

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Planejamento e Otimização de Redes VoIP através de Simulação de Tráfego.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da UFPR, como
requisito para obtenção parcial do grau de **Engenheiro Eletricista**

por

Rafael Alessi Muntsch
Willian Daniel de Mattos

Curitiba, 05 de Julho de 2010

Planejamento e Otimização de Redes VoIP através de Simulação de Tráfego.

Rafael Alessi Muntsch
Willian Daniel de Mattos

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de **Engenheiro Eletricista** na ênfase **Telecomunicações**, e aprovada em sua forma final pelo curso de Engenharia Elétrica da UFPR.

Curitiba, 05 de Julho de 2010.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso
Orientador

Eng. Carlos Ignácio de Mattos
Co-Orientador

Prof. Dr. Eduardo Parente Ribeiro

Prof. Eng. Roberto Heinrich

Às nossas famílias por todo o incentivo e paciência...

Agradecimentos

Aos nossos mestres que nos proporcionaram momentos de intenso aprendizado e superação. Aos nossos colegas que demonstraram companheirismo e apoio durante as horas de estudo e descontração.

Resumo

O presente estudo visa apresentar uma nova proposta para o dimensionamento e otimização de redes de Voz sobre IP através da utilização de um aplicativo de geração e análise de tráfego. Esta proposta é baseada em um modelo de geração de tráfego que caracteriza o comportamento do usuário de Telefonia IP. Este modelo pôde ser implementado e validado a partir do desenvolvimento de um simulador de eventos discretos que gera dados de tráfego a nível de pacotes. Utilizando-se deste simulador, os dados fornecidos como resultado puderam ser utilizados pelo aplicativo para o cálculo de medidas tais como Jitter, Tempo no Sistema, Ocupação do Canal e eMOS. Estas informações possibilitam a análise da qualidade de serviço oferecido bem como o grau de ocupação de uma rede em uma situação real. Esta ferramenta possibilita uma nova forma de planejar e avaliar adequadamente redes VoIP utilizando-se de conceitos em amplo estudo e desenvolvimento na comunidade acadêmica.

Abstract

The current study shows a new proposal of measurement and optimization of Voice Over IP networks using a Tool of Traffic Generation and Analysis. The proposal has been based in a model of traffic generation which consists in modeling the VoIP user behavior. The model could be implemented and validated using a simulator of discrete events which generate traffic in a packet level. Using this simulator the data results could be used by the tool to calculate the network information such as Jitter, Response Time , Channel Occupation and eMOS. These information provide an analysis for the Quality of Service offered to the users and also the level of Network Occupation in a real situation. This tool provides a new way to measure and evaluate the VoIP network accord to concepts which are being widely developed and researched.

Sumário

Lista de Ilustrações e Tabelas.....	3
Glossário.....	4
Capítulo 1 - Introdução.....	5
1.1 Introdução.....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Metodologia.....	7
Capítulo 2 – Revisão de Conceitos.....	9
2.1 O que é VoIP.....	9
2.2 Funções VoIP.....	10
2.3 Sinalização.....	10
2.4 Transmissão da Voz.....	11
2.5 Codecs.....	12
2.6 Características do VoIP.....	13
2.6.1 Jitter.....	13
2.7 Qualidade da Voz(MOS).....	14
2.7.1 Basic signal-to-noise ratio (Ro).....	16
2.7.2 Simultaneous Impairment Factor (Is).....	17
2.7.3 Equipment Impairment Factor (Ie).....	21
2.7.4 Valores Padrão.....	22
2.8 Teoria de Filas.....	23
2.8.1 Definições.....	23
2.8.2 Processos de Chegada e atendimento.....	24
2.8.3 Leis Operacionais.....	25
2.8.4 Ocupação do Sistema.....	25
2.8.5 Notação de Kendall.....	26
2.9 Estatística.....	26
2.9.1 Intervalo de Confiança.....	27
2.9.2 Pesquisa Binária.....	28
2.9.3 Funções de Distribuição de Probabilidade.....	28
2.9.4 Função de Distribuição de Pareto tipo 2.....	29
2.9.5 Função Exponencial.....	30
2.9.6 Função de Distribuição Normal.....	30
2.9.7 Função de distribuição Gama.....	32
2.10 Modelo Proposto.....	33
2.10.1 Call Holding Time (CHT).....	34
2.10.2 Interval Time Between Calls (ITBC).....	34
2.10.3 <i>TIME FOR PACKET TRANSMISSION (TPT)</i>	34
2.10.4 <i>INTERVAL TIME BETWEEN PACKTES (TIBP)</i>	35

2.11	O SIMULADOR.....
2.11.1	Simulação do tráfego VoIP.....
2.11.2	Variáveis do Modelo Proposto.....
2.11.3	Resultados.....
Capítulo 3	- Aplicativo.....
3.1	Interação Aplicativo-Simulador.....
3.2	Cenários Propostos.....
3.3	Cálculos.....
3.3.1	Cálculo do Número de Sessões Simultâneas.....
3.3.2	Cálculo do Jitter.....
3.3.3	Ocupação do Canal.....
3.3.4	Qualidade da Voz (MOS).....
3.3.5	Capacidade do Canal.....
3.3.6	Intervalo de confiança.....
3.3.7	Gráficos gerados pelo aplicativo.....
3.4	Análise de Resultados.....
Capítulo 5	- Conclusão.....
5.1	Conclusões e Trabalhos Futuros.....
	Referências.....

Lista de Ilustrações e Tabelas

Figura 1 - Protocolo RTP.....	11
Figura 3 – Teoria de Filas.....	24
Figura 4 – Distribuição do Pareto tipo 2.....	29
Figura 5 - Gráfico da Função de Distribuição Exponencial.....	30
Figura 6 - Gráfico da função de distribuição Normal.....	31
Figura 7 – Gráfico da distribuição Gama.....	32
Figura 8 – Representação das Variáveis.....	33
Figura 9 – Diagrama de fluxo do CHT.....	38
Figura 10 – Diagrama de Fluxo de ITBC.....	38
Figura 11 - Diagrama de Fluxo para TPT e ITBP.....	39
Figura 12 - Diagrama de Fluxo de Saída do Simulador.....	40
Figura 13 – Diagrama de Fluxo de dados da Comunicação Aplicativo-Simulador.....	41
Figura 14 – Exemplo do Arquivo de Saída do Simulador.....	43
Figura 15 - Diagrama do Cenário 1.....	44
Figura 16 – Diagrama de Fluxo do Cenário 2.....	44
Figura 17 – Diagrama de fluxo do Número de Sessões Simultâneas.....	45
Figura 18 – Diagrama de Fluxo do Jitter.....	46
Figura 19 – Diagrama de Fluxo da Ocupação do Canal.....	46
Figura 20 – Diagrama de Fluxo do eMOS.....	48
Figura 21 – Diagrama de Fluxo da Capacidade de Canal Estimada.....	49
Figura 22 – Gráfico do Queue Time Analysis.....	52
Figura 23 – Gráfico do eMOS Analysis.....	52
Figura 24 – Janela do Aplicativo mostrando as iterações.....	53
Figura 25 – Gráfico do eMOS Analysis para valores Padrão.....	54
Tabela 1 – Valores de MOS.....	15
Tabela 2 - Valores de R e sua relação com o eMOS.....	16
Tabela 3 - Valores de I_e	21
Tabela 4 – Valores de A.....	
Tabela 5 - Valores críticos para a distribuição t de Student.....	27
Tabela 6 - Caracterização dos Parâmetros de Entrada.....	37

Glossário

AVR: *Average Bit Rate*

CHT: *Call Holding Time*

Codec: *Encoder/Decoder*

IP: *Internet Protocol*

ITBC: *Interval Time Between Calls*

ITBP: *Interval Time Between Packets*

ITU: *International Telecommunication Union*

MGCP: *Media Gateway Control Protocol*

MOS: *Mean Opinion Score*

RTC: *Rede de Telefonia Comutada*

RTP: *Real Time Transport Protocol*

RTPC: *Rede de Telefonia Pública Comutada*

SCCP: *Skinny Client Control Protocol*

SIP: *Session Initiation Protocol*

SS7: *Signaling System 7*

SSRC: *Synchronization Source*

Surge: *Scalable URL Reference Generator*

TPT: *Time for Packet Transmission*

UDP: *User Datagram Protocol*

UMS: *Unified Message System*

VBR: *Variable Bit Rate*

VoIP: *Voice Over Internet Protocol*

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Introdução

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um aplicativo, desenvolvido pelos alunos de graduação de Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná Rafael Alessi Muntsch e Willian Daniel de Mattos, em parceria com o Professor Carlos Marcelo Pedroso e o mestrando Carlos Ignácio de Mattos.

A idéia do projeto partiu da idéia de realizar um trabalho relacionado com o tema VoIP junto com o Professor Carlos Pedroso. Apresentado o tema do projeto, foi comentado a existência da tese sobre o tema envolvido. Esta consiste no desenvolvimento de um simulador de tráfego VoIP baseado em um modelo proposto por ambos. Porém, esse simulador necessita de uma interface gráfica para melhor visualização dos resultados e de um aplicativo que interpretasse os dados de saída e os transforma-se em informações de fácil entendimento para um usuário do simulador baseado no modelo.

O modelo sugerido por ambos, tem como finalidade representar o comportamento típico de um sistema VoIP. As variáveis descrevem o tempo de chamada, intervalo entre chamadas, tempo de duração de pacotes e tempo de intervalo entre pacotes. A partir dessas variáveis, será possível conseguir como resposta valores típicos para os tempos de fila, atendimento e por consequência, tempo no sistema dos pacotes.

Baseado no modelo proposto foi desenvolvido em um projeto de pesquisa [3], um software que faz a simulação do comportamento do tráfego VoIP. O simulador receberá do usuário os valores de entrada, assim gerando pacotes com tempos relacionados a esses mesmo parâmetros. Ao final da simulação pode-se obter os valores dos tempos para cada pacote, porém analisando somente esses valores para um determinado sistema, não se consegue extrair facilmente informações sobre as características do tráfego de voz por IP.

O aplicativo terá como função fazer a leitura desses dados e analisar as características desse sistema, gerando informações consistentes para o usuário avaliar e planejar o seu tráfego VoIP.

1.2 Objetivos

O objetivo do aplicativo é prover dados de suporte a Análise de Tráfego e Qualidade Serviço em redes de Voz sobre IP utilizando o processo de simulação computacional, em virtude de não ter sido encontrada uma solução analítica para o problema em questão. A análise será realizada pelo Aplicativo a ser desenvolvido, de forma que o mesmo interaja com o gerador de tráfego VoIP. Este Aplicativo oferecerá uma interface amigável que proporcione o tratamento de dados de entrada para a geração de pacotes pelo processo de simulação. Após esta simulação, os dados de saída serão trabalhados de maneira adequada para a geração dos resultados para o usuário. Estes resultados serão importantes para que o usuário possa avaliar a qualidade de serviço oferecida no cenário simulado, de maneira a aplicar mudanças ou implementações em um cenário real.

A avaliação da rede feita pelo Aplicativo tem como finalidade mostrar ao usuário a possibilidade de verificar a qualidade de serviço nas suas ligações, o *Jitter*, ocupação do canal e a capacidade do canal. Então a partir desses parâmetros o usuário do Aplicativo tem como verificar e planejar a rede.

Para fins de utilização do usuário se idealizou a proposta de oferecer diferentes cenários, que representariam a possibilidade de uso do Aplicativo. Foram traçados 2 cenários disponíveis para o usuário: (1) Obtenção dos Dados de Tráfego e (2) Estimar Capacidade de Canal.

O Cenário 1, Obtenção dos Dados de Tráfego, tem como função mostrar ao usuários os algumas características da sua rede de tráfego VoIP utilizando os parâmetros de rede, fornecendo a Qualidade da Voz (eMOS), o *Jitter* e a ocupação de canal. Então, a partir desses valores, o usuário pode conhecer a fundo o comportamento do tráfego e analisar se são os valores que esperava da sua rede.

O cenário 2, Estimar Capacidade de Canal, tem como objetivo a partir de uma determinada qualidade de serviço estimada chegar a uma capacidade de canal que aliada aos parâmetros da rede, fosse capaz de fornecer tal valor de eMOS na rede de tráfego *VoIP*. Na estimação do valor da capacidade de canal, foi utilizada a pesquisa binária. Nesta pesquisa, se busca um valor ótimo para a taxa de transferência utilizando um método numérico que diminui a amplitude de resultados possíveis pela metade a cada iteração.

Com a expansão da tecnologia *VoIP*, devido ao seu baixo custo em relação à telefonia tradicional, as operadoras e empresas pouco têm se preocupado com o dimensionamento das redes. Atualmente, o tráfego *VoIP* nas operadoras é de baixa intensidade. Esse fato, aliado ao desconhecimento de modelos confiáveis para análise do tráfego VoIP, resulta em redes superdimensionadas/sub-dimensionadas. Em comparação, a telefonia tradicional apresenta um modelo bem definido para o planejamento de redes, o qual poupa a utilização da estrutura física de circuitos de forma desnecessária.

O Aplicativo, tem como finalidade prover uma avaliação do sistema *VoIP*, e a partir desta avaliação, propor um planejamento otimizado para sua rede. Utilizando o aplicativo, o usuário poderá aperfeiçoar a sua rede, de acordo com as suas necessidades. Através dos gráficos gerados pelo aplicativo, o usuário pode analisar quanto à mudança da capacidade do canal inflige na qualidade do serviço e assim procurar um valor na qual ele atinja o melhor valor para ambos.

Além do planejamento, com essa ferramenta o usuário conseguirá avaliar ocasionais problemas na sua rede *VoIP*. O usuário pode encontrar cenários nos quais encontre uma má qualidade no serviço *VoIP* e avaliando os valores do Jitter e ocupação do canal pode identificar como mudar características de sua rede.

1.3 Metodologia

Para se chegar aos objetivos traçados para o Aplicativo, deve-se compreender diversos temas relacionados ao *VoIP* e ao modelo proposto. A primeira etapa foi à compreensão do modelo proposto, entender quais são os tópicos nele abordados. Por se tratar de um modelo do comportamento de um usuário *VoIP*, houve um estudo sobre o que é *VoIP*, sua função, características e especificações. Além disso, entender que se trata de uma nova tecnologia para ligações na qual, a comutação é por pacotes e não por circuitos como a telefonia tradicional. Devido a essa mudança, se possibilitaram diversas vantagens que modificam o comportamento do usuário, invalidando o uso de modelos tradicionais. Estudou-se conceitos desta tecnologia, como calculá-los e suas definições. Para o entendimento do modelo proposto, fez-se necessário a compreensão da análise estatística do assunto, a qual se abrange temas como funções de distribuições de probabilidade, teoria de filas e intervalo de confiança. O estudo das funções de distribuição de probabilidade se deve ao fato que a mudança do comportamento do usuário ocasionou a reavaliação dos modelos estatísticos previamente utilizados. O *VoIP* por utilizar a comutação por pacotes, tem a desvantagem de possuir filas para transmissão de pacotes em servidores, o que faz necessário a compreensão sobre a teoria estatística relacionada ao tema, como a avaliação da ocupação do canal e os tempos do pacote no sistema. Para comprovar a precisão dos dados oferecidos pelo aplicativo, aplicou-se a teoria relacionada ao intervalo de confiança.

A aplicação prática do modelo está contida no simulador, da qual se foi necessário o aprendizado sobre os seus parâmetros de entrada e saída, pois são essas as variáveis que o aplicativo interage com o simulador. Parâmetros das quais, se obtém os dados necessários para os cálculos executados pelo aplicativo para caracterização do sistema *VoIP*. Além disso, torna-se necessário compreender as diferenças nos parâmetros de entrada entre os parâmetros de rede e os parâmetros do modelo e o seu impacto nas variáveis de saída.

Foi escolhida a linguagem Java para o desenvolvimento do aplicativo [4]. Um fato que foi determinante para a sua escolha, foi a não necessidade de um sistema operacional específico para a sua execução.

A primeira etapa no desenvolvimento do aplicativo foi a implementação do método de comunicação entre o simulador e o aplicativo, que foi específica para utilizar linhas de comando para os parâmetros de entrada e a escrita dos dados de resposta do simulador em um arquivo de texto. Após o estabelecimento da interação entre o aplicativo e o simulador, iniciaram-se a criação das rotinas para o cálculo do *Jitter*, Ocupação do Canal, eMos, capacidade do canal e o intervalo de confiança.

Feita as rotinas de cálculos necessitou-se a validação dos resultados, que foram atingidos através da comparação dos resultados obtidos no aplicativo e o cálculo utilizando o Microsoft Excel. Foram exportados os dados gerados pelo arquivo de saída do simulador para o Excel e feitos cálculos a partir dos tempos de sistema e comparados aos resultados fornecidos pelo aplicativo. Na comparação de resultados, se observou pouca diferença entre o valor atribuído para ambos, assim validando os resultados do Aplicativo.

Capítulo 2 - Revisão de Conceitos

Durante o desenvolvimento do aplicativo utilizaram-se diversos conceitos relacionados a *VoIP*, estatística conjuntamente com a interpretação do modelo proposto para o comportamento de um usuário de telefonia via IP. Este capítulo tem como objetivo apresentar e esclarecer os conceitos envolvidos nesse projeto, de tal maneira que se entenda o embasamento teórico necessário para compreender o funcionamento do aplicativo.

2.1 O que é *VoIP*

O *VoIP* (*Voice over Internet Protocol*) realiza a comunicação telefônica por uma rede de dados [1]. Posteriormente se definiram as técnicas de empacotamento, transmissão de amostras de voz e método de sinalização na transmissão de voz sobre um protocolo de Internet. Apesar de aparentar ter o mesmo significado, o termo Telefonia IP é caracterizado como a aplicação da tecnologia *VoIP* como um serviço semelhante a telefonia tradicional.

O *VoIP* e os protocolos a ele relacionados, tiveram um grande desenvolvimento na última década devido a sua vantagem econômica em relação a telefonia tradicional. Por ser uma tecnologia de comutação por pacotes, o seu custo é menor que a telefonia tradicional na qual se utiliza comutação por circuitos e estrutura-se em centrais telefônicas. A migração da telefonia comutada para *VoIP* tornou-se interessante para concessionárias de telefonia, tanto locais quanto de longa distância, operadoras de telefonia, provedores de serviços Internet e serviços de comunicação.

Além da vantagem econômica, o VoIP possibilita várias aplicações relacionadas a utilização da Voz [5], como a comunicação entre usuários utilizando roteamento de ligações, caixa de mensagens, UMS (*Unified Message System*), *videoconferência* e base de dados de contatos.

2.2 Funções VoIP

Para entender o funcionamento do simulador e do aplicativo, faz-se necessário conhecer o funcionamento o tráfego de voz por IP. Para possibilitar o tráfego de telefonia *VoIP*, diversas características foram migradas do modelo da telefonia tradicional, por se tratar de um modelo conhecido e confiável. Porém, foram necessárias algumas adaptações para essa nova tecnologia.

Uma das principais diferenças entre esses os modelos é a forma de comutação, quanto a telefonia tradicional utiliza a comutação por circuitos, a *VoIP* faz uso da comutação por pacotes. Por isso, a telefonia *VoIP* abrange diversos protocolos Internet para realizar as mesmas funções exercidas na tradicional, como a sinalização e a transmissão de voz. Esses dois protocolos são essenciais para entendermos o tráfego de voz por IP.

2.3 Sinalização

Sinalização é a troca de informações para estabelecer, monitorar e finalizar conexões entre usuários [11]. Existe a necessidade da sinalização para otimizar e gerenciar o sistema de comunicação.

As redes tradicionais de telefonia evoluíram substancialmente nessa área. Hoje a RTPC utiliza o SS7 (*Signaling System7*) para sinalização. O SS7 usa um canal diferenciado fora da banda para sinalização, ou seja, ele possui um canal dedicado para troca de informações sobre o sistema.

O *VoIP* apresenta diversas opções para sinalização como H.323, SIP (*Session Initiation Protocol*), H.248, MGCP (*Media Gateway Control Protocol*) e o SCCP (*Skinny Client Control Protocol*). Alguns gateways VoIP conseguem iniciar o SS7 com redes RTPC. Os protocolos MGCP e SCCP são conhecidos como protocolos entre cliente e servidor, onde não existe inteligência de controle de chamadas, e sim troca notificações nos *endpoints* e *gateways*. Por outro lado, os protocolos SIP e H.323 possuem essa inteligência de iniciar e terminar ligações e interpretar mensagens de controle de ligação.

2.4 Transmissão da Voz

O protocolo responsável pela transmissão de voz ponto-a-ponto é o RTP (*Real-Time Transport Protocol*) [12]. Este é o protocolo que transmite o fluxo de dados em tempo real, para áudio e vídeo, incluindo serviços como identificação do tipo de carga inclusa para designar a sua aplicação, selo de tempo para sincronização dos pacotes e monitoramento de entrega, devido ao número de sequência. Além disso, possibilita a transmissão *Unicast*, na qual teremos somente um receptor dos pacotes criados, como também *Multicast* na qual a mensagem é entregue a diversos usuários. Para garantir a efetividade desses serviços existe o protocolo de apoio RTCP (*Real-time Transport Control Protocol*) que regulamenta a entrega de dados, identifica os pacotes e os controla. Porém, o RTP não garante qualidade de serviço e nem reserva de recursos. Ambos os protocolos utilizam o protocolo UDP, de forma a serem independentes da averiguação de recebimento de pacotes, o que torna os protocolos mais rápidos e dinâmicos.

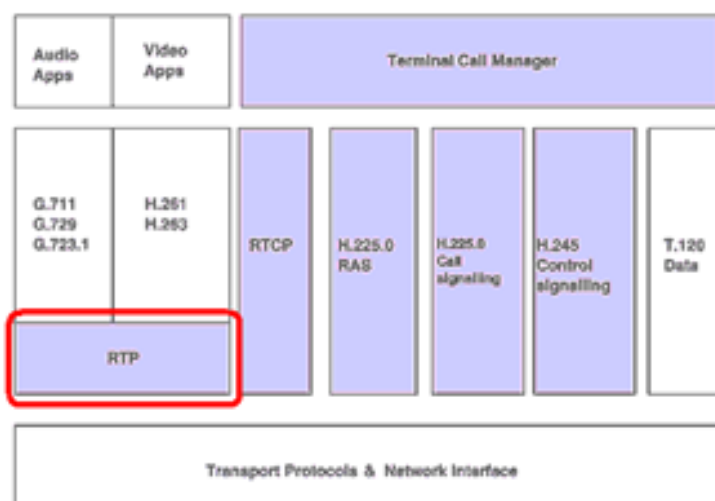


Figura 1 - Protocolo RTP

O protocolo RTP possui em seu cabeçalho as informações necessárias para o controle do fluxo de voz e determinação do espaçamento entre pacotes durante o fluxo de mensagens. Para exercer essas tarefas o cabeçalho contém SSRC, que faz a identificação da fonte, quanto o RTCP faz a sincronização e o *timestamp*, que representa o tempo da qual o pacote foi criado e o cálculo do *jitter* do sistema. Essas informações são essenciais para que o tráfego voz seja transmitida e processada de maneira ordenada e correta, senão pode haver troca de ordem das palavras ou uma demora acima do normal entre as palavras.

2.5 Codecs

A voz humana pode ser interpretada fisicamente como um sinal analógico que possui amplitude e frequência. No sistema *VoIP* este é o sinal de entrada e o sinal de saída, porém o meio por ele utilizado para transmissão é totalmente digital. O elemento responsável por realizar o empacotamento da voz para transmissão via IP é o Codec [1].

Os Codecs são responsáveis pela codificação e decodificação entre os dispositivos analógicos e os digitais. Existem diversos tipos de codecs, possuindo cada um características específicas como método de codificação, taxa de compressão e atraso. A rede RTPC tem disseminado o uso do codec G.711[15] para tráfego de voz. Ele converte o sinal analógico de voz para canais digitais de tráfego de voz de 64 [Kbps]. O valor de 64 [Kbps] é a largura de banda reservada em canais de voz. Na tecnologia VoIP, se consegue chegar a valores maiores de compressão para o tráfego de voz, possibilitando assim maior eficiência na transmissão. O codec G.729 [14] que é o mais utilizado atualmente para o tráfego de voz por IP chega a uma taxa de empacotamento de dados de 8 [Kpbs].

Os codecs possuem taxas de bits diferentes, ou seja, pode-se ter uma variação no tamanho dos pacotes. As taxas de bits podem ser divididas em três tipos:

1. Constant Bit rate(CBR): A taxa de transmissão de bits será constante ao longo da chamada.
2. Variable Bitrate(VBR): A taxa de bits varia durante a chamada, possibilitando assim que o canal seja otimizado.
3. Average Bitrate (AVR): A taxa de bits também é variável como no VBR, mas existe uma taxa média mínima pré-definida para a transmissão.

2.6 Características do VoIP

A telefonia tradicional é muito importante na caracterização dos parâmetros básicos da telefonia *VoIP*. Muitas das características necessárias para a efetivação de uma chamada de telefonia por IP têm como referência os conceitos utilizados nas chamadas realizadas por comutação de circuitos. Como será demonstrado a seguir, a comunicação de Voz por IP possui diversas características e requisitos de maneira análoga a telefonia tradicional, como Jitter e a qualidade de serviço oferecida(QoS). Porém, existem várias diferenças, que tornaram o *VoIP* uma alternativa mais econômica e prática para os usuários. Essas mesmas diferenças geram novos problemas a serem resolvidos.

2.6.1 Jitter

O Retardo da voz é gerado por diversos fatores relacionados a transmissão da voz, como codecs, e processos como enfileiramento dos pacotes, os quais podem gerar sérios problemas de inteligibilidade da ligação. Estudos comprovam que atrasos maiores que 50 [ms] na transferência de voz são sensíveis para os interlocutores [13]. Nos padrões de telefonia tem-se como valor estipulado 40 [ms] para ligações continentais e 80 [ms] intercontinentais. Na comunicação de Voz por IP existe diferentes tipos de retardo ao longo do sistema: O Retardo por Codec, Retardo de empacotamento, enfileiramento e serialização e o Retardo de comutação de rede e propagação.

O Retardo de Codec representa o atraso causado pelo processo de digitalização da voz analógica, compressão para a sua transmissão e o seu processo inverso de descompressão. Esse valor varia de acordo com o codec utilizado. O Retardo referente ao empacotamento, enfileiramento e serialização representa os atrasos no tratamento do pacote contendo dados de voz. Ele sofrerá um atraso para que se complete um pacote para envio, terá um tempo de espera no buffer que dependerá da capacidade do canal e da fila no buffer. Ao final, existirá um atraso fixo para sincronização de relógios na transmissão. Por último teremos o retardo de comutação de rede e propagação que identificam os tempos perdidos nos elementos que compõem a rede que trafega a voz por IP, como os enlaces envolvidos e equipamentos que fazem as multiplexações nas etapas intermediárias da transmissão.

Esses retardos geram o que conhecemos como retardo variável conhecido também como *Jitter*. A definição de *Jitter*: É o desvio de tempo médio entre pacotes subsequentes [12]. Então, deve-se calcular o *Jitter* de modo dinâmico, calculando o desvio de tempo entre cada pacote enviado, gerando um valor acumulado. Como definido no documento que descreve o protocolo RTP utilizamos a Equação 1 para o cálculo do valor do *Jitter*:

$$J(i) = J(i - 1) + \frac{D|i - 1,1| - J(i - 1)}{16}$$

Equação 1

A função $D()$ representa a diferença de tempos entre os pacotes subseqüentes, ou seja se calculará a diferença de *timestamps*, unidade de tempo utilizado pelo protocolo RTP no cabeçalho do pacote para marcação do tempo de criação do pacote,entre chegada entre os pacote i e j ,sendo $j=i+1$.Temos como definição, a Equação 2:

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i)$$

Equação 2

Sendo:

- R_i : Valor do *timestamp* de criação do pacote i
- R_j : Valor do *timestamp* de chegada do pacote i
- S_i : Valor do *timestamp* de criação do pacote j ($j=i+1$)
- S_j : Valor do *timestamp* de chegada do pacote j ($j=i+1$)

Na tentativa de se compensar o *Jitter*, que pode ser prejudicial a inteligibilidade da comunicação entre usuários *VoIP*, utiliza-se um armazenamento prévio de pacotes antes do início da reprodução da voz, conhecido como processo de bufferização. Porém, podem-se encontrar problemas ao longo da chamada que podem aumentar consideravelmente o valor do *Jitter*, gerando assim atrasos nos tempos de pacote.

2.7 Qualidade da Voz (MOS)

A telefonia representa um serviço disponível para o usuário e como todo serviço tem a sua qualidade avaliada. Por se tratar de um serviço que disponibiliza a comunicação por voz, será avaliado então com os conceitos referentes ao som transmitido durante uma chamada. Então, mede-se o valor do MOS(*Mean Opinion Score*) a partir da avaliação da clareza do som,atraso da voz no percurso,intensidade da voz e qualidade do som,além dos aspectos relacionados a sinalização.Para o VoIP temos também a quantidade de perda de pacotes na transmissão.

De acordo com o órgão ITU-T, para medir-se o MOS deve-se utilizar testes auditivos feitos por um grupo de usuários. Estes avaliam de acordo com uma escala numérica de 1 à 5 a qualidade da voz na ligação, de acordo com a Tabela 1 – Valores de MOS.

Pontuação	Qualidade Auditiva	Esforço Auditivo
5	Excelente	Relaxação Completa
4	Bom	Necessária Atenção
3	Razoável	Esforço Moderado
2	Pobre	Esforço Considerável
1	Ruim	Entendido Sem Sentido

Tabela 1 – Valores de MOS

Como a qualidade da voz é um dos parâmetros de caracterização do tráfego *VoIP* a ser calculado no aplicativo, existe a necessidade de otimizar esse processo de avaliação para melhor funcionamento do mesmo. Por isso utiliza-se o método conhecido como eMOS.

O eMOS é também conhecido como E-Model e é regulamento pela recomendação G.107 da ITU-T, na qual utilizando uma ferramenta se calcula o valor esperado de MOS para uma determinada ligação. Esse modelo leva em conta diversos parâmetros que caracterizam o prejuízo para a transmissão da voz. Muitos desses parâmetros, estão relacionados a antigas características da telefonia tradicional como eco, e também novos empecilhos encontrados no *VoIP* como tempo de pacotes no codec. O teste feito da maneira tradicional por um grupo de usuários compostos por homens e mulheres de diversas idades, possui muitos critérios subjetivos e o E-Model, tem como objetivo modelar e quantificar alguns desses parâmetros.

Com a finalidade de encontrar o valor de MOS esperado, deve-se relacionar os resultados do E-Model com os resultados da qualidade de serviço da voz. Para isso tem-se a variável R como valor escalar de qualidade conhecido como “*Transmission Rating Factor*”. Afim de relacionar o valor dessas variável com a tabela de valores para MOS tem-se a Equação 3:

$$MOS = 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)(100 - R)7.10^{-6}$$

Equação 3

Para uma melhor representação da relação entre as duas variáveis teremos essa Tabela 2 indicando alguns valores de MOS para certa extensão de valores R.

Extensão dos valores de R	Qualidade Auditiva	Pontuação
90<R<100	Excelente	4.34
80<R<90	Bom	4.03
70<R<80	Razoável	3.60
60<R<70	Pobre	3.10
50<R<60	Ruim	2.58

Tabela 2 - Valores de R e sua relação com o eMOS

Nota-se que para valores para R diferentes dos apresentados na tabela seguirão dois tratamentos: valores maiores que 100 admitimos o valor de MOS para o valor máximo de 4.5, enquanto os valores menores 50 se designará o valor 1 para o MOS.

Agora que foi relacionado o valor de saída do E-Model com a qualidade de serviço de voz, precisa-se analisar-se como foi calculado o fator de escala de transmissão. Na análise da transmissão de voz, devemos levar em conta os fatores que prejudicam a transmissão de voz como a perda nos equipamentos, atrasos e ruídos. Além dos fatores que colaboram com a avaliação do serviço de voz. Como o fato de o usuário aceitar uma pior qualidade de serviço quando utiliza o VoIP.

A Equação 4 demonstra a função que calcula o valor de R.

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Equação 4

Sendo:

- **R₀**: Fator base de relação de sinal-ruído
- **I_s**: Fator que representa o conjunto de prejuízos que acontecem simultâneos a ligação
- **I_d**: Fator de prejuízos relacionados aos equipamentos durante a transmissão
- **I_e**: Fator de prejuízos com baixas taxas de transferências por codecs
- **A**: Fator de Vantagem

Será explicado detalhadamente cada um desses parâmetros de cálculo para o valor de R. E por fim serão demonstrados alguns dos valores padrões que serão aplicados no aplicativo para facilitar o cálculo do MOS pelo E-Model.

2.7.1 Basic signal-to-noise ratio (R₀)

A função que define o R₀ é:

$$R_0 = 15 - 1.5(SLR + N_o)$$

Equação 5

A variável SLR (*Send Loudness Rating*) representa a quantidade de ruído imposto pela fonte. Quanto N_o representa o somatório de todos os circuitos geradores de ruído de diferentes fontes de acordo com Equação 6:

$$N_o = 10 \log \left[10^{\frac{N_c}{10}} + 10^{\frac{N_{os}}{10}} + 10^{\frac{N_{or}}{10}} + 10^{\frac{N_{fo}}{10}} \right]$$

Equação 6

Sendo cada um dos N's responsáveis por representar diferentes tipos de fonte de ruído, como o Nc referente ao ruído em 0 [dB], Nos que representa o ruído no ponto 0 dB gerado no lado que envia a voz. Nor é análogo a Nos, porém representa o ruído no receptor e Nfo representa o “noise floor”, que representa o ruído inserido pelos instrumentos de medição. A Equação 7 e a Equação 8 que demonstram esse cálculo.

$$Nos = Ps - SLR - Ds - 100 + 0.004(Ps - OLR - Ds - 14)^2$$

Equação 7

Sendo $OLR = SLR + RLR$.

$$Nor = RLR - 121 + Pre + 0.008(Pre - 35)^2$$

Equação 8

Sendo Pre, o ruído efetivo da sala a Equação 9.

$$Pre = Pr + 10 \log \left[1 + 10^{\frac{(10 - LSTR)}{10}} \right]$$

Equação 9

E por fim a Equação 10 para Nf0.

$$Nfo = Nfor + RLR$$

Equação 10

A constante Nfor possui o de valor de -64dBmp.

2.7.2 Simultaneous Impairment Factor (Is)

Ao transmitir-se o sinal de voz o mesmo está sujeito a ruídos que prejudicam a ligação. O fator Is representa esses prejuízos que acontecem simultaneamente, que serão descritos nessa sessão, a transmissão da voz. Para chegarmos ao valor dessa variável, divide-se ele em 3 fatores prejudiciais a voz, que são Iolr, Ist e Iq. O valor de Is representa a soma desses três fatores de acordo com a Equação 11.

$$Is = Iolr + Ist + Iq$$

Equação 11

Cada um desses três fatores representa a queda de qualidade no sinal no momento da ligação. O fator Iolr relaciona o decréscimo de qualidade causado por valores muito baixos de OLR e se representa matematicamente com a Equação 12.

$$I_{olr} = 20 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{X}{8} \right)^8 \right\}^8 - \frac{X}{8} \right]$$

Equação 12

Sendo:

$$X = OLR + 0.2(64 - RLR)$$

Equação 13

Para representar o ruído de fundo, conhecido como *sidetone*, existente nas ligações em sistemas não ideais, temos o fator *Ist* (Equação 14).

$$I_{st} = 10 \left[1 + \left(\frac{STMRO - 12}{5} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} - 46 \left[1 + \left(\frac{STMRO}{23} \right)^{10} \right]^{\frac{1}{10}} + 36$$

Equação 14

Sendo:

$$STMRO = -10 \log \left[10^{-\frac{STM}{10}} + e^{\frac{T}{4}} 10^{-\frac{TEL}{10}} \right]$$

Equação 15

A variável *T* representa o atraso médio por um sentido de transmissão, enquanto a variável *TEL* é o ruído de eco introduzido pela pessoa que está falando. Além disso, têm-se a variável *STM* que quantifica a intensidade exercida pelo efeito do *sidetone*.

A quantização da distorção também ocasiona prejuízos na transmissão de voz e é representada pelo fator *Iq* que é calculado pela Equação 16.

$$I_q = 15 \log [1 + 10^Y + 10^Z]$$

Equação 16

Assim:

$$Y = \frac{Ro - 100}{15} + \frac{46}{8.4} - \frac{G}{9}$$

Equação 17

$$Z = \frac{46}{30} - \frac{G}{40}$$

Equação 18

E:

$$G = 1,07 + 0,258Q + 0,602Q^2$$

Equação 19

Sendo:

$$Q = 37 - 15\log(qdu)$$

Equação 20

A variável qdu representa a quantidade de distorção durante a ligação.

2.7.3 Delay Impairment Factor (Id)

Um dos fatores que prejudicam a avaliação da ligação pelos usuários são os atrasos decorridos durante a transmissão da voz, representado no cálculo estimado do MOS como Id. Tal como o parâmetro Is, ele será dividido em três partes distintas, sendo elas Idte, Idle e Idd apresentados na Equação 21.

$$Id = Idte + Idle + Idd$$

Equação 21

Para estimar o prejuízo devido ao eco do usuário que está falando temos o parâmetro Idte. Para chegarmos no seu valor tem-se a Equação 22.

$$Idte = \left[\frac{Roe - Re}{2} + \sqrt{\frac{(Roe - Re)^2}{4} + 100} - 1 \right] (1 - e^{-T})$$

Equação 22

Onde:

$$Roe = -1.5(No - RLR)$$

Equação 23

$$Re = 80 + 2.5(TERV - 14)$$

Equação 24

Sendo TERV uma variável relacionada à TELR, que representa o nível de ruído representado pelo ruído do usuário falante, com a Equação 25.

$$TERV = TELR - 40\log\left(\frac{1 + \frac{T}{10}}{1 + \frac{T}{150}}\right) + 6e^{-0,3T^2}$$

Equação 25

Quando tivermos valor de T < 1ms, se considera o eco do usuário falante como ruído

de fundo, o que ocasiona em $Idte=0$. Devido a esse efeito pode-se relacionar o SMTR com o TERV da tal maneira que os cálculos possam ser simplificados de acordo com a intensidade do ruído gerado pelo *sidetone*.

Para $STMR < 9$ dB, pode-se substituir a variável TERV por TERVs na Equação 26.

$$TERVs = TERV + \frac{Ist}{2}$$

Equação 26

Quanto para valores de STMR entre 9dB e 15 dB, utiliza-se a Equação 15. Porém para valores de STMR maiores que 15 dB, a fórmula terá algumas trocas de variáveis. A variável $Idte$ é substituída por $Idtes$, sendo essa representa pela Equação 27.

$$Idtes = \sqrt{Idte^2 + Ist^2}$$

Equação 27

Voltando aos fatores que compõem o parâmetro Id , se tem o fator $Idle$ que representa os prejuízos pelo eco no usuário que escuta. Essa variável possui a Equação 28.

$$Idle = \frac{Ro - Rle}{2} + \sqrt{\frac{(Ro - Rle)^2}{4} + 169}$$

Equação 28

Sendo:

$$Rle = 10.5(WEPL + 7)(Tr + 1)^{-0,25}$$

Equação 29

A Equação 29 de Rle tem como incógnitas o $WEPL$, que identifica a proporção de prejuízo a ligação da qual o eco é responsável e Tr que representa atraso devido ao *round-trip* do sinal, ou seja, o tempo da qual ele é enviado somado ao tempo de recebimento de uma mensagem da qual ele foi recebido.

Como último fator que compõe o Id , o Idd , na qual representa o tempo de atraso absoluto da voz, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é representada pela variável Ta . Esse fator é dividido em 2 vertentes, quando maior ou menor que 100 ms, para valores menores temos o $Idd=0$, pois esse atraso não chega a ter impacto no cálculo do Id . Porém para valores maior que 100 ms temos a Equação 30.

$$I_{dd} = 25 \left\{ (1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}$$

Equação 30

Sendo:

$$X = \frac{\log \left(\frac{Ta}{100} \right)}{\log 2}$$

Equação 31

2.7.3 Equipment Impairment Factor (Ie)

Um dos fatores que prejudicam a transmissão da voz são os elementos envolvidos nessa transmissão pois a voz ao longo do seu envio, porém essa variável tem como objetivo representar o impacto dos codec de baixa taxa de transmissão no tráfego de voz. Para descobrir-se os valores referentes a cada codec deve-se consultar a Tabela 3 da ITU-T na recomendação I/G.113 [7].

<u>Tipo do codec</u>	<u>Referencia</u>	<u>Taxa de Transmissão</u> <u>kbit/s</u>	<u>Valor de Ie</u>
PCM	G.711	64	0
<u>ADPCM</u>	<u>G.726.G.727</u>	<u>40</u>	<u>2</u>
	<u>G.721(1988).G.726.G.727</u>	<u>32</u>	<u>7</u>
	<u>G.726.G.727</u>	<u>24</u>	<u>25</u>
	<u>G.726.G.727</u>	<u>16</u>	<u>50</u>
<u>LD-CELP</u>	<u>G.728</u>	<u>16</u>	<u>7</u>
		<u>12.8</u>	<u>20</u>
CS-CELP	G.729	8	10
	<u>G.729-A+VAD</u>	<u>8</u>	<u>11</u>

Tabela 3 - Valores de Ie

Como se pode notar o codec G.711 possui o valor de Ie=0, por ter a taxa de transmissão mais alta, então se percebe que a descrição da variável representa que em sistemas das quais se utiliza outros codecs sem ser o G.711, pois se tem uma taxa de transmissão mais baixa, o que impacta em uma queda na qualidade da voz.

2.7.4 Advantage Factor (A)

Citaram-se diversos fatores que prejudicam a pontuação do serviço de voz. Porém, há um fator que colabora com a avaliação deste. O fato que o usuário aceita uma qualidade pior na ligação para um determinado tipo de comunicação, ou seja, quando um usuário utiliza o VoIP, ele admite que a ligação tenha uma pior qualidade em relação a telefonia tradicional. Esse fator pode estar relacionado a o preço do serviço como ao fato da mobilidade. Como pode-se observar na Tabela 4.

Tipo de comunicação	Valor de A
Telefonia Tradicional	0
Telefonia celular dentro de um prédio	5
Telefonia celular dentro de um carro em movimento	10
Telefonia por IP	0

Tabela 4 – Valores de A

2.7.4 Valores Padrão

Ao longo da explicação dos termos que influem no cálculo do Fator de avaliação da transmissão, a variável R se mostrou em diversas equações com diversas variáveis diferentes. Alguns desses fatores possuem valores padrões para facilitar o cálculo e otimizar o tempo de processamento do algoritmo do E-Model. Então se apresenta uma tabela especificando as variáveis que terão seus valores previamente configurados no Aplicativo.

Parâmetro	Unidade	Valor Padrão
SLR	dB	8
RLR	dB	2
STMR	dB	15
LSTR	dB	18
Ds	–	3
Dr	–	3
TELR	dB	65
WEPL	dB	110
T	msec	0
Tr	msec	0
Ta	msec	0
qdu	–	1
I _e	–	0
Nc	dBm0p	70
Nfor	dBmp	64
Ps	dB(A)	35
Pr	dB(A)	35
A	–	0

As demais variáveis serão configuradas pelo aplicativo ao receber os parâmetros de rede do usuário.

2.8 Teoria de Filas

A teoria das filas é o estudo matemático para análise das filas. É um estudo baseado em dados probabilísticos que possibilita caracterizar e quantificar a formação de filas [16]. Essa teoria foi amplamente utilizada no levantamento de formação de filas de pessoas em bancos e atualmente é utilizada para cálculo de espera de pacotes em servidores.

2.8.1 Definições

Figura 2 – Teoria de Filas

Como podemos observar na Figura 2, diversos pacotes chegam a um servidor em um determinado valor de tempo do qual é chamada de intervalo médio entre chegadas ($IC=1/\lambda$). Esses pacotes chegarão aos servidores, cujo número será representado pela variável M , e devem esperar na fila para serem enviados que será o tempo médio de fila (TF). O tempo de espera na fila depende de quantos pacotes já existem na fila e a taxa média de atendimento ($TA=1/\mu$). Após serem enviado, teremos o tempo médio que o pacote passou no sistema (TS), que representa a soma do tempo de fila mais o tempo de atendimento ($TS=TF+TA$).

Existem outras variáveis na teoria de filas que relacionam o número de elementos ao longo do sistema. O número médio de elementos na fila é representado por NF , o número médio de elementos sendo atendidos é NA e o número médio de elementos no sistema, NS , cuja definição é a soma dos elementos na fila e os elementos sendo atendidos ($NS=NF+NA$).

2.8.2 Processos de Chegada e atendimento

Como foi demonstrado na apresentação das definições básicas da teoria de filas, existe o intervalo médio entre chegadas e o tempo médio de atendimento. Ambas as variáveis estão inversamente relacionadas a taxa de chegada de pacotes (λ) e a taxa de atendimento dos pacotes (μ). Essas taxas são medidas em campo e tendem a seguirem certas funções de distribuição de probabilidade. Para a identificação do comportamento dessas taxas, se faz o levantamento dos valores e testes de aderência com diversas funções probabilísticas com o objeto de modelar matematicamente o seu processo.

2.8.3 Leis Operacionais

Existem leis operacionais na teoria de filas que relacionam as diversas variáveis que integram o estudo matemático da formação de filas, são conhecidas também como Leis de Little. A Equação 32 e a Equação 33 são aplicadas a qualquer sistema independente do comportamento das taxas de chegada e atendimento.

$$NF = TF.\lambda$$

Equação 32

$$NS = TS.\lambda$$

Equação 33

2.8.4 Ocupação do Sistema

A Teoria de Filas prevê que ao longo da chegada de pacotes no sistema, formando uma fila de pacotes, existirá uma ocupação do canal que representará o estado de fila do sistema. Para calcularmos a ocupação do sistema tem-se a Equação 34.

$$\rho = \frac{\lambda}{M.\mu}$$

Equação 34

A ocupação de canal é uma importante característica do sistema, pois indica se existe perda de pacotes ou não no servidor. Caso o valor de ρ seja < 1 , tem-se um sistema estacionário, ou seja não há perda de pacotes e a fila não cresce indefinidamente. Porém se $\rho > 1$, tem-se um sistema na qual a fila crescerá indefinidamente e haverá perda de pacotes na transmissão.

2.8.5 Notação de Kendall

Baseado na Teoria de Filas [16], Kendall propôs em 1953 uma notação da qual facilmente se classificaria e identificaria o padrão do sistema de filas, de acordo com seis parâmetros:

A/B/C/K/P/Z

Sendo:

- A: A distribuição de probabilidade que molda o intervalo entre chegadas
- B: A distribuição de probabilidade que representa o tempo de sistema
- C: O número de servidores existentes no sistema
- K: Número máximo de clientes nos servidores (Valor Padrão é ∞)
- P: Tamanho da população (Valor Padrão é ∞)
- Z: Disciplina de Atendimento (Padrão é FIFO)

Os parâmetros A e B são simbolizados por letras que representam diferentes funções de distribuição de probabilidades, sendo alguma delas:

- Exponencial (M)
- Uniforme (U)
- Determinístico (D)
- Geral, que pode ser qualquer tipo de distribuição (G)

2.9 Estatística

Antes de apresentar a teoria envolvida no modelo proposto, devem-se introduzir alguns conceitos de estatística. O modelo proposto nos mostra que o comportamento do usuário VoIP pode ser estimado por funções de distribuição de probabilidade e precisa apresentar quais foram os tipos de funções utilizadas

Para verificação do nível de confiança que obteremos nos resultados do aplicativo, utiliza-se o cálculo do intervalo de confiança a fim de analisar de acordo um determinado nível de confiança, se os valores médios obtidos terão um intervalo de desvio e se os resultados fornecidos pelo Aplicativos são aceitáveis para a simulação proposta.

2.9.1 Intervalo de Confiança

Por definição o intervalo de confiança é a amplitude de valores em relação a um valor médio na qual se pode encontrar um valor esperado para um grau de confiança especificado [2], ou seja, tem-se um intervalo de valores na qual se espera encontrar com certo grau de confiança certos valores.

O intervalo de confiança(h) para pequenas amostras depende do valor crítico t de *student* (t_{α}), o desvio padrão da amostra(s) e o número de amostras(n) e é obtido a partir da Equação 35.

$$h = \frac{t_{\alpha} \cdot s}{\sqrt{n}}$$

Equação 35

O primeiro passo antes do cálculo do Intervalo de confiança é descobrir o valor médio(\bar{x}) da amostra analisada. Esse será o valor na qual se tem o ponto central do intervalo de confiança. Após o cálculo da média da amostra, deve-se descobrir o desvio padrão que é calculado pela Equação 36.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Equação 36

Com o valor do desvio padrão calculado, falta o valor crítico para a distribuição t de *student*, esta constante é tabelada e a sua determinação está relacionada com o número de amostras analisadas com o grau de confiança exigido. Os valores comuns para análise de Intervalo de confiança são 90%, 95% e 99% são demonstrados na Tabela 5.

α gl	0,500 (50%)	0,250 (25%)	0,200 (20%)	0,100 (10%)	0,050 (5%)	0,025 (2,5%)	0,020 (2,0%)	0,010 (1,0%)	0,005 (0,5%)
1	1,0000	2,4142	3,0777	6,3138	12,7062	25,4517	31,8205	63,6567	127,3213
2	0,8165	1,6036	1,8856	2,9200	4,3027	6,2053	6,9646	9,9248	14,0890
3	0,7649	1,4226	1,6377	2,3534	3,1824	4,1765	4,5407	5,8409	7,4533
4	0,7407	1,3444	1,5332	2,1318	2,7764	3,4954	3,7469	4,6041	5,5976
5	0,7267	1,3009	1,4759	2,0150	2,5706	3,1634	3,3649	4,0321	4,7733
6	0,7176	1,2733	1,4398	1,9432	2,4469	2,9687	3,1427	3,7074	4,3168
7	0,7111	1,2543	1,4149	1,8946	2,3646	2,8412	2,9980	3,4995	4,0293
8	0,7064	1,2403	1,3968	1,8595	2,3060	2,7515	2,8965	3,3554	3,8325
9	0,7027	1,2297	1,3830	1,8331	2,2622	2,6850	2,8214	3,2498	3,6897
10	0,6998	1,2213	1,3722	1,8125	2,2281	2,6338	2,7638	3,1693	3,5814

Tabela 5 - Valores críticos para a distribuição t de Student

Utiliza-se a tabela especificando o grau de confiança, qual está representada pelas colunas na tabela e o número de amostras que se localiza nas linhas, cruzando as informações tem-se o valor t de *student* para o cálculo do intervalo de confiança. Substituem-se as variáveis na Equação 35 e chega-se ao valor de h para a amostra analisada. Na resposta(R) é apresentada a média calculada e o intervalo de confiança obtido, juntando essas informações tem-se a resposta que é dada de acordo com a Equação 37.

$$R = \bar{x} \pm h$$

Equação 37

2.9.2 Pesquisa Binária

A Pesquisa binária ou busca binária consiste no método numérico na qual se busca um resultado dentro de uma amplitude de possíveis resultados. Estipula-se uma amplitude de possíveis resultados para um determinado problema, então se divide ao meio o intervalo e teremos o valor médio da amplitude de resultados. Substitui-se esse valor no problema e se analisa o resultado obtido. Caso o resultado seja insatisfatório, é verificado se é necessário abaixar ou aumentar o valor possível para a resposta, então é gerado uma nova amplitude de possíveis resultados que é limitado entre o valor central e o menor valor da amplitude, caso se necessite diminuir o resultado, ou o maior valor da amplitude, caso haja necessidade de aumentar o resultado. A partir da nova amplitude de resultados, se obtém o valor médio novamente, se calcula o resultado obtido e a verificação do resultado. Esse algoritmo é executado até o possível resultado estar dentro da margem aceitável para o resultado esperado.

2.9.3 Funções de Distribuição de Probabilidade

A função de distribuição de probabilidade representa a possibilidade de certo evento ocorrer ao longo do tempo observado. A importância do estudo dessas funções foi o teste de aderência das variáveis do modelo proposto com as funções estudadas no campo da estatística. Então, a partir das propriedades e equações das funções se podem fazer formulações e calcular os dados de tráfego da rede de tráfego VoIP analisada. Existem diversos tipos de funções de distribuição de probabilidades. Serão explicadas a seguir as utilizadas no projeto.

2.9.4 Função de Distribuição de Pareto tipo 2

A Distribuição de Pareto tipo 2 é uma função com decaimento leve e é definida a partir de dois parâmetros:

- α (Alfa): Parâmetro de Forma
- β (Beta): Parâmetro de Escala

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = \frac{\alpha \times \beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}$$

Equação 38

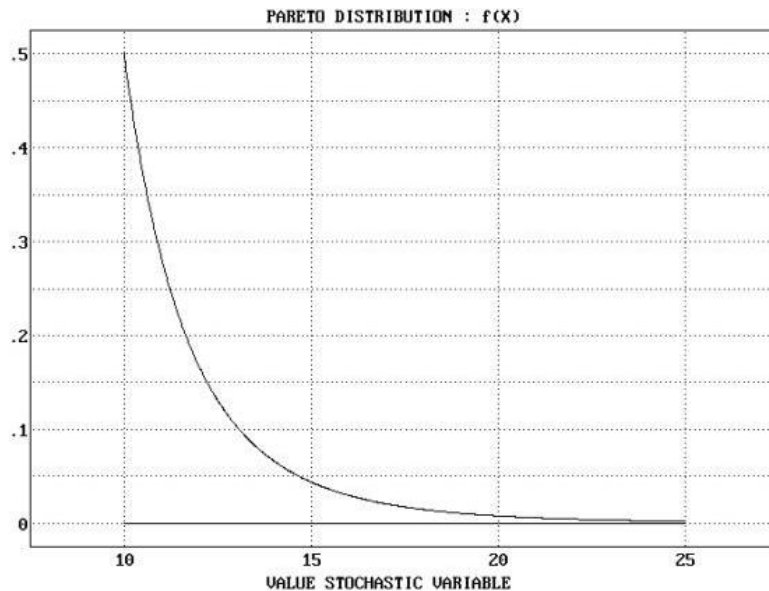


Figura 3 – Distribuição do Pareto tipo 2

Inversa da Distribuição Acumulada:

A equação de função densidade de probabilidade descreve como se comportam os valores esperados, porém é necessário gerar valores da variável de acordo com a distribuição de Pareto tipo 2 para a simulação dos pacotes. Para se chegar a esses valores será utilizado o Método de Monte Carlo, conhecido também como o método da inversa, na qual são gerados valores aleatórios que serão representados por rnd que substituirá $F(x)$ afim de comportar-se como a distribuição de Pareto. Assim feita a substituição, a variável x é isolada e chega-se na função da Inversa da distribuição acumulada:

$$f(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha \xrightarrow{\text{inversa}} x = \left(\frac{\beta}{rnd^{\frac{1}{\alpha}}}\right)$$

2.9.5 Função Exponencial

Ela é caracterizada pela média (μ). É freqüente encontrar nas fórmulas a variável λ que é o inverso de μ . Ou seja $\lambda = 1/\mu$

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Equação 40

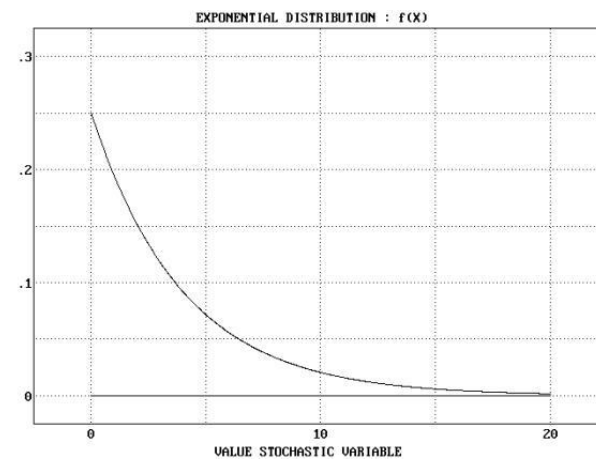


Figura 4 - Gráfico da Função de Distribuição Exponencial

Inversa da Distribuição Acumulada:

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} \xrightarrow{\text{inversa}} x = -\mu \cdot \ln(\text{rnd})$$

Equação 41

2.9.6 Função de Distribuição Normal

É uma das funções de distribuição mais importantes da estatística. Uma das razões para isso, é devido ao teorema do limite central, no qual a soma de todas as variáveis aleatórias independentes e mesma função de distribuição tendem a se tornarem uma função de distribuição Normal.

Tem-se como parâmetros o desvio padrão (σ) e a média (μ).

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Equação 42

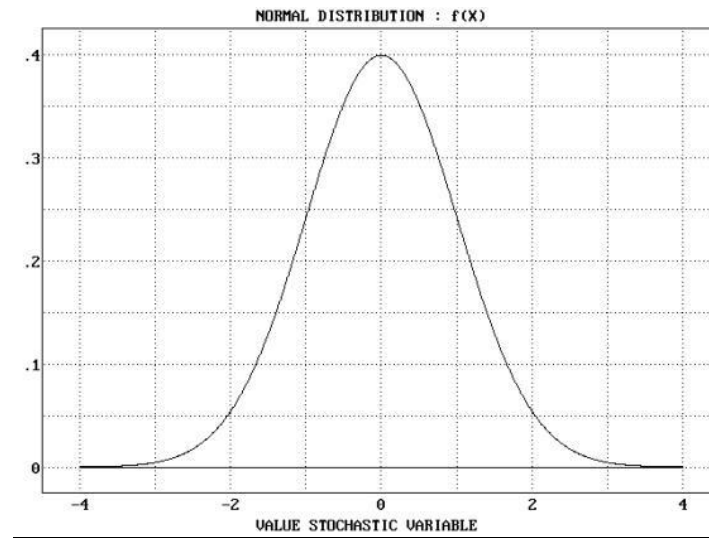


Figura 5 - Gráfico da função de distribuição Normal

Inversa da Distribuição Acumulada:

Para se encontrar a função da Inversa da distribuição acumulada não foi utilizado o método de Monte Carlo para a distribuição Normal, pois não existe uma solução analítica aplicada a essa função. Um método mais rápido e eficiente para esta distribuição é o Método Box-Mueller.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \rightarrow x = (\mu + \sigma \times \cos(2\pi \times rnd) \times \sqrt{-2 \log(rnd)})$$

Equação 43

2.9.7 Função de distribuição Gama

A função de distribuição Gama é freqüentemente encontrada para tempos de espera. Ela possui dois parâmetros, o parâmetro de escala (θ) e o parâmetro de forma (k).

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = x^{k-1} \times \frac{\exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)}{\Gamma(k)}$$

Equação 44



Figura 6 – Gráfico da distribuição Gama

Inversa da Distribuição Acumulada:

A função de distribuição Gama não possui método analítico para se encontrar a sua Inversa da Distribuição Acumulada. Por isso, será aplicado um método número conhecido como *Acceptance-Rejectance* [2]. Neste método, serão gerados diversos valores aleatórios e aplicado um algoritmo para verificar se estes valores estão dentro da função de distribuição gama. Caso estejam dentro da amplitude de valores desejadas serão aceitos, caso contrário serão rejeitados.

2.10 Modelo Proposto

O aplicativo foi criado a partir do Simulador desenvolvido por uma tese [3] baseado no modelo Surge (*The Scalable URL Reference Generator*) da qual foi desenvolvido para análise de tráfego em servidores Web e adaptado para o modelamento do tráfego VoIP. O grande diferencial do modelo Surge é a análise do comportamento do usuário.

2.10.1 Definições

O tráfego VoIP pode ser representado por quatro variáveis:

- **Call Holding Time (CHT)**: Tempo de duração de uma ligação
- **Interval Time Between Calls (ITBC)**: Intervalo entre início de ligações
- **Time for Packet Transmission (TPT)**: Duração da transmissão de um pacote
- **Interval Time Between Packets (ITBP)**: Tempo de duração do intervalo entre início de transmissão de pacotes

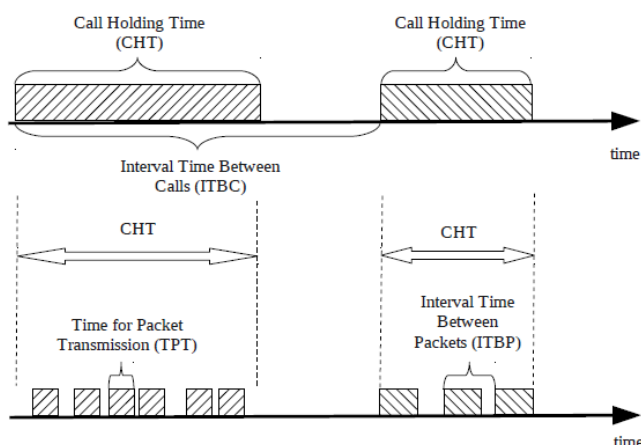


Figura 7 – Representação das Variáveis

Os valores dessas variáveis foram extraídos a partir de um levantamento feito pela tese referida em duas grandes operadoras telefônicas. A primeira operadora utiliza o VoIP “puro”, ou seja, a voz é transmitida em todo o sistema por IP, enquanto que na segunda operadora é utilizado o VoIP para transporte de ligações originadas por celular. Como protocolo de sinalização entre usuários se verificou o uso do protocolo SIP para a operadora de VoIP puro. A identificação das variáveis CHT e ITBC foram feitas pelo levantamento do intervalo de tempo entre mensagens INVITE e BYE, e pelo intervalo entre dois INVITE

respectivamente

Também foi detectada a utilização em 93% das sessões do codec G.729 e no restante foi utilizado o codec G.711. Após o início das sessões, o protocolo de aplicação utilizado foi o RTP, responsável pela transmissão voz entre usuários. Através da análise do trace dos pacotes, foi possível identificar as distribuições de probabilidade e os parâmetros de forma a estabelecer um modelo para o TPT e o ITBP.

Após o levantamento e análise por gráficos dos valores típicos para as variáveis do modelo, se identificou uma série de características no tráfego VoIP. Como a forte relação dos valores com o codec utilizado e que os valores das variáveis podiam ser caracterizados por distribuições probabilísticas. Cada variável foi caracterizada por uma função de distribuição e através de métodos de aderência testou-se a sua validação.

2.10.1 Call Holding Time (CHT)

Verificou-se que a função distribuição de probabilidade contínua de Pareto tipo 2 melhor caracterizou os valores encontrados para CHT. Ela é conhecida como uma distribuição de cauda pesada ou cauda longa, ou seja, a função tem um decaimento lento em relação a função exponencial, assim capaz de lidar com valores extremos que são comuns em sistemas VoIP. Esse tipo de função é freqüentemente encontrada na análise de tráfego Web.

- α (Alfa): Varia normalmente entre 2,1 a 2,6
- β (Beta): Normalmente igual a 60 a 120

2.10.2 Interval Time Between Calls (ITBC)

O ITBC é usualmente modelado pela distribuição exponencial, como comprovada na tese citada. Ela é conhecida como uma função de rápido decaimento. Muito utilizada em diversos estudos de tempo entre eventos sucessivos, ocorrendo um processo de Poisson, como em tempos de chegadas de pacotes em um servidor.

Após iniciada a sessão, o protocolo RTP fará o gerenciamento da transmissão de voz. Então haverá transferência de pacotes contendo os dados de voz, possuindo 2 variáveis com a sessão iniciada o TPT e o ITBP.

2.10.3 Time for Packet Transmission (TPT)

O *Time for Packet Transmission* representa o tempo de duração de envio de pacotes dentro de uma chamada para um usuário. Esta é uma variável que depende de diversos parâmetros da rede como a capacidade do canal e a freqüência de ocorrência dos pacotes. Esta última variável depende do codec, que também modula o tamanho do pacote transmitido. Como já se sabia a porcentagem para cada codec, foi necessário um levantamento sobre a freqüência de cada um dos tamanhos de pacotes para os diversos codecs.

A primeira operadora utiliza dois codecs diferentes (G.729 [15] e G.711 [14]) que possuem cada um tamanhos de pacotes diferentes. O G.729 gera pacotes com tamanhos 134, 144 e 154 bytes com frequências de 3,77%, 71,70% e 24,53% para cada um desses pacotes. Se analisados em uma rede com taxa de transmissão de 1 Gbps, teríamos o valor de TPT para cada um dos pacotes de 1,07 μ s, 1,15 μ s e 1,23 μ s. O G.711 gera em número relativamente igual pacotes de valor 284 e 364 bytes de tamanho. Para a mesma análise com o G.729 tem-se TPT com valores de 2,27 μ s e 2,91 μ s. A segunda operadora utiliza somente o codec AMR, o tamanho dos pacotes são de 137, 163 e 172 bytes e com uma frequência de 3%, 75% e 22% para cada um deles.

O modelo implementado propõe que o codec fará um sorteio aleatório ponderando a frequência de cada um dos codecs e depois de feita essa escolha fará um novo sorteio para o tamanho do pacote, ponderando novamente a frequência para cada tamanho de pacote.

2.10.4 Interval Time Between Packets (TIBP)

O Interval Time Between Packets representa o intervalo de tempo entre a chegada de pacotes durante uma chamada de um usuário. No levantamento das operadoras se notou que os codecs utilizados eram de taxa constante (CBR). Apesar de terem uma taxa fixa, se verificou um atraso devido a fila e tempo de processamento. O que reforça o uso do modelo que é também previsto para taxa de bits variáveis (VBR).

No levantamento feito com as operadoras se constatou valores médios diferente para cada um dos codecs e tamanhos de pacote. O codec G.711 possui tempos médios de intervalo de 20ms e 30ms para os pacotes de 284 e 364 bytes, quanto o codec G.729 possui tempos médios de intervalo de 10ms, 20ms e 30ms para os pacotes com 134 bytes, 144 bytes e 154 bytes. Porém, também se verificou uma variação dos valores em relação aos tempos médios de pacote na geração de pacotes pelo codec G.729. Foram identificados certos padrões em relação à variação dos valores para cada tamanho dos pacotes e essa variação foi avaliada tanto para os valores à direita quanto à esquerda do valor médio, possuindo diferentes distribuições de valores referentes ao ruído do canal para cada um destes. Além de termos padrões para cada lado em relação à média, podemos ter diferentes distribuições no mesmo lado que também tem a sua taxa de ocorrência na transmissão de pacotes. Abaixo segue o comportamento de cada um dos tamanhos de pacote com as suas devidas funções de probabilidade, sendo o nome /nomes da distribuição para os valores à esquerda e direita da média respectivamente separados por “-“ e para o mesmo lado em relação à média representamos por “/”, de acordo com as suas respectivas funções de distribuição de probabilidade:

G.729

1. 134 bytes: (a) 50% Padrão Gaussiana-Gaussiana
(b) 50% Padrão Gaussiana-Normal
2. 144 bytes: (a) 4% Padrão Gaussiana/Gaussiana- Gaussiana/Gaussiana

- (b)8% Padrão Gama-Gama
- (c)20% Padrão Gaussiana-Gaussiana
- (d)28% Padrão Gaussiana-Normal/ Gaussiana-Normal
- (e)40% Padrão Gaussiana/Gaussiana

3. 154 bytes: (a)20% Padrão Gama/Gaussiana- Gama/Gaussiana
- (b)10% Padrão Exponencial-Gaussiana
 - (c)20% Padrão Gaussiana-Gaussiana
 - (d)10% Padrão Gama - Gaussiana/Exponencial
 - (e)40% Padrão Gama-Gama

Como se percebe no levantamento das funções de distribuição relacionadas à variação de tempos, em alguns casos haverá mais de um tipo de distribuição para o mesmo lado em relação à média, ou seja, o modelo propõe um novo sorteio após a escolha do tamanho do pacote para a escolha do tipo de função que simulará a soma ao valor médio da variável TIBP.

Pode-se notar que os TIBP seguem basicamente três funções de distribuição diferentes, a distribuição gama, gaussiana e exponencial. Elas são comuns para alguns cenários de tráfego de VoIP.

2.11 O Simulador

Baseado no modelo Surge, o mestrando Carlos Ignácio de Mattos em conjunto com o Prof. Carlos Marcelo Pedroso desenvolveram um simulador de tráfego VoIP de acordo com esse modelo. O simulador gerará pacotes a partir dos parâmetros de entrada inseridos pelo usuário. Assim ao final da simulação como resultado um arquivo contendo dados sobre os pacotes gerados de acordo com os parâmetros do suposto tráfego VoIP. Ele foi desenvolvido na linguagem Java de programação devido a possibilidade de maior abrangência de uso devido as diversas vantagens que essa linguagem possui, como a larga utilização em ambientes Web.

Para melhor entendimento da função e as propriedades do simulador dividiu-se a função deste em 2 etapas:

- **Simulação do tráfego VoIP**
- **Resultados obtidos**

A seguir, explicam-se detalhadamente cada uma destas etapas.

2.11.1 Simulação do tráfego VoIP

Por definição, simulador é uma ferramenta capaz de reproduzir o funcionamento de um determinado sistema, sendo através de um software ou de um aparelho. A função do simulador baseado no modelo Surge pretende reproduzir o comportamento de um usuário típico que utiliza VoIP. Portanto, é dever do simulador ser o mais fiel possível a utilização prática do sistema.

O simulador receberá os valores dos parâmetros de rede do aplicativo por linha de comando, como já foi mencionado. Os parâmetros terão uma ordem preestabelecida que será respeitada pelo aplicativo. A Tabela 6 relaciona os Parâmetros de entrada do simulador.

Caracterização dos Parâmetros de Entrada					
Ordem	Descrição	Tipo	Unidade	Mínimo	Máximo
1	Intervalo entre Sessões	DOUBLE	-	-	-
2	Iterações	INT	-	-	-
3	Capacidade do Canal	INT	bps	>0	-
4	Parâmetro de Forma ()	DOUBLE	-	>1	-
5	Parâmetro de Escala ()	DOUBLE	-	>0	-

Tabela 6 - Caracterização dos Parâmetros de Entrada

Para cada usuário será simulado uma requisição no sistema, ou seja, será reproduzido uma abertura de comunicação VoIP no canal. Porém organiza-se e rotula-se cada requisição identificando o usuário, o número de sessão e o tempo inicial do pacote, o tempo final do pacote e o tempo de fila.

Logo após a identificação de cada usuário e sessão, executa-se a rotina mais importante da simulação: A Requisição. Nessa rotina criará uma thread para cada usuário do tráfego VoIP, que será controlada pelo Semáforo, da qual se fará o cálculo dos tempos das variáveis do Modelo Surge a partir das funções de Distribuição. A rotina de requisição fará a tradução do Modelo em linguagem de programação.

Como mencionado na seção do modelo Surge, cada variável possuirá diferentes funções de distribuição para estimativa do seu valor. Cada função tem diferentes propriedades, como parâmetros de entrada e saída diferentes e no caso do ITBP na qual

teremos também sorteio do tipo de função de distribuição. Cada pacote gerado pelo Simulador passará por essa rotina para que essas variáveis sejam estimadas para a simulação dos seus tempos no sistema.

2.11.2 Variáveis do Modelo Proposto

Figura 8 – Diagrama de fluxo do CHT

A variável CHT representa o tempo de ligação terá função de distribuição de Pareto e terá como parâmetros de entrada o Alpha e Beta estipulados pelo usuário. O programa fará a geração de uma função de Pareto, e a partir da fórmula da Inversa da Distribuição Acumulada chegamos a um valor para CHT. Lembrando que a fórmula utiliza uma variável que gera um valor aleatório para o cálculo.

Figura 9 – Diagrama de Fluxo de ITBC

A variável ITBC representa o tempo entre ligações possui função de distribuição exponencial O seu cálculo será feito de acordo com outro parâmetro de entrada: Intervalo entre chamadas. A Função de Distribuição Exponencial é gerada a partir do valor médio de chegada de requisições para abertura de ligações VoIP. Com a função gerada, tem-se o valor de ITBC estimado de modo análogo ao CHT pela fórmula da Inversa da Distribuição Acumulada desta função.

Figura 10 - Diagrama de Fluxo para TPT e ITBP

As variáveis TPT e ITBP identificam o tempo de transmissão do pacote e o intervalo de tempo entre essas transmissões estão relacionadas diretamente com o codec que fará codificação e decodificação da voz para pacote de dados. Haverá um sorteio para decidir o tamanho de pacote do codec a ser utilizado, que será a variável TPT, e a partir da escolha do tamanho do pacote será também sorteado o ruído a ser adicionado no envio de voz, respeitando as proporções levantadas na prática. Após a descoberta da função de ruído para o devido pacote, se somará esse valor ao tamanho de pacote previamente encontrado e teremos o valor de ITBP.

2.11.3 Resultados

O aplicativo não terá como calcular as características do tráfego VoIP do canal, como *Jitter* e ocupação de canal, a partir dos valores das variáveis CHT, ITBC, TPT e ITBP. Para o cálculo dessas propriedades do sistema, o aplicativo precisa conhecer os valores de tempo de chegada, saída e espera no sistema. Então, o simulador utiliza essas variáveis citadas para geração dos pacotes e cálculo de cada um desses parâmetros, assim gerando um arquivo de saída que será interpretado pelo aplicativo.

Figura 11 - Diagrama de Fluxo de Saída do Simulador

Como foi mencionado anteriormente a variável CHT e ITBC são responsáveis por representar o comportamento do usuário em relação a duração e início de novas sessões de tráfego *VoIP*, então essas variáveis que regulamentarão os valores indicados para o cliente e sessão no arquivo de saída de acordo com o comportamento baseado no modelo proposto. A abertura de uma nova sessão será simulada a partir das funções de probabilidade propostas para CHT e ITBC, ou seja, existirá somente uma nova sessão caso já tenha expirado o tempo estimado para a duração da ligação somado ao tempo de intervalo entre as ligações deste usuário.

Dentro das sessões de tráfego *VoIP*, os pacotes gerados para a transmissão de voz, e seus tempos no sistema e o tamanho do pacote é estimado pelas funções de probabilidade que regulamentam o TPT e o ITBP. O tempo de entrada(*start time*) de um novo pacote no sistema dependerá do tempo estimado de transmissão entre pacotes somado ao tempo de intervalo entre os pacotes. Ao entrar no sistema no sistema o pacote ficará em fila submetido a espera para ser transmitido. O responsável pela transmissão do pacote será a capacidade do canal, pois de acordo com o seu valor será atendido o número de pacotes no sistema. Caso haja um número maior de chegada de pacotes que a taxa de atendimento no canal, a sua ocupação tende a subir e gerar tempos de fila maiores que podem atrapalhar a ligação *VoIP*. Após a espera na fila e seu atendimento pelo sistema, o pacote terá o seu tempo de saída(*end time*), a subtração do tempo de saída pelo tempo de entrada do pacote, assim se obtém o tempo que o pacote esperou na fila (*queue time*).

A partir desses dados para cada pacote gerado, o simulador, para simplificar a leitura do aplicativo, organizara essas informações em um arquivo de saída na qual cada linha representara um pacote gerado pela simulação.

Capítulo 3 - Aplicativo

O Aplicativo conterà quatro partes:

- Interação Aplicativo-Simulador
- Cenários Propostos
- Cálculo dos Parâmetros VoIP

- Gráficos fornecidos
- Análise dos Resultados

3.1 Interação Aplicativo-Simulador

Para configuração do simulador e análise da sua resposta foi desenvolvido um aplicativo que se comunicará com o simulador de acordo com este diagrama de fluxo de dados (Figura 13):

Figura 12 – Diagrama de Fluxo de dados da Comunicação Aplicativo-Simulador

Como se verifica no diagrama de fluxo acima o aplicativo fará a configuração do simulador com a entrada dos parâmetros de rede conhecidos também como parâmetros de entrada, e a partir da simulação gerar dados de saída. Alguns parâmetros de entrada podem se tornar parâmetros de saída de acordo com um suposto cenário utilizado.

Estes parâmetros de entrada serão inseridos pelo usuário no Aplicativo. Com base nos parâmetros de rede, o simulador obtém os argumentos necessários para simular o tráfego de pacotes VoIP utilizando o modelo proposto. Os parâmetros de Rede estão divididos Parâmetros Gerais e Parâmetros do Modelo Proposto.

Parâmetros Gerais

Número de Sessões Simultâneas: Diz respeito à quantidade de usuários que realizarão chamadas paralelamente no processo de simulação de tráfego.

Quantidade de Iterações: Quantidade de pacotes a serem simulados e adicionados aos dados de saída do simulador.

Qualidade da Voz (MOS): Pontuação da qualidade da voz medida através de uma escala que varia de 1 a 5.

Intervalo de Confiança (%): Intervalo de confiança dos dados de tráfego apresentados para o usuário após ser realizado o processo de simulação.

Capacidade do Canal (bps): Taxa de transmissão em CBR (*Constant Bit Rate*). Este parâmetro é necessário para a modelagem do TPT e ITPT.

Padrão de Codec: Padrão ITU-T utilizado para codificação digital de voz.

Dois padrões estarão disponíveis para a simulação: G.711 e G.729.

Parâmetros do Modelo Proposto

Parâmetro de Forma (α): Parâmetro de forma da distribuição de Pareto. Necessário para a modelagem do CHT

Parâmetro de Escala (β): Parâmetro de escala da distribuição de Pareto. Necessário para a modelagem do CHT.

Média de duração da Sessão: Tempo médio de duração da chamada em [s] no tráfego VoIP analisado

Intervalo médio entre Sessões (λ): É a TBC, que segue a distribuição exponencial.

A comunicação entre o Aplicativo e o Simulador é por linhas de comando, ou seja, o aplicativo lê os parâmetros nele inseridos pelo usuário e disponibiliza essas variáveis na ordem correta para leitura e simulação dos pacotes do simulador. De maneira análoga, o simulador devolve os dados de saída para o Aplicativo.

É com base na análise dos dados de saída que o aplicativo poderá fornecer dados de tráfego de VoIP necessários para o cálculo das características do sistema. Eles serão gerados e salvos em um arquivo de saída, na qual o aplicativo faz a leitura destes. Os dados de saída que serão gerados em respectiva ordem pelo simulador são:

Tempo de Chegada do Pacote: Tempo na qual o pacote gerado pelo simulador chega ao sistema de tráfego VoIP.

Tempo de Saída do Pacote: Tempo que o pacote sai do sistema após ser atendido e processado pelo canal.

Número do Cliente: Número relativo ao usuário que utiliza o tráfego VoIP

Número da Sessão: Número de identificação da ligação VoIP

Tamanho do Pacote: Tamanho do Pacote para transmissão da voz, este valor está relacionado ao codec utilizado e o sorteio do tamanho do pacote para este

Tempo de Fila: Tempo da qual o pacote ficará em espera para o seu atendimento e envio


```

2,020406 2,035729 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,003483
2,023701 2,048369 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,012028
2,041247 2,060209 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,007122
2,053621 2,072849 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,006588
2,061059 2,084689 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,011790
2,081804 2,096529 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,002885
2,082321 2,109169 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,014208
2,102666 2,121009 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,006503
2,110493 2,133649 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,010516
2,122396 2,145489 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,011253
2,140085 2,158129 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,005404
2,142131 2,169969 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,015998
2,161466 2,181809 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,008503
2,170588 2,194449 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,011221
2,183319 2,206289 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,011130
2,200660 2,218929 cliente: 435 Sessao: 0 Bytes:158.0 Fila: 0,005629
2,203072 2,230769 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,015857
2,222776 2,242609 cliente: 537 Sessao: 0 Bytes:148.0 Fila: 0,007993

```

Figura 13 – Exemplo do Arquivo de Saída do Simulador

3.2 Cenários Propostos

Os usuários do aplicativo podem possuir expectativas diferentes para o planejamento do tráfego VoIP. Por isso, o aplicativo tem como objetivo abranger situações na qual ele será utilizado, