o *jitter* pode ser entendido como a variação do tempo de atraso e na sequência de entrega dos pacotes decorrentes da variação na latência (atrasos) da rede. Este parâmetro é importante para aplicações que dependem que os pacotes sejam processados em períodos de tempo bem definidos. Este é o caso, por exemplo, de aplicações de tempo real, tais como voz sobre IP (VoIP) e vídeo conferências. Por esse motivo, o *jitter*, é um parâmetro considerado dos mais relevantes para algumas aplicações de Telemedicina que demandam requisitos que dependem fortemente do cumprimento de metas temporais, ou seja, quando não é possível realizar um procedimento ou uma tomada de decisão fora do prazo. Um exemplo disso são os casos de procedimentos cirúrgicos realizados a distância, onde um médico controla um robô cirurgião ao mesmo tempo em que recebe imagens do paciente enviadas por uma câmera durante a cirurgia. Neste caso, todos os comandos enviados pelo médico devem estar em sincronia com as imagens recebidas. Assim, em ambas atividades (enviar comandos ao robô e receber imagens em tempo real) existe uma relação de dependência com o fator temporal, pois exige que os comando enviados pelo médico cirurgião e as imagens recebidas por este cheguem dentro do prazo. Portanto, esse tipo de aplicação não tolera variações elevadas do atraso, sobre pena

de inviabilizar o serviço de telecirurgia. Aspectos similares a estes estão presentes também em aplicações de teleconsultas e monitoramento remoto de sinais vitais de pacientes.

- **Confiabilidade (taxa de perdas e erros)** - As perdas de pacotes em redes IP ocorrem principalmente em função de fatores como o descarte de pacotes nos roteadores e *switches*, devido ao congestionamento de pacotes e também a erros ocorridos na camada de enlace durante o transporte dos mesmos. Neste sentido, a confiabilidade diz respeito à capacidade que a rede tem em realizar a entrega dos pacotes que são transmitidos sem perda dos mesmos, ou seja, a garantia de que os mesmos serão entregues de forma correta aos seus destinatários. O tratamento para esse problema deve ser baseado em uma questão cuja solução leva em consideração os requisitos das aplicações utilizadas na rede. Isso, porque cada aplicação tem um nível de tolerância diferente em termos de perda de pacotes. Do ponto de vista da qualidade de serviço da rede a preocupação é no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (taxas de perdas) que permitam às aplicações operar adequadamente.

Na Tabela 1 são listados os critérios demandados por alguns tipos de aplicações, onde, em paralelo e de forma análoga, foi feito uma relação com as aplicações de telemedicina (Tabela 2). Em ambos os contextos é possível identificar aspectos similares quanto aos parâmetros e seus respectivos níveis de exigências em função do tipo de aplicação. Observando o parâmetro confiabilidade nota-se que aplicações *web* voltadas simplesmente ao acesso, tais como páginas da Internet, Prontuário Eletrônico de Pacientes, Sistemas de Autenticação, *e-Learnig* na Educação têm como exigência principal a confiabilidade (Zvikhachevskaya, 2009). Isso porque, um dos aspectos fundamentais neste tipo de aplicação para os seus usuários é o melhor desempenho médio (Aurrecochea, 1998).

No que diz respeito ao atraso (latência), as aplicações de tempo real, como telefonia e videoconferência, apresentam requisitos rigorosos em função deste parâmetro. Por exemplo, uma maior variação do atraso é capaz de tornar uma conversa telefônica, no mínimo, desconfortável para seus usuários. As aplicações interativas, tais como a navegação *web* e o *login* remoto apresentam-se um pouco menos sensíveis ao atraso que as aplicações de tempo real, pois o que importa é o desempenho médio. Já as aplicações de áudio/vídeo sob demanda não apresentam sensibilidade ao atraso, desde que todos os pacotes estejam uniformemente atrasados. Isto significa que estas são extremamente sensíveis ao *jitter*. Por outro lado, as aplicações de transferência de arquivos e correio eletrônico não requerem que requisitos como o atraso e o *jitter* sejam cumpridos de forma rigorosa.

No caso das teleconsultas e do monitoramento remoto de pacientes, verifica-se uma maior rigidez no que se refere a três parâmetros: latência, *jitter* e largura de banda. Esse aspecto ocorre em função dos requisitos temporais, uma vez que se trata de aplicações de tempo real cujo não cumprimento dos *deadlines* desencadeia uma depreciação da qualidade do serviço. Portanto, é importante denotar que para cada tipo de aplicação existe um conjunto diferente de exigências que devem ser atendidas para que as aplicações não sejam comprometidas. No caso específico de aplicações que envolvem a transmissão de vídeo, o não atendimento destes requisitos pode tornar esta tarefa bastante desgastante, e em alguns casos impraticáveis. Neste sentido, o maior desafio

é desenvolver ou aplicar políticas de QoS que possibilitem a convivência harmônica entre um conjunto de aplicações que executem sobre uma mesma rede.

Tabela 1: Demanda de aplicações (Tanenbaum, 2003).

APLICAÇÃO	CONFIABILIDADE	LATÊNCIA	JITTER	LARGURA DE BANDA
Acesso à Web	Alta	Média	Baixa	Média
Login Remoto	Alta	Média	Média	Baixa
Áudio por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefonia	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Videoconferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

Tabela 2: Demanda de aplicações (Tanenbaum, 2003).

APLICAÇÃO	CONFIABILIDADE	LATÊNCIA	JITTER	LARGURA DE BANDA
e-learnig na Educação Médica	Alta	Média	Baixa	Média
Autenticação em Prontuário Eletrônico de Pacientes	Alta	Média	Média	Baixa
Teleconsulta	Baixa	Alta	Alta	Alta
Monitoramento Remoto de Pacientes	Baixo	Alta	Alta	Alta
e-learnig na Educação Médica	Alta	Média	Baixa	Média
Autenticação em Prontuário Eletrônico de Pacientes	Alta	Média	Média	Baixa

QoS Aplicado a Telemedicina

A Qualidade de Serviço que é oferecida por uma rede de computadores é de extrema acuidade e o funcionamento adequado das aplicações que fazem uso desta depende diretamente desta qualidade de serviço. No que diz respeito à Telemedicina, esta característica da rede possui importância ainda maior, pois em casos mais críticos de sua utilização, a saúde de pacientes pode depender do bom funcionamento de *softwares* que farão uso da rede.

