

UMA ABORDAGEM PARA A GARANTIA DE QUALIDADE EM REDES SEM FIO EM MALHA

Victor Andrade Machado, Celso Massaki Hirata

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
São José dos Campos - SP
victoram@ufpa.br; hirata@ita.br

Marlon da Silva, Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
São José dos Campos - SP
{marlon.silva; vijay}@lac.inpe.br

Carlos Natalino da Silva, Rosinei de Sousa Oliveira

Carlos Renato Lisboa Francês, Joao Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
Universidade Federal do Pará
Belém - PA
{cns; nei; rfrances; jweyl}@ufpa.br

Edson Luiz França Senne

Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá
Guaratinguetá - SP
elfsenne@feg.unesp.br

RESUMO

A utilização de redes sem fio em malha possibilita estender a cobertura de uma rede sem fio. Isto pode ser importante em localidades difíceis de serem alcançadas por um único roteador. No entanto, além de assegurar uma boa cobertura aos clientes, uma rede sem fio precisa garantir um serviço de boa qualidade. Para algumas aplicações, por exemplo, as aplicações multimídia, a qualidade do serviço oferecido pela rede é imprescindível. Neste trabalho, propõe-se uma abordagem para a garantia de qualidade em redes sem fio em malha, utilizando-se parâmetros de QoE obtidos a partir de métricas estabelecidas para alguns parâmetros de QoS. Resultados computacionais mostram que a abordagem proposta é efetiva para garantir a qualidade de uma rede sem fio em malha.

PALAVRAS-CHAVE: QoE, QoS, Redes sem fio em malha, Simulação.

Área principal: TEL&SI - PO em Telecomunicações e Sistemas de Informações.

ABSTRACT

The use of wireless mesh networks enables extending the coverage of a wireless network. This can be important in places difficult to reach for a single router. However, in addition to ensuring good coverage to clients, a wireless network needs to ensure a good quality service. For some applications, such as multimedia applications, quality of service offered by the network is essential. In this paper, we propose an approach to quality assurance in wireless mesh networks, based on QoE parameters obtained from some QoS parameters. Computational results show that the proposed approach is effective to ensure quality of a wireless mesh network.

KEYWORDS: QoE, QoS, Wireless mesh networks, Simulation.

Main area: TEL&SI - OR in Telecommunications and Information Systems.

1. Introdução

As tecnologias de rede sem fio têm sido difundidas cada vez mais em todo o mundo. O acesso à Internet, por exemplo, vem sendo provido, com frequência cada vez maior, por redes sem fio em empresas, instituições de ensino e pesquisa, e em residências. A tecnologia no padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi), capaz de cobrir uma área de cerca de 100 metros de raio, soluciona problemas de usuários que não podem contar com serviços de rede cabeada. Atualmente também é cada vez mais frequente o uso da tecnologia sem fio para transmissão de conteúdos multimídia (áudio e vídeo), além de outras aplicações como serviços de telefonia, TV digital, videoconferência, entre outros.

Devido ao aumento da demanda, versões mais aperfeiçoadas da tecnologia sem fio vêm sendo criadas. Um exemplo é o padrão IEEE 802.16 (WiMAX), que garante uma área de cobertura de 20 a 50 km de raio. Por outro lado, a tecnologia WiMAX necessita de uma antena receptora no lado do cliente e nem sempre é uma alternativa viável, devido ao alto custo de instalação.

Uma outra alternativa para estender a área de cobertura para os clientes é a tecnologia de rede sem fio em malha (conhecidas como redes *mesh*). A rede sem fio em malha tem como característica principal a transmissão multissalto, em que os dados são transmitidos de um roteador para outro a fim de estender a cobertura do sinal da rede para localidades não alcançadas por um único roteador.

Uma rede sem fio em malha é composta por nós que usufruem do serviço oferecido pela rede – os clientes – e por nós que transmitem os dados aos clientes, denominados pontos de acesso ou APs (*access points*). Os APs que recebem o sinal de uma fonte externa à rede sem fio (normalmente, por meio de uma conexão cabeada) são conhecidos como *gateways*, enquanto que os APs que recebem o sinal de outros APs da rede são chamados de roteadores.

O planejamento de uma rede sem fio em malha compreende a determinação do número e da localização dos *gateways* e roteadores necessários. Além disso, o planejamento de uma rede sem fio em malha deve levar em conta a qualidade do serviço a ser oferecido pela rede, sobretudo quando a rede deve transmitir aplicações multimídia. Para avaliar a qualidade de serviço (QoS) de uma rede, normalmente, são utilizados alguns parâmetros, tais como: atraso, *jitter*, perda de pacotes e largura de banda. A análise desses parâmetros pode indicar se a rede atende ou não requisitos que satisfaçam os clientes como um todo.