Os esforços empregados no desenvolvimento de novas tecnologias na área de saúde perpassam as mais diversas áreas, desde simples sistemas para controle de consultas e prontuário eletrônico a até sistemas para realização de procedimentos cirúrgicos assistidos por robôs e microcâmeras. Este último, objetiva principalmente o alcance de um procedimento que seja o menos invasivo possível e conseqüentemente resulte em um tempo de recuperação pós-operatório menor e mais eficiente. Em meados das décadas de 1960 e 1970 foram avaliados os primeiros resultados em função da aplicação de teleconsultas, embora o avanço dessas fosse realizado a preços muito altos.

Entretanto, a demonstração destes resultados abria um novo caminho para o atendimento médico especializado de alta qualidade (em tempo real) para regiões remotas e rurais, onde a inexistência de especialistas impedia o diagnóstico preciso e a orientação no tratamento. Alguns projetos de demonstração foram realizados ainda nestas décadas, comprovando a eficiência das tecnologias da telecomunicação no provimento de atendimento médico a pacientes em regiões

remotas, próximas a desertos e geleiras. Os Estados Unidos, Canadá, Austrália e França são países precursores dessas iniciativas.

A telemedicina é uma área para a qual soluções tecnológicas já desenvolvidas em outras áreas estão sendo adaptadas, pois apesar de algumas destas soluções já estarem consolidadas em seus segmentos, as particularidades da área da saúde requer que novos estudos sejam realizados a fim de assegurar o atendimento dos requisitos impostos por estas novas aplicações. Além da garantia de entrega das mensagens, outras observações devem ser levadas em consideração quando da concepção destes sistemas, como é o caso da confidencialidade das informações que trafegam pela rede. Neste caso, o sigilo médico-paciente é o fator mais importante, porém, por se tratar de condições de risco à vida, consideramos um aspecto mais particular para a funcionalidade efetiva dos sistemas baseada nas mensagens que trafegam na rede. Alguns autores (Hu e Kumar, 2003) (Niyato *et al.*, 2007), sugerem sistemas que fazem uso da transmissão sem fio para envio das mensagens, porém esta técnica apresenta limitações que podem ser contornadas por uma rede metropolitana, como é o caso da transmissão segura mesmo para longas distâncias, ou seja, a garantia de entrega das mensagens independente de condições climáticas ou interferências externas. Outros aspectos que devem ser observados tratam da integridade e disponibilidade da informação, porém, por não se tratar do foco principal deste trabalho, não iremos abordar este tema.

Barroso *et al.* (2011), apresentam em seu trabalho um sistema que faz uso de um acelerômetro de três eixos para detectar a evolução dos tremores causados pela doença de Parkinson em relação a algum tratamento. Neste sistema, um dispositivo móvel é utilizado para enviar os dados pela internet para um sistema central que poderá estar localizado em um hospital. Esta técnica de monitoração é bastante útil, todavia não garante que todas as informações capturadas pelo sensor sejam enviadas ao sistema central. Neste caso, a criação de uma rede virtual privada (VPN) para monitoração *homecare*, ou aplicação de políticas de QoS em uma rede local hospitalar apresentam-se como alternativas de melhorias a este sistema. Neste caso, este sistema poderia ser inserido em uma rede metropolitana de saúde que, por meio de políticas de QoS, garantisse a funcionalidade do mesmo. Desta forma, validando os dados gerados por este sistema e permitindo um acompanhamento mais eficiente do quadro evolutivo da doença no paciente.

Os países em desenvolvimento não dispõem de infraestruturas (transporte, educação, segurança, hospitais, etc.) que permitam que todos os seus habitantes tenham acesso a estas necessidades básicas. Segundo Clifford (Clifford, 2008), estes países enfrentam várias dificuldades, desde a falta de infraestrutura adequada, baixos salários e condições de trabalho precárias para os servidores da área da saúde e a corrupção instaurada na máquina pública. Neste sentido, a adoção de sistemas de gerenciamento eficientes e a ampliação da rede de saúde pública que permitisse que especialidades médicas pudessem chegar a localidades remotas apresentam-se como uma boa alternativa para melhoria das condições de saúde destes países. Além disso, a adoção de um sistema de saúde por meio de uma rede dedicada é sugerida como forma de redução de custos para o governo destes países, outrossim promovendo o aumento da cobertura das localidades que receberão assistência médica. Por meio desta rede e de um sistema de autenticação para distribuição de medicamentos será possível fazer um rastreamento destes e dificultará o redirecionamento destes para locais indevidos.

Existe uma grande demanda por aplicações na área de telemedicina. Além das aplicações já mencionadas, Kyriacouet *al.* (2003) demonstram que em situações de emergência, onde não há a presença de um médico especialista para uma ocorrência crítica, a provisão de um sistema remoto poderá salvar vidas. Locais como navios em alto mar, centros rurais de saúde e ambulâncias constituem cenários em que o emprego de um sistema de monitoramento remoto dos sinais vitais pode fornecer informações importantes sobre o estado em que se encontra o paciente. Desta forma, o médico especialista em um centro remoto poderá repassar as orientações para a equipe médica no local e salvar aquela vida. Neste caso, um sistema dotado de mecanismos de armazenamento e envio dos dados que são coletados do paciente pode permitir que um especialista os analise. As informações podem ser enviadas através de diversos meios de comunicação o que aumenta a probabilidade de envio e recebimento destas mensagens, porém, não há garantia de que as mesmas serão entregues. Todavia, a construção de um sistema totalmente imune a falhas é inconcebível, porém é possível desenvolver um sistema para tentar mitigar ao máximo a ocorrência destas e, no pior caso, conduzir este sistema a um estado de falha segura, onde a ocorrência da falha não produz um erro (Morais, 2009).

2.3 Rede Metropolitana dos Hospitais Universitários: Natal/RN-Brasil

No Brasil, as redes de pesquisa, ensino e assistência formam-se a partir da infraestrutura de comunicação fornecida pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), instituição governamental vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e ao Ministério da Educação (MEC). Com base nessa infraestrutura, destacam-se dois projetos de abrangência nacional: 1) a Rede Universitária de Telemedicina, RUTE, que fornece a infraestrutura para os Hospitais Universitários e de Ensino; e 2) o Programa Nacional de Telessaúde Aplicado à Atenção Básica, que utiliza a RUTE e atende à população e aos profissionais do Programa de Saúde da Família nos municípios (Messina *et al.*, 2008).

No Rio Grande do Norte, a Rede Universitária que fornece a estrutura física de conexão para estes hospitais é de responsabilidade da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Esta rede é um subconjunto de uma estrutura ainda maior, denominada Rede UFRN, composta por diversos outros segmentos (ensino, pesquisa e extensão) que são inerentes a uma instituição de ensino, e neste caso a rede tem por objetivo a integração destes segmentos. São vários os serviços associados a esta rede: correio eletrônico, portais institucionais e pessoais, transferência de arquivos, além dos sistemas de informação corporativos e de um provedor de Internet. Ao longo de seus 17 anos de existência, esta rede tem passado por diversas alterações, além de um crescimento acentuado. Atualmente, estima-se que a rede interna conecte mais de 8000 computadores, através do uso de cabos de par-trançado. Para a interligação dos ativos é usado, além do par-trançado, a fibra óptica, em especial no núcleo da Rede (*backbone*). Além destes dois meios físicos, a Universidade também dispõe de pontos de acesso sem fio, de forma a atender, em especial, dispositivos móveis como *notebooks* e PDAs (*Personal Digital Assistants*). Na camada de enlace (RM-OSI), é feito uso, principalmente, da “família” *Ethernet*, desde o padrão de 10 Mbps (compatibilidade com *hardware* mais antigo), até o 10 Gigabit *Ethernet*, usado no *backbone* da rede.

Por ser geograficamente distribuída, a rede UFRN é formada por diversos segmentos de rede (sub-redes IP), que são determinadas de acordo com a sua localização física, com o órgão ao

qual estão diretamente subordinados e com o tipo de utilização da rede (acadêmica ou administrativa).

A Figura 2 ilustra de uma forma geral a interligação da rede entre as diversas unidades da UFRN. Nela, podemos observar:

- **Campus Central** - local que concentra a maioria das sub-redes e equipamentos, tais como servidores, *firewall*, roteadores e toda a estrutura do provedor UFRNet. É também onde está situada a maior parte do *backbone* principal, abrigando quatro dos cinco *switches* 3Com 5500 que trabalham no quarto nível do RM-OSI e estão interconectados a 10 Gbps. Estes equipamentos são responsáveis pelo roteamento das 102 sub-redes existentes atualmente em toda a UFRN, e estão fisicamente localizados nos prédios da Superintendência de Informática (SIInfo), Reitoria, Centro de Convivência (CC) e Departamento de Enfermagem. Todas as sub-redes do *Campus* Central estão direta ou indiretamente ligadas a um dos quatro pontos do *backbone* principal, geralmente por meio de fibra óptica e usando o *Gigabit Ethernet*. A partir do *backbone* principal, tem-se uma topologia em estrela para a interligação dos demais prédios do *Campus* Central. Nas redes internas, a ligação é feita em cabos de par trançado, fazendo uso do *Fast Ethernet*.
- **Unidades Remotas em Natal** - tem como ponto principal o Centro de Ciências da Saúde (CCS), que, juntamente com o *backbone* do *Campus* Central, formam o *backbone* metropolitano, acomodando o quinto *switch* de nível 4. Outras duas unidades remotas estão interconectadas ao *backbone* metropolitano a 1Gbps: a Faculdade de Odontologia, o Museu Câmara Cascudo e o DOL (Departamento de Oceanografia e Limnologia).
- **Unidades Remotas no interior** - constituída pelos *Campi* de Caicó, Currais Novos, Santa Cruz e a Escola Agrícola de Jundiá (EAJ). A interconexão das 3 primeiras ao *Campus* Central é feita através do uso de linhas privadas (LPs) contratadas à Embratel, sendo uma para cada interior. Já a conexão da EAJ é feita através de um enlace sem fio (100 Mbps) entre a torre da TV Universitária (bairro de Morro Branco) e uma torre instalada exclusivamente com esta finalidade na EAJ, situada no município de Macaíba.

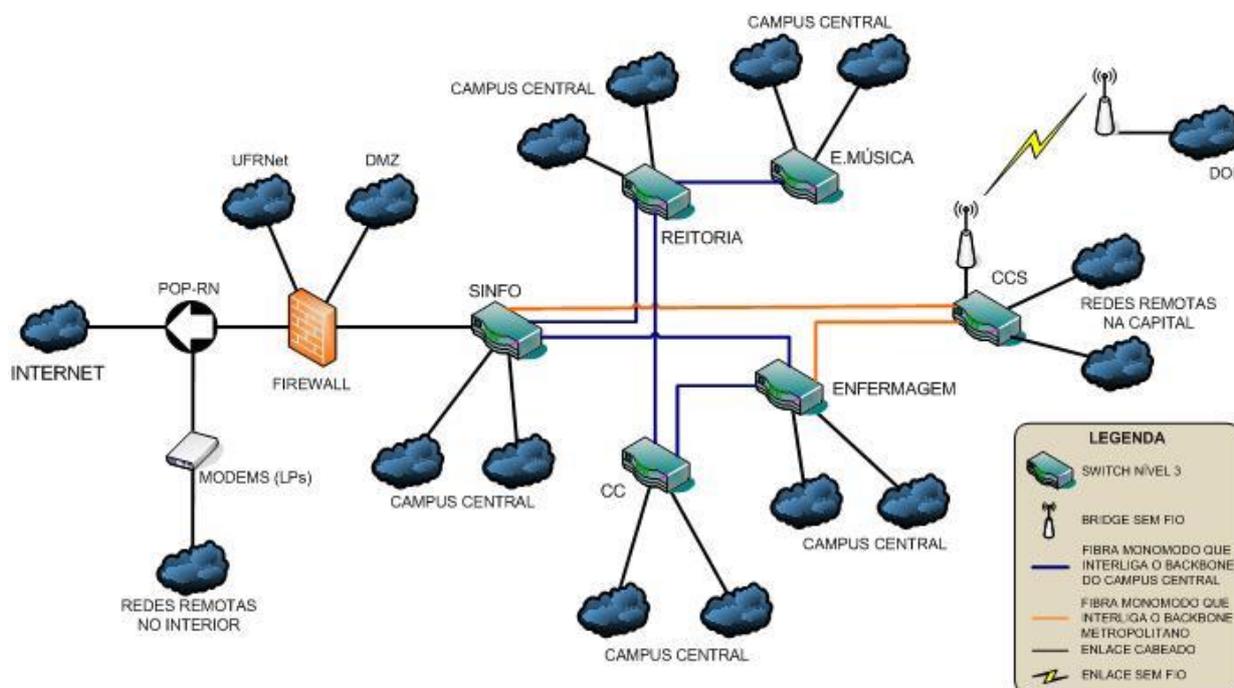


Figura 2 – Diagrama geral da Rede UFRN

A divisão da Rede UFRN em sub-redes é feita utilizando-se a tecnologia de redes virtuais, conhecidas por VLANs (*Virtual LANs*) e especificadas pelo padrão IEEE 802.1Q (IEEE 802.1Q, 1998). Sua utilização no *backbone* metropolitano possibilita a divisão da rede em diversos segmentos logicamente isolados. Cada VLAN deve ter um identificador (VLAN ID) associado a apenas uma interface de rede. Uma interface é determinada pelo endereço IP da rede, máscara e o endereço IP do roteador para esta interface, que corresponde a uma sub-rede. Este protocolo permite ainda que partes de uma rede estejam fisicamente em locais diferentes. Isto torna possível, por exemplo, que uma máquina localizada no CCS, e esta pertença à mesma rede (mesmo domínio de *broadcast*) de máquinas que estejam fisicamente na Reitoria. Desta forma, a comunicação ocorre sem que haja o roteamento na camada de rede aumentando a eficiência da rede no que se refere ao tempo de envio das mensagens.

2.4 Definição da Política de QoS e Metodologia

Os experimentos feitos na Rede de Saúde da UFRN tinham por finalidade analisar o comportamento desta frente aos desafios impostos pelas aplicações na área de saúde que poderão fazer uso da infraestrutura de rede. Neste sentido, foram realizados os seguintes testes:

- Testar o desempenho de fluxos concorrentes UDP, referente a aplicações de Telemedicina e Telessaúde, e TCP, referente a outros tipos de aplicação, sendo nos experimentos, representado pelo HTTP (responsável pela geração de tráfego) para a atual situação da rede, ou seja, sem políticas de QoS;
- Testar o desempenho de fluxos concorrentes UDP e TCP, após a aplicação de políticas de QoS nos ativos da rede.

2.4.1 Cenário de Teste

Diante do cenário exposto anteriormente, foram utilizados 10 computadores idênticos, tal qual é ilustrado na Figura 1 que apresentam a seguinte configuração de *hardware*: processador Intel Core 2 Duo com 3 GHz em cada núcleo; memória RAM de 4 GB; disco rígido com capacidade de 500 GB e interface de rede *Gigabit Ethernet*. Dentre estas estações, oito (identificadas de E1 até E8) eram usadas para gerar tráfego na rede através de requisições HTTP simultâneas a um servidor *web* localizado na SInfo. Paralelamente, as outras duas máquinas restantes geravam o fluxo UDP referente às aplicações de Telemedicina e Telessaúde: U1 (servidor conectado à sub-rede da Enfermagem) e U2 (cliente conectado à rede do HUOL). É importante ressaltar que, apesar do *backbone* operar a 10 Gbps, as demais ligações ilustradas na Figura 1 utilizam o *Gigabit Ethernet*.

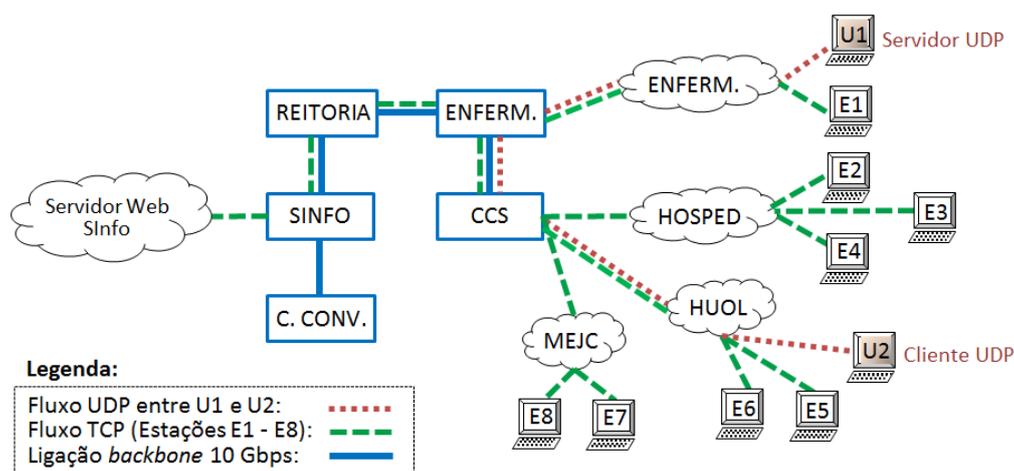


Figura 1 - Ambiente experimental para análise de desempenho.

2.4.2 Metodologia dos Testes

Para cada um dos experimentos (com e sem QoS), foi usada a seguinte metodologia:

- **Geração de tráfego web** - cada uma das oito máquinas (M1 até M8) executava o Apache JMeter¹ simulando 100 clientes enviando requisições pelo método POST. As respostas do servidor web localizado na SInfo eram de um arquivo de 1000 bytes. Os testes sem QoS foram divididos em três cenários, com duração de uma hora cada, variando de acordo com a quantidade de máquinas usadas para gerar as requisições: no 1º foram usadas 2; no 2º foram 4; e no 3º foram usadas todas as 8 máquinas posicionadas em diferentes localidades da UFRN (Figura 2) pertencentes à Rede da Saúde. A mesma metodologia foi usada nos testes com QoS. Este fluxo é um complemento ao tráfego atual de cada uma das redes, de forma que possamos medir o impacto de uma aplicação da rede sobre uma aplicação de Telemedicina e Telessaúde;

¹ Apache JMeter é uma aplicação open source escrita em Java e projetada para testes de comportamento e desempenho, originalmente projetado para testes em servidores web (JMETER, 2011).

- **Geração de tráfego UDP** - para simular a aplicação de Telemedicina e Telessaúde, foram configuradas duas máquinas fazendo uso do *framework* JPerf²: U1 e U2. Foi configurado um fluxo de 100 Mbps que concorria com o tráfego TCP gerado pelas requisições ao servidor *web*, durante o mesmo período de 1 hora. A própria aplicação é capaz de gerar as estatísticas sobre o fluxo, cujos resultados serão apresentados mais adiante;
- **Monitoramento do tráfego gerado** - Todo o monitoramento do tráfego é feito através de consultas SNMP, por meio do *software* Zabbix³, aos *switches* do *backbone* (SInfo, Reitoria, Enfermagem e CCS) envolvidos nos testes.

2.4.3 Política de QoS utilizada nos testes

O procedimento adotado para aplicação destas políticas consiste em definir privilégios no dispositivo de controle responsável pelo direcionamento e encaminhamento das mensagens na rede, no caso, o *switch*. Desta forma, é possível definir maior prioridade para o encaminhamento dos pacotes que correspondem às aplicações de Telemedicina e Telessaúde. No caso específico deste cenário de teste, estes pacotes correspondem ao fluxo UDP.

Neste contexto, de forma a programar esta política de prioridade (QoS) foi criada uma VLAN, chamada TELEMED, sobre a qual trafegam os dados oriundos das aplicações de saúde. Sendo assim, todos os dados pertencentes à VLAN TELEMED ganham maior prioridade em relação aos demais. Ou seja, internamente o *switch* divide a sua memória (*buffer*) em duas filas: uma para os quadros provenientes da VLAN TELEMED, que serão encaminhados mais rapidamente, e outra para o restante das demais aplicações da rede.

Desta forma, o *switch* realiza um escalonamento destas mensagens, porém, sempre que uma mensagem pertencente à VLAN TELEMED chega ao *switch*, esta será a próxima a ser enviada. As mensagens desta VLAN somente entram na fila de envio, quando há outras mensagens desta mesma VLAN para serem enviadas. Neste caso, prevalece a ordem de chegada, ou seja, supondo que três mensagens cheguem ao *switch* será enviada a que chegou primeiro, depois a segunda, a terceira, e assim por diante. Na política tradicional usada pelo protocolo *Ethernet*, chamada “melhor esforço” (*besteffort*), é mantida apenas uma fila no *buffer* onde os quadros são encaminhados na ordem de chegada - FIFO (*First In, First Out*). É importante destacar que com o uso de QoS por VLAN, o método FIFO continua a ser usado, porém, aplicado a filas distintas, onde a fila de Telemedicina e Telessaúde tem maior prioridade em relação as demais. A Figura 2 ilustra o procedimento que é realizado pelo *switch* ao receber as mensagens da rede.

2 JPerf é um *framework* simples para escrita e execução automática de testes de performance e escalabilidade (JPERF, 2011). *Software* gratuito escrito em Java que executa sobre o *Iperf* (IPERF, 2011).

3 Zabbix é um *software open source* usado para monitorar diversos parâmetros de uma rede como a integridade e desempenho dos servidores, com interface de configuração e monitoramento baseada na web (ZABBIX, 2011).

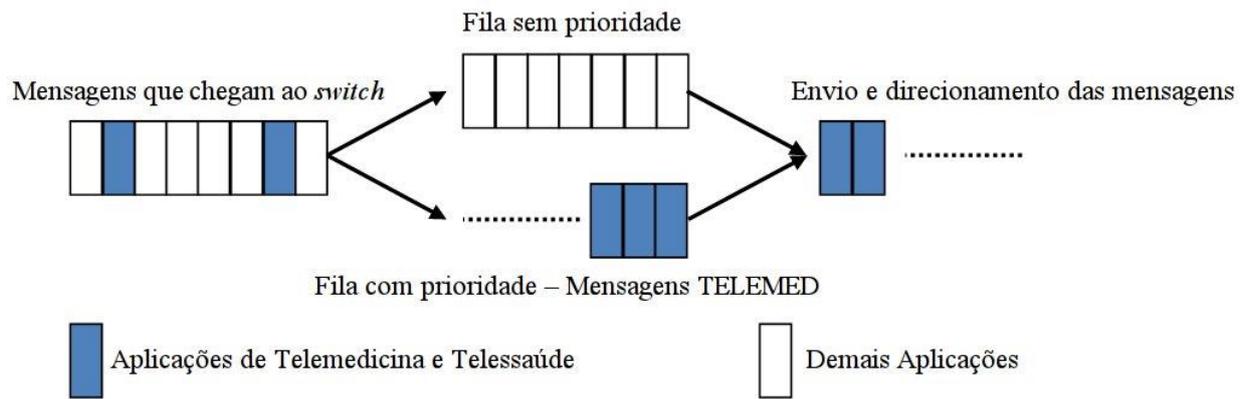


Figura 2 - Escalonamento de mensagens no *switch*.

3 RESULTADOS

As subseções seguintes apresentam os resultados obtidos na estrutura de rede descrita anteriormente. Vejamos o comportamento da Rede de Saúde diante dos casos de testes criados e seu respectivo desempenho quando são aplicadas políticas de QoS. Como forma de avaliar o impacto da política de QoS, foi criado um cenário crítico de tráfego na Rede de Saúde. Neste caso, a rede foi avaliada em dois momentos: um com a aplicação da política de QoS e outro sem o emprego desta política.

3.1 Caso de Teste sem Aplicação de Políticas de QoS

Ao gerar o fluxo UDP (simulação de uma aplicação de Telemedicina), o *JPerf* gera também algumas estatísticas, tais como *jitter* (em milissegundos), *throughput* (Kbps), perda de dados (porcentagem). A Figura 5 mostra os resultados obtidos para o *jitter* e da perda de pacotes em função do tempo (em segundos) para cada um dos três cenários: duas (Figura 5a e 5b), quatro (Figura 5c e 5d) e oito máquinas (Figura 5e e 5f) gerando as requisições HTTP (tráfego TCP).

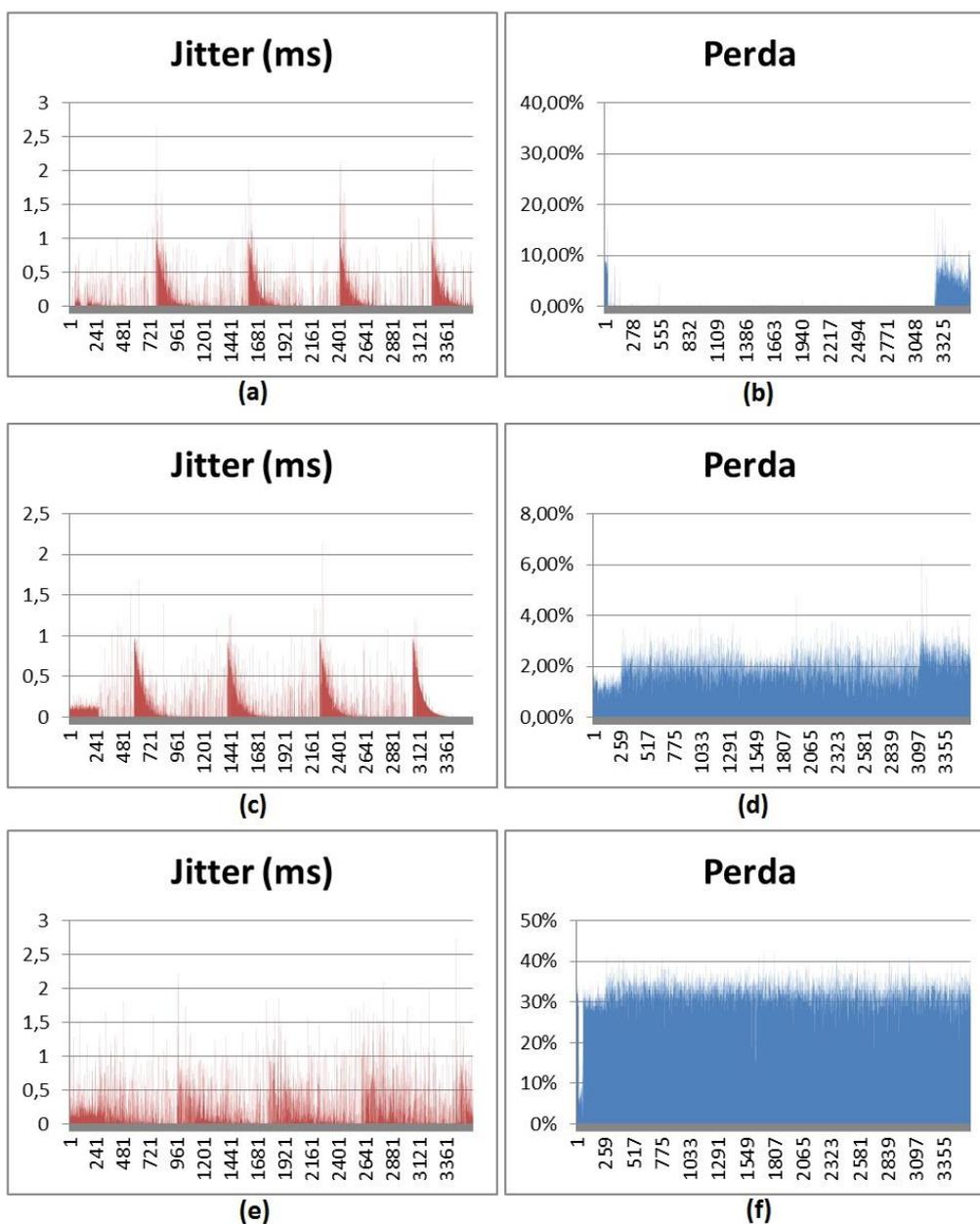


Figura 3 - Desempenho do *jitter* e perda de pacotes na rede sem aplicação de Política de QoS.

Como era de esperar, na medida em que se aumenta a quantidade de requisições na rede a qualidade do serviço prestado por ela diminui. Esta é uma característica do protocolo IP que se baseia na metodologia do melhor esforço para cada datagrama IP e dessa forma, não há como priorizar a entrega de pacotes referentes às mensagens mais relevantes. Isto faz com que o *jitter* e a perda de pacotes das mensagens de Telemedicina e Telessaúde sejam degradados.

3.2 Caso de Teste com Aplicação de Políticas de QoS

Assim como os testes realizados sem Políticas de QoS, a Figura 6 mostra os resultados obtidos para o *jitter* e da perda de pacotes em função do tempo (em segundos) para cada um dos três cenários: duas (Figura 6a e 6b), quatro (Figura 6c e 6d) e oito (Figura 6e e 6f) máquinas.

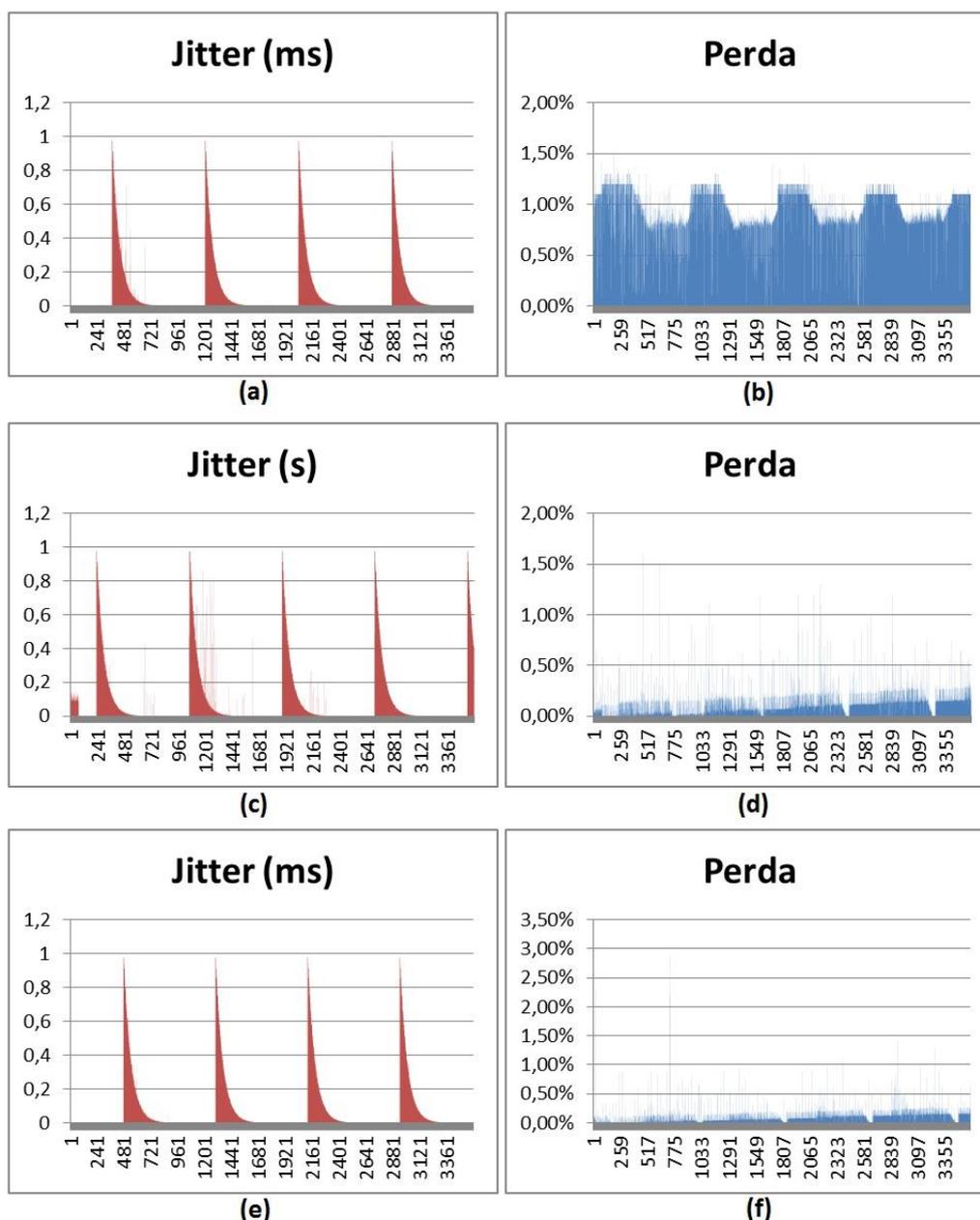


Figura 4 - Desempenho do *jitter* e perda de pacotes na rede com aplicação de Política de QoS.

Diferentemente dos resultados obtidos no caso de teste sem a aplicação da política de QoS proposta neste artigo, os resultados com a aplicação da mesma demonstra que o comportamento da rede, no que se refere às mensagens de Telemedicina e Telessaúde a qualidade do serviço não é comprometida com o aumento do tráfego da rede. Desta forma, a aplicação desta política na rede possibilita o aumento do fluxo de tráfego da rede por meio da incorporação de outras máquinas que não façam parte de forma efetiva das aplicações de saúde. Sendo assim, a estrutura de rede poderá ser utilizada de forma mista, ou seja, não é necessária a criação de uma estrutura física dedicada para as aplicações de Telemedicina e Telessaúde.

4 DISCUSSÃO

As redes de computadores são responsáveis pela realização de tarefas importantes e, por esta razão, a qualidade com que este serviço é prestado é mandatário para que os trabalhos dependentes do mesmo ocorram de forma eficiente. Neste sentido, a medição do desempenho da rede frente às diversas situações sob as quais esta estará submetida fornecerá evidências para que seja feita uma reestruturação da mesma para que um aplicativo possa executar de forma satisfatória. Por outro lado, esta análise também pode comprovar que a rede está apta a receber uma aplicação sem que para isso sejam necessários ajustes.

Diante dos valores obtidos na sessão Resultados podemos observar que a utilização de uma rede *Ethernet* é viável tendo em vista a utilização de políticas de QoS na Camada de Enlace. Esta constatação é possível ser feita devido às melhoras significativas no que diz respeito à redução do *jitter* e da taxa de perda de dados, as quais são observadas nas análises a seguir, que demonstram estes avanços.

4.1 Análise da Rede sem Aplicação de Políticas de QoS

Na Figura 5b, é importante observar uma perda de aproximadamente 10% dos pacotes no primeiro e nos últimos minutos de transmissão. Este comportamento é causado por algum fluxo na própria Rede UFRN, visto que os testes foram feitos nos equipamentos que se encontram em utilização. No cenário com quatro máquinas, a perda ficou em torno de 2% (Figura 5d), e para o caso de oito, a perda foi de aproximadamente 30% (Figura 5f), o que configura um valor bastante alto. Destes resultados podemos observar que, à medida que o tráfego da rede aumenta, a qualidade do serviço da rede cai, como era de se esperar, comprometendo o uso das aplicações de Telemedicina e Telessaúde. Neste caso, observando-se os gráficos de desempenhos, podemos notar que tanto o *jitter* como a taxa de perda de dados aumentam bastante na medida em que mais dados são transmitidos pela rede. Neste caso, a utilização da rede de forma convencional impossibilita que aplicações de Telemedicina e Telessaúde possam fazer uso da estrutura física da rede sem que tenham seus desempenhos comprometidos.

4.2 Análise da Rede com Aplicação de Políticas de QoS

Diante do que é exposto pelos gráficos dos experimentos (Figura 6) podemos observar que, sem QoS, à medida que aumentamos a carga das requisições HTTP na rede, através do aumento da quantidade de máquinas (equivalente às solicitações geradas pelas aplicações que não são de Telemedicina), torna-se maior também o *jitter* e, principalmente, a perda de dados para a aplicação de Telemedicina e Telessaúde. Isto demonstra que o grau de imprevisibilidade da rede aumenta sob estas circunstâncias. Todavia, ao realizar os mesmos testes com o emprego das políticas de QoS na rede, percebe-se uma significativa redução na porcentagem de perda de pacotes média e máxima, bem como do *jitter*, demonstrando portanto que as políticas de QoS aplicadas melhoraram a previsibilidade da rede. Tais aspectos são fundamentais para aplicações em Telemedicina e Telessaúde, uma vez que a rede mesmo quando submetida a um maior tráfego mantém um comportamento mais homogêneo, ou seja, mais constante.

Na Figura 6, podemos verificar que, comparativamente com os demais casos com aplicação de políticas de QoS, este primeiro apresentou maior variação na perda de pacotes. Todavia, os

valores dessas perdas são muito baixos, pois o maior caso não atinge se quer 1,5% de perda (Figura 6b). Além disso, no teste em que a quantidade de máquinas na rede foi maior, esta perda de dados tornou-se percentualmente menor na medida em que se aumenta a quantidade de máquinas (Figura 6d e 6f), o que evidencia a eficiência da política de QoS. Desta forma, observa-se que esta pequena oscilação é característica de um momento mais crítico da rede e que ainda assim não compromete a funcionalidade das aplicações de Telemedicina e Telessaúde que fazem uso desta rede. Além disso, fica claro que a variação do atraso torna-se muito mais constante, principalmente quando as demandas das aplicações aumentam, o que pode ser constatado pelo aumento da quantidade de máquinas na rede (Figura 6a, 6c e 6e). Isso permite a conclusão de que a aplicação destas políticas possibilita o uso satisfatório de aplicações de Telemedicina que sejam dependentes desta característica da rede, sem que estas sejam comprometidas.

5 CONCLUSÃO

Considerando o objetivo do presente estudo, ou seja, apresentar uma abordagem baseada na aplicação de políticas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) e análise do comportamento da Rede Metropolitana de Telemedicina dos Hospitais Universitários de Natal em situações de pico de uso desta, faz-se necessário alinhar os aspectos mais marcante nesta área de atuação.

Em primeiro lugar, observou-se que as aplicações que funcionam sobre tecnologias *Ethernet* são bastante susceptíveis à variação do atraso. Isto pôde ser constatado por meio dos experimentos realizados no desenvolvimento deste trabalho. Entretanto, foi possível constatar que a criação de um ambiente baseado em políticas de QoS reduz significativamente os problemas que são inerentes a esta tecnologia.

Conclui-se desse modo, que a aplicação de políticas de prioridades em VLANs demonstrou ser bastante eficiente para contornar os problemas referentes à variação do atraso da rede. Além disso, a utilização desta tecnologia associada com a transmissão por meio de fibras ópticas permitiu a criação de redes metropolitanas seguras e de longo alcance, aumentando a área de cobertura dessas redes.

Também ficou evidente, que no caso específico do *jitter*, mesmo com o aumento da quantidade de requisições e o uso intenso da rede, a aplicação das políticas de QoS tornou mais estável a variação do atraso das mensagens, mantendo-se praticamente constante ao longo do tempo. Desta forma, a aplicação destas regras tornou o comportamento da rede mais previsível o que favorece a utilização de aplicativos na área de Telemedicina e Telessaúde. Neste caso, diversas aplicações na área de telemedicina que utilizem transmissão de dados, imagem, vídeo ou áudio, principalmente estas duas últimas, podem ser utilizadas em redes não dedicadas com maior estabilidade e eficiência.

A partir desta constatação, observa-se que esta vantagem permite a integração dos grandes centros hospitalares permitindo que mais especialidades médicas possam ser levadas para outras localidades. A utilização de redes metropolitanas que empreguem estas políticas permitirá que estes grandes centros possam se comunicar de forma satisfatória. Sendo assim, os *softwares* que utilizem a rede de forma crítica poderão ser utilizados de forma satisfatória, pois a criação deste

ambiente de rede irá privilegiar o envio das mensagens geradas por estes aplicativos de *software* em detrimento de outras aplicações.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde (LAIS) do Hospital Universitário Onofre Lopes (HUOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), o qual ofereceu a infraestrutura para o desenvolvimento da pesquisa abordada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrews FT. The telephone network of the 1960s. IEEE Communications Magazine. 2002; 40(7):101-109.
2. Aurrecochea C, Campbell AT, Hauw L. A Survey of QoS Architectures. JournalMultimedia Systems. 1998; 6(3):138-151.
3. Barroso-Júnior MC, Esteves GP, Nunes TP, Silva LMG, Faria ACD, Melo PL. A telemedicine instrument for remote evaluation of tremor: design and initial applications in fatigue and patients with Parkinson's Disease. BioMedical Engineering OnLine. 2011; 10(14):1-17, doi:10.1186/1475-925X-10-14.
4. Bashshur RL, Reardon TG, Shannon GW. Telemedicine: a new health care delivery system. Annual Reviews of Public Health. 2000; 21:613-637, PMID: 10884967.
5. Cerny M, Penhaker M. The HomeCare and Circadian Rhythm. ITAB 2008: International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine. 2008 Mai 30-31; Shenzhen, China. 2008. p. 245-248.
6. Charikar M, Naor J, Schieber B. Resource Optmization in QoS Multicast Routing Of Real-time Multimedia. IEEE/ACM Transaction Networking. 2004; 12(2):340-348.
7. Clifford GD, Blaya JA, Hall-Clifford R, Fraser HSF. Medical information systems: A foundation for healthcare technologies in developing countries. BioMedical Engineering OnLine. 2008; 7(18):1-8, doi:10.1186/1475-925X-7-18.
8. Eysenbach G. What is e-health? Journal of Medical Internet Research [Internet]. Available from: <http://www.jmir.org/2001/2/e20>.
9. Hu F, Kumar S. QoS Considerations in Wireless Sensor Networks for Telemedicine. In Proceedings of SPIE ITCOM Conference. Orlando, Florida. 2003.
10. IEEE 802.1Q. IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Draft Standard for Virtual Bridged Local Area Networks, P802.1Q, 1998.
11. Iperf. Available from: <http://iperf.sourceforge.net>.
12. Jmeter. Available from: <http://jakarta.apache.org/jmeter>.
13. Jperf. Available from: <http://sourceforge.net/projects/jperf>.
14. Kyriacou E, Pavlopoulos S, Berler A, Neophytou M, Bourka A, Georgoulas A, Anagnostaki A, Karayiannis D, Schizas C, Pattichis C, Andreou A, Koutsouris D. Multi-purpose HealthCare Telemedicine Systems with mobile communication link support. BioMedical Engineering

- OnLine. 2003; 2(7): 1-12, doi:10.1186/1475-925X-2-7.
15. Lin JC. Applying Telecommunication Technology to Healthcare Delivery. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. 1999; 18(4):28-31.
 16. Maheu MM, Whitten P, Allen A. E-health, telehealth, and telemedicine: A guide to start-up and success. 1th ed. Editora: Jossey-Bass, 2001.
 17. Martins JSB. Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos. Grupo de Redes de Computadores. UNIFACS-BA, 2000, 25 p.
 18. Mclendon K. E-commerce and HIM: Ready or not, here it comes. Journal of the American Health Information Management Association. 2000; 71(1):22-23.
 19. Messina LA. Telemedicina e Telessaúde - A Construção de Redes Colaborativas de Ensino, Pesquisa e Assistência ao Diagnóstico e ao Tratamento em Saúde no Brasil. Revista Informática Pública. 2008; 10(2):97-104.
 20. Morais AHF. eOSI: Um modelo para Desenvolvimento de Sistemas Embarcados Tolerantes a Falhas [Dissertação]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2009, 115 p.
 21. Niyato D, Hossain E, Diamond J. IEEE 802.16/WiMAX-based broadband wireless access and its application for telemedicine/e-health services. IEEE Wireless Communications. 2007; 14(1):72-83.
 22. OMS. Organização Mundial da Saúde. Available from: <http://www.who.int/en>.
 23. Pedreiras P, Almeida L, Gai P. The FTT Ethernet protocol: Merging flexibility, timeliness and efficiency. Proceedings of the 14th Euromicro Conference on Real-Time Systems; 2002, Jun 19-21; Vienna, Austria. p. 134-142.
 24. RUTE - Rede Universitária de Telemedicina, Rede Nacional de Ensino e Pesquisa - RNP. Available from: <http://rute.rnp.br>.
 25. Ross KW, Kurose JF. Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-down. 3th ed. São Paulo: Editora Pearson, 2006.
 26. Soares LF, Colcher S, Souza GL. Redes de Computadores: Das LANs, MANs e WANs às redes ATM. 2nd ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995.
 27. Tanenbaum AS. Redes de Computadores. 4th ed. Rio de Janeiro: Editora Campus; 2003.
 28. Valentim RAM. Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar sobre Multicast com IEEE 802.3 utilizando IGMP Snooping [Tese]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2008, 159 p.
 29. Zabbix. Available from: <http://www.zabbix.com>.
 30. Zvikhachevskaya A, Markarian G, Mihaylova L. Quality of Service consideration for the wireless telemedicine and e-health services. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2009, p. 1-6.