No entanto, parâmetros de QoS não permitem avaliar a opinião de usuários individuais sobre o desempenho da rede. Pode ocorrer, por exemplo, que os parâmetros de QoS indiquem uma boa qualidade de serviço, mas o nível de satisfação de alguns usuários ainda seja baixo. Para considerar a opinião dos usuários quanto ao serviço oferecido, outras métricas foram criadas e denominadas como parâmetros de qualidade de experiência (QoE). No caso de aplicações de áudio e vídeo, a percepção do usuário pode ser importante e, neste caso, os parâmetros de QoE podem ser medidas de desempenho efetivas para garantir um bom desempenho da rede.

Neste trabalho, propõe-se uma abordagem para assegurar a garantia de qualidade em redes sem fio em malha, utilizando parâmetros de QoS e QoE. Os parâmetros de QoS são obtidos a partir de um processo de simulação de Monte Carlo, que analisa o comportamento da rede, diante de taxas de demanda dos clientes e taxas de atendimento dos APs, para verificar se a topologia atual da rede é capaz de alcançar níveis de qualidade previamente estabelecidos (Silva *et al.*, 2010). Em função dos valores obtidos para os parâmetros de QoS e com base em fórmulas propostas por (Kim *et al.*, 2008), obtém-se os parâmetros de QoE.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os assuntos abordados. A Seção 3 descreve a abordagem proposta, indicando como são obtidos e combinados os parâmetros de QoS e QoE. A Seção 4 apresenta os resultados computacionais obtidos para alguns cenários de utilização de rede sem fio em malha. As conclusões do trabalho e algumas sugestões de trabalhos futuros estão apresentadas na Seção 5.

2. Revisão Bibliográfica

Redes sem fio em malha (Akyldiz *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2006) possuem como características importantes o baixo custo, robustez, autoconfiguração e a facilidade de manutenção, frente a outros tipos de redes que possuem coberturas extensas. O planejamento de uma rede *mesh* é um passo importante para garantir que todos os clientes sejam atendidos da melhor maneira possível. Alguns trabalhos propõem planejamentos que determinam, em suma, a quantidade e a localização dos APs.

Sen e Raman (2007) tratam o planejamento de redes em malha para um conjunto de vilas que devem ser equipadas com conectividade de rede a partir de um determinado nó fixo. O objetivo é determinar a topologia de custo mínimo capaz de atender às condições de *throughput*, potência e interferência no enlace entre os nós. No problema, são adotadas como variáveis a topologia da rede (*layout*), a altura da antena, o tipo de antena e suas orientações, e a potência de transmissão no sistema, que afetam o custo e o desempenho da rede.

Os trabalhos de Amaldi *et al.* (2008) e Benyamina *et al.* (2009) apresentam modelos de Programação Matemática para o planejamento de redes sem fio em malha que assegurem a cobertura dos APs a todos os clientes da rede e a conectividade multissalto da rede. Esses trabalhos, no entanto, não consideram uma avaliação de qualidade de serviço em relação a aplicações multimídia (áudio e vídeo).

Silva e Albuquerque (2009) consideram a priorização de pacotes de áudio em uma rede *mesh*. O trabalho destaca três parâmetros para avaliar a qualidade da rede: perda de pacote, atraso e *jitter*. Neste trabalho as redes *mesh* são consideradas como redes IP do padrão IEEE 802.11, em que os dados são transportados da forma mais rápida possível (modelo de melhor esforço), mas não existe garantia quanto ao atraso (que não é tão crucial no caso de pacotes de dados quanto é no caso de pacotes de áudio e vídeo).

Agboma e Liotta (2010) desenvolvem um *framework* de gerenciamento para construção de modelos de QoE para diferentes tipos de conteúdo multimídia entregues em dispositivos móveis típicos. Uma técnica de modelagem estatística é empregada, correlacionando parâmetros de QoS com estimativas de percepções de QoE. Essas correlações são dependentes dos conteúdos multimídia considerados.

Menkovski *et al.* (2010) apresentam um método para a construção de modelos de predição de QoE utilizando técnicas de aprendizado de máquina, a partir do *feedback* em tempo real de clientes. Esta abordagem de aprendizagem constrói e adapta os modelos de predição que estimam a QoE, baseado em métricas de QoS obtidas em tempo real. A utilidade desta abordagem foi demonstrada comparando os resultados obtidos com dados obtidos previamente por estudos subjetivos convencionais.

Silva *et al.* (2012) utilizam Programação Matemática para obter uma boa topologia para uma rede sem fio em malha, levando-se em conta parâmetros de QoS como: perda de pacotes e atraso médio, considerando que na rede trafegam serviços de dados, áudio e vídeo – conhecidos como *triple play*. Neste trabalho, no entanto, não há um tratamento para a qualidade da rede em função da percepção dos usuários.

3. A Abordagem Proposta

Sejam $P = \{1, 2, \dots, n\}$, o conjunto de locais pré-fixados para a instalação de APs e $C = \{1, 2, \dots, m\}$, o conjunto de clientes a serem atendidos por uma rede sem fio em malha. Para assegurar a qualidade dos serviços oferecidos aos clientes, o planejamento desta rede deve levar em conta os passos mostrados na Figura 1.

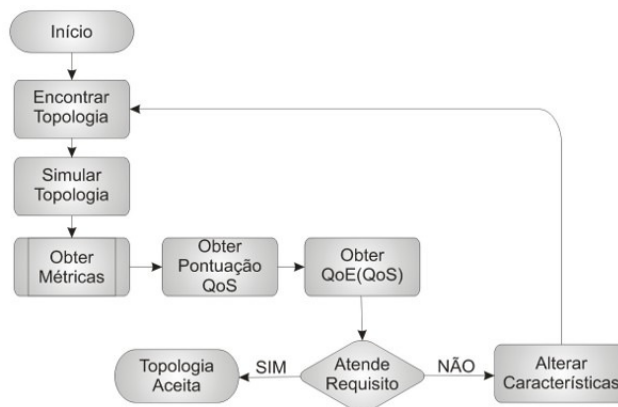


Figura 1. Representação do processo de planejamento proposto

Neste processo, dados os conjuntos P e C , o primeiro passo é determinar uma boa topologia da rede, ou seja, a forma mais econômica de localizar os *gateways* e roteadores de forma a cobrir todos os clientes. Isso foi considerado em Silva *et al.* (2012), que utilizando Programação Matemática, obtêm uma boa topologia. O passo seguinte é simular a utilização da rede, considerando que os clientes demandam serviços de áudio e vídeo. Este processo de simulação resulta em algumas métricas da rede como, por exemplo, a quantidade de pacotes perdidos, o tempo médio de atraso dos pacotes, dentre outros. Com as métricas obtidas pelo processo de simulação, o passo seguinte é obter os valores dos parâmetros de QoS escolhidos para assegurar a qualidade da rede e, em seguida, determinar os valores dos parâmetros de QoE em função destes valores dos parâmetros de QoS. O passo seguinte é verificar se os valores obtidos para os parâmetros de QoE alcançam os requisitos mínimos de qualidade exigidos para a rede. Caso alcancem, a atual topologia da rede é aceita; caso contrário, são modificadas algumas características que influenciam o serviço da rede como, por exemplo, o número máximo permitido de *gateways* ou o número máximo de roteadores que cobrem uma mesma área, e o processo é reiniciado.

O processo de avaliação da rede, por meio dos parâmetros de QoS e o processo de verificação da satisfação dos clientes, por meio dos parâmetros de QoE, são descritos nas subseções a seguir.

3.1 Avaliação dos parâmetros de QoS

Para a avaliação dos parâmetros de QoS, considera-se que as taxas de chegada de pacotes em cada AP e as taxas de atendimento dos APs aos clientes podem ser descritas aproximadamente como um processo de Poisson (Sunny *et al.*, 2011). Cada cliente demanda serviços com taxas λ_{ai} para áudio e λ_{vi} para vídeo, com $i \in C$. Considera-se que as taxas de atendimento μ_j , com $j \in P$, possuem um comportamento aproximado de uma distribuição exponencial. Neste caso, pode-se considerar que cada AP possui apenas uma única fila de atendimento (*buffer*), que independe do tipo de dados que trafega na rede.

Seja $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ o vetor que representa o estado em que se encontram os n pontos candidatos a APs, sendo que, para cada $j \in P$, u_j representa a quantidade de pacotes armazenados na fila. Cada AP, dependendo do seu estado de trabalho, pode estar disponível para atender a um cliente ou, no momento em que recebe uma requisição da rede, pode estar ocupado atendendo a algum outro cliente. Neste último caso, a requisição deve entrar na fila para atendimento, caso a fila ainda não esteja cheia; caso contrário, a requisição é perdida. Na simulação, admite-se que u_j seja igual ao número de pacotes existentes nos *buffers* dos APs, ou seja $u_j \in \{0, 1, \dots, c_j\}$, em que c_j é o número máximo de pacotes que podem ser inclusos na fila de atendimento do AP j . No caso de entrar numa fila, uma requisição deve entrar na fila de todos os APs que compõem o trajeto que a informação necessita percorrer desde o cliente até o *gateway* correspondente.

Seja γ_T a quantidade de pacotes demandados no sistema, para todo o tipo de informação T e seja $\gamma_{T,loss}$ a quantidade de pacotes perdidos do tipo T e $\gamma_{T,error}$ a quantidade de pacotes do tipo T enviados com erro. Como comentado anteriormente, para este trabalho $T = \{\text{áudio, vídeo}\}$.

O processo de simulação utilizado baseia-se no trabalho de Silva *et al.* (2012), que considera o método de Monte Carlo. Neste trabalho, além das medidas de perda de pacotes e atraso médio consideradas por Silva *et al.* (2012), considera-se a medida da variação do atraso ou *jitter*. A Figura 2 mostra o algoritmo de simulação utilizado para obter as medidas de desempenho da rede.

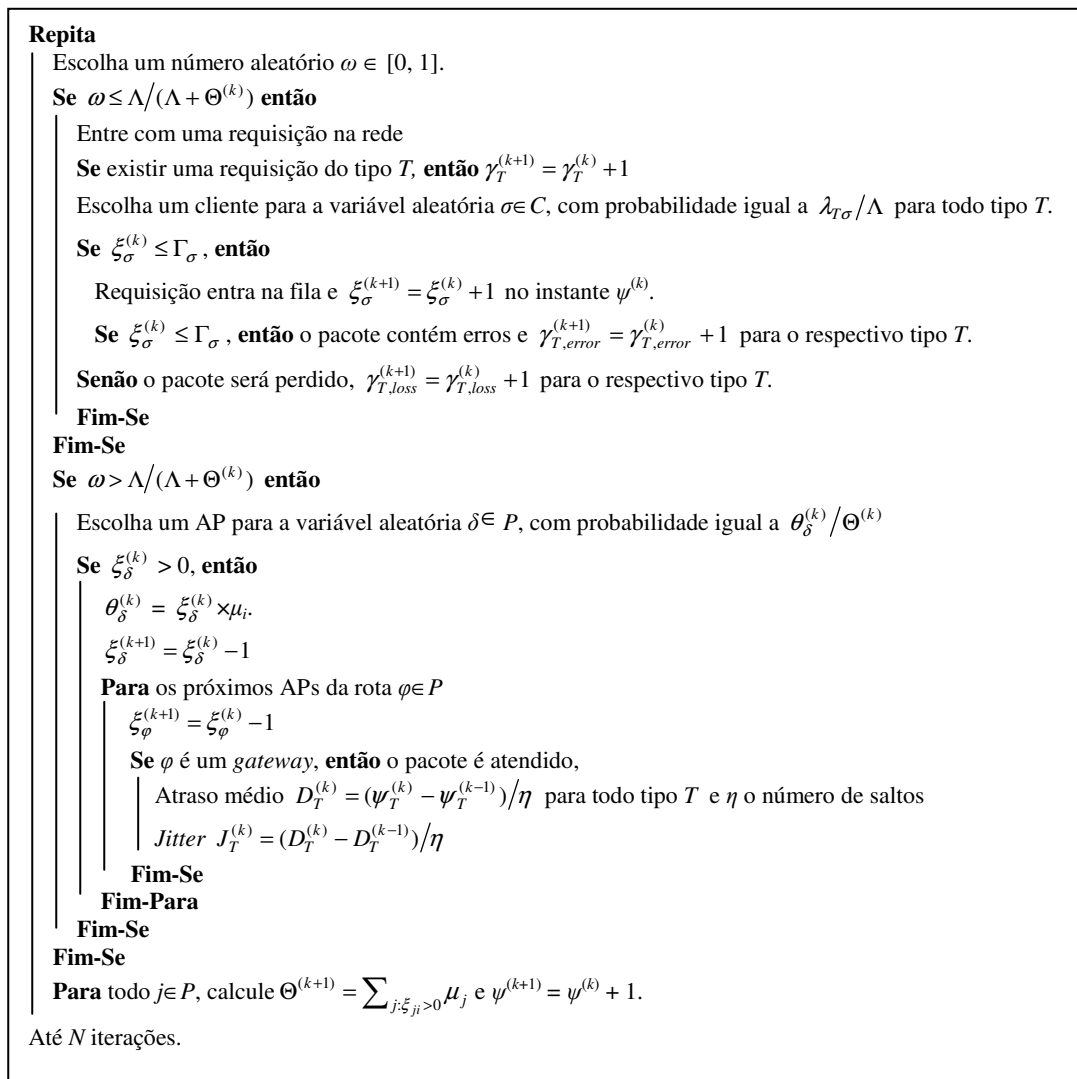


Figura 2. Algoritmo de simulação de Monte Carlo

Concluída a simulação, são estimados os parâmetros de QoS: a probabilidade de perda é calculada como $p_{T,loss} = \gamma_{T,loss}^{(k)} / \gamma_T^{(k)}$, o atraso médio é calculado como $D_T = \sum_{k=1}^N D_T^{(k)} / N$, o *jitter* é calculado como $J_T = \sum_{k=1}^N J_T^{(k)} / N$, a probabilidade de erro é calculada como $p_{T,error} = \gamma_{T,error}^{(k)} / \gamma_T^{(k)}$ e a taxa de sucesso de chamada é igual à média geométrica das probabilidades complementares de perda e de erro, para todo o tipo T de informação.

A obtenção dos parâmetros de QoS permite avaliar a qualidade da rede como um todo. No entanto, tais medidas podem ser insuficientes para detectar se existe algum usuário com

problemas em utilizar a rede. Para este caso, uma avaliação da qualidade de experiência do usuário pode ajudar a encontrar problemas que alguns usuários possam vir a sofrer.

3.2 Obtenção dos parâmetros de QoE

A análise da qualidade de experiência (QoE) surgiu da necessidade de controle da qualidade de serviços de telefonia. Em estudo realizado por Klaue *et al.* (2003), ao usar o telefone, os usuários atribuíam notas de 1 a 5 para a qualidade da transmissão. Esse tipo de avaliação mais tarde foi estendido para serviços de Internet, principalmente com o crescimento da demanda de tráfego de vídeo. Formulações foram criadas de modo que representassem a opinião de pessoas.

Neste trabalho, calcula-se o valor de QoE a partir dos resultados de QoS, obtidos pelo processo de simulação. Para isso, utiliza-se a formulação proposta por Kim *et al.* (2008), considerando variáveis mostradas na Tabela 1 e a pontuação dos parâmetros conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 1. Variáveis de QoS a serem utilizadas

Variável	Significado	Parâmetro
<i>D</i>	<i>Delay</i>	Atraso médio
<i>J</i>	<i>Jitter</i>	Variação do atraso
<i>L</i>	<i>packet Loss rate</i>	Taxa de perda de pacotes
<i>E</i>	<i>packet Error rate</i>	Taxa de erros de pacotes
<i>B</i>	<i>Bandwidth</i>	Largura de banda
<i>S</i>	<i>call Success rate</i>	Taxa de sucesso de chamada

Tabela 2. Parâmetros de QoS e intervalo relacionados com QoE

Parâmetro	Intervalo	Pontuação
Atraso (<i>D</i>)	70 ~ 100 ms	10
	100 ~ 150 ms	8
	150 ~ 200 ms	6
<i>Jitter</i> (<i>J</i>)	30 ~ 50 ms	10
	50 ~ 60 ms	5
	60 ~ 70 ms	3
Taxa de Perda de Pacotes (<i>L</i>)	$\sim 10^{-4}$	10
	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	7
	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	3
Taxa de Erro de Pacote (<i>E</i>)	$\sim 10^{-5}$	10
	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	7
	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	4
Largura de Banda (<i>B</i>)	3 ~ 2 Mbps	10
	2 ~ 1 Mbps	8
	1 ~ 512 Kbps	5
Taxa de Sucesso de Chamada (<i>S</i>)	100 ~ 99.9%	10
	99.9 ~ 99.0%	9
	99.0 ~ 98.0%	8

Assim, a partir dos valores para os parâmetros de QoS obtidos pelo processo de simulação, determina-se a pontuação individual de cada parâmetro e calcula-se a pontuação geral de QoS como:

$$QoS = D + J + L + E + B + S \quad (1)$$

onde *D*, *J*, *L*, *E*, *B* e *S* correspondem, respectivamente, às pontuações individuais dos parâmetros. Uma vez definida a pontuação geral de QoS, determina-se o valor do parâmetro de QoE como:

$$QoE(QoS) = K \left[\frac{(e^{QoS-\alpha} + e^{-QoS+\alpha})}{(e^{QoS-\alpha} + e^{-QoS+\alpha} + \beta)} \right] \quad (2)$$

em que as variáveis K , α e β (Kim *et al.*, 2008) são utilizadas para ajustar as diferentes condições de transmissão, características da rede e requisitos do usuário. O valor de K corresponde ao valor máximo para o parâmetro de QoE a ser utilizado. O valor de α representa a classificação de QoS que necessita ser atingida, a fim de satisfazer o nível de QoE exigido, ou seja, determinar o valor mínimo padrão de QoE para que o serviço prestado seja satisfatório. Já o valor de β é determinado de acordo com a classe de serviço oferecido pela rede, ou seja, variando de acordo com a aplicação que será avaliada pela rede. Neste caso, o valor de β é ajustado para garantia de qualidade em aplicações de áudio e vídeo.

O parâmetro de QoE utilizado neste trabalho é o MOS (*Mean Opinion Score*), que classifica quão satisfatório é o atendimento da rede segundo o ponto de vista de seus usuários. As normas que definem a obtenção desta métrica são especificadas pela ITU-T (International Telecommunication Union) como a ITU-T BT.500 (ITU, 2000) e a P.900 (ITU, 2008). A Tabela 3, adaptada de Klaue *et al.* (2003), mostra os valores adotados para classificar o MOS.

Tabela 3. Escala de valores e classificação do MOS

Escala	Qualidade	Dano
5	Excelente	Imperceptível
4	Bom	Perceptível, mas não incômodo
3	Razoável	Levemente incômodo
2	Pobre	Incômodo
1	Ruim	Muito incômodo

Caso o MOS não alcance um valor satisfatório, pode-se imaginar existir algum problema na topologia da rede que os parâmetros de QoS não são capazes de detectar, mas que estão comprometendo a qualidade de transmissão de pacotes para alguns usuários.

4. Resultados computacionais

Os testes computacionais foram realizados em redes para as quais as topologias, como encontradas em Silva *et al.* (2012), são consideradas satisfatórias em relação aos parâmetros de QoS taxa de perda de pacotes e atraso médio. Para o presente trabalho foram incorporadas na análise outras medidas de desempenho da rede: *jitter*, largura de banda, taxa de erro e taxa de sucesso. São simulados e avaliados dois cenários para verificar se as topologias também atendem aos parâmetros de QoE.

Para a equação (2), os parâmetros adotados são: $K = 5$, $\alpha = 24$ e $\beta = 5 \times 10^{11}$. Tais valores são adotados de forma a garantir um serviço de boa qualidade aos usuários (Kim *et al.*, 2008). A Figura 3 mostra o gráfico da função de QoE em função do valor de pontuação geral de QoS. Observe que os valores dos parâmetros K , α e β foram escolhidos de modo que a função QoE(QoS) resulte em níveis satisfatórios (bom e excelente) somente para valores de QoS acima de 50, requisito mínimo para a transmissão de vídeo.

Em ambos os cenários, todos os APs são do mesmo modelo, utilizam a mesma especificação IEEE 802.11 e a mesma capacidade de armazenamento de *buffer* de até 300 pacotes, além de possuírem raio de cobertura de até 125 metros de forma omnidirecional. Também será considerada a largura de banda fixa para ambas as instâncias, como 2Mb/s, tanto para áudio quanto para vídeo.

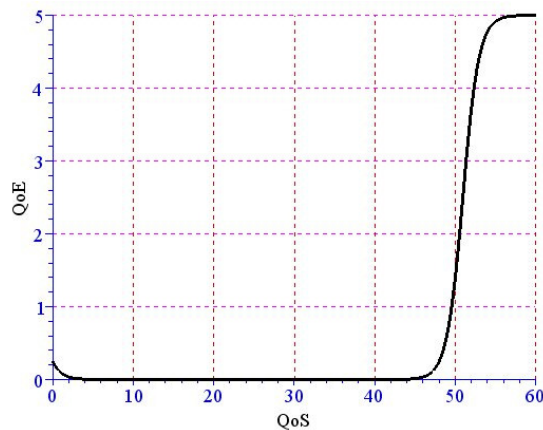


Figura 3. Relação adotada entre QoS e QoE

4.1 Cenário 1

A abordagem proposta foi aplicada em uma instalação de rede sem fio em malha localizada em um residencial compreendendo uma área de 500×500 m², com topologia que atende aos parâmetros de QoS probabilidade de perda e atraso médio. Nesta rede, existem 2 gateways e 6 roteadores para atendimento a 80 clientes, como ilustra a Figura 4.

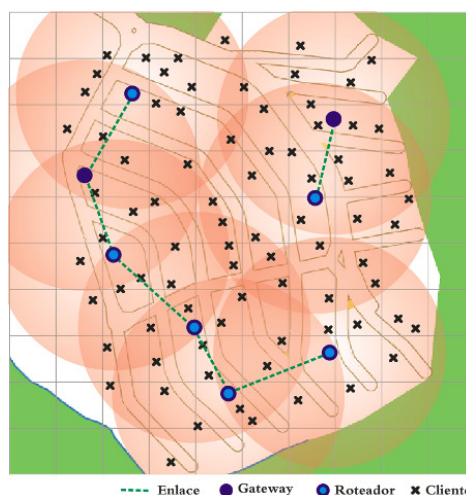


Figura 4. Posicionamento dos APs e clientes no residencial

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para este cenário, considerando que a taxa de atendimento μ de cada AP é de 54 Mb/s e que as taxas de demanda λ de cada cliente são geradas aleatoriamente entre 0 e 2 Mb/s.

Observe que, neste caso, a pontuação geral de QoS é igual a 49 para vídeo e 47 para áudio. Com base nestes valores, aplicando a equação (2), obtém-se os seguintes valores de MOS para a avaliação de QoE: 0.62941, para vídeo e 0.09559, para áudio. Com isto, pode-se concluir que esta rede sem fio, apesar de atender aos parâmetros de QoS, não atinge o nível de qualidade satisfatório ($QoE > 3$) tanto para serviços de áudio como para serviços de vídeo, ou seja, existem clientes que não estão satisfeitos com o serviço oferecido pela rede.

Tabela 4. Resultados obtidos no Cenário 1.

Métricas	Vídeo		Áudio	
	Valores Obtidos	Pontuação	Valores Obtidos	Pontuação
<i>D</i>	0.148 s	8	0.142 s	8
<i>J</i>	0.044 s	10	0.044 s	10
<i>L</i>	0.0076	7	0.0116	3
<i>E</i>	0.000102	7	0.000102	7
<i>B</i>	2.0 Mb/s	8	2.0 Mb/s	8
<i>S</i>	99.5%	9	99.5%	9
Total QoS		49		47
QoE		0.62941		0.09559

4.2 Cenário 2

Neste cenário, considerou-se uma rede sem fio em malha instalada em um bairro do município de Pindamonhangaba, cuja área é de 600x600 m². Nesta rede, existem 4 gateways e 9 roteadores para atendimento a 150 clientes, conforme ilustra a Figura 5.

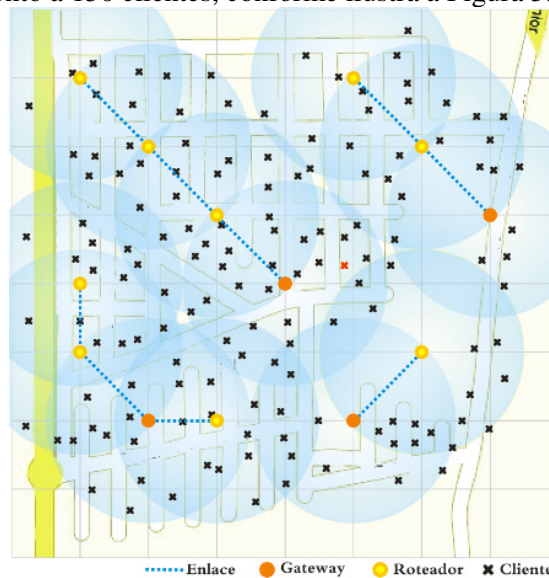


Figura 5. Topologia de rede do Cenário 2.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para este cenário, considerando que a taxa de atendimento μ de cada AP é de 54 Mb/s e que as taxas de demanda λ de cada cliente são geradas aleatoriamente entre 0 e 2 Mb/s.

Tabela 5. Resultados obtidos no Cenário 2.

Métricas	Vídeo		Áudio	
	Valores Obtidos	Pontuação	Valores Obtidos	Pontuação
<i>D</i>	0.019 s	10	0.065 s	10
<i>J</i>	0.044 s	10	0.044 s	10
<i>L</i>	0.0002	7	0.0000	10
<i>E</i>	0.000052	9	0.000002	10
<i>B</i>	2.0 Mb/s	8	2.0 Mb/s	8
<i>S</i>	99.5%	9	100%	10
Total QoS		53		58
QoE		4.99572		4.43584

Neste caso, a pontuação geral de QoS é igual a 58 para vídeo e 53 para áudio, correspondendo, segundo a equação (2), aos seguintes valores de QoE: 4.43584, para vídeo e 4.99572, para áudio. Portanto, pode-se concluir que esta rede sem fio, além de atender aos parâmetros de QoS, satisfaz plenamente seus clientes, pois atinge níveis de qualidade bastante satisfatórios para os serviços de áudio e vídeo.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

As redes sem fio em malha constituem uma boa alternativa para prover diversos serviços de rede, como a comunicação de dados e a transmissão de pacotes de áudio e vídeo. Uma grande vantagem da rede em malha é a possibilidade de se ter uma grande área de cobertura a um custo não elevado. Entretanto, para prover serviços de qualidade a seus clientes, uma rede sem fio em malha deve ser bem planejada.

A utilização de métricas de QoS para determinar uma boa topologia para uma rede sem fio em malha tem sido considerada por alguns autores. No entanto, nem sempre o atendimento aos requisitos de QoS demonstram o grau de satisfação do cliente ao receber um serviço oferecido pela rede.

Neste trabalho discutiu-se uma nova forma de planejamento para redes sem fio em malha, que considera uma combinação de parâmetros de QoS e QoE para assegurar tanto a qualidade da rede (topologia de baixo custo) como a qualidade dos serviços oferecidos pela rede (medido pela satisfação de seus usuários).

Como trabalho futuro pretende-se implementar um processo iterativo que altere a topologia da rede, caso os parâmetros de QoE não atinjam níveis considerados satisfatórios. Pretende-se, para isso, utilizar modelos de Programação Matemática e de Simulação, além de ferramentas de inteligência computacional, para relacionar diretamente métricas de QoS (variáveis de entrada) com métricas de QoE (variáveis de saída).

Referências Bibliográficas

- Agboma, F., Liotta, A.** (2010), Quality of experience management in mobile content delivery systems. *Cybernetics and Systems Analysis*, v. 42, n. 3, p. 379-391.
- Akyildiz, I.F.; Wang, X.; Wang, W.** (2005), Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks*, v. 47, p. 445-487.
- Amaldi, E.; Capone, A.; Cesana, M.; Filippini, I.; Malucelli, F.** (2008), Optimization Models and Methods for Planning Wireless Mesh Networks. *Computer Networks*, v. 52, p. 2159-2171.
- Atkinson, J.B., Kovalenko, I.N., Kuznetsov, N. e Mykhalevych, K.V.** (2008), A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rates. *European Journal of Operational Research*, v. 191, p. 223-239.
- Benyamina, D.; Hafid, A. e Gendreau, M.** (2009), On the Design of Bi-connected Wireless Mesh Network Infrastructure with QoS Constraints. *Proceedings of the 28th IEEE conference on Global telecommunications*. Honolulu, p. 5307-5312.
- ITU.** Recommendation ITU-T P.900: Subjective Video Quality Assessment Methods for Multimedia Application, 2008. Disponível em <<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.910-200804-I/>>. Acessado em Abril de 2012.
- ITU.** Recommendation ITU-R BT.500: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, 2000. Disponível em: <http://www.dii.unisi.it/~menegaz/DoctoralSchool2004/papers/ITU-R_BT.500-11.pdf/>. Acessado em Abril de 2012.
- Kim, H.J., Lee D.H., Lee, J.M., Lee, K.H., Lyu, W. e Choi, S.G.** (2008), The QoE Evaluation Method through the QoS-QoE Correlation Model. *Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*.
- Klaue, J., Rathke, B. e Wolisz, A.** (2003), EvalVid – A framework for video transmission and quality evaluation. In: *Proceedings of the International Conference on Modelling Techniques and*

Tools for Computer Performance Evaluation, p. 255-272.

Menkovski, V., Exarchakos, G. e Liotta, A. (2010), Online QoE prediction. *Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2010 Second International Workshop on*, p.118-123, Trondheim, Noruega.

Sen, S. e Raman, B. (2007), Long Distance Wireless Mesh Network Planning: Problem Formulation and Solution. *WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web*, New York, p. 893-902.

Silva, C.R. e Albuquerque, C.V.N. (2009), Priorização de chamadas de voz em redes em malha sem fio. *XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*.

Silva, M., Senne, E.L.F. e Vijaykumar, N.L. (2012), Wireless Mesh Networks planning based on parameters of Quality of Service. *1st International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Vilamoura, Algarve, Portugal, p. 441-446.

Sunny, A.; Kuri, J. e Aggarwal, S. (2011), Delay modeling for a single-hop wireless mesh network under light aggregate traffic. *Communications and Signal Processing (ICCSP), 2011 International Conference on*, Kerala, Índia, p. 271 - 275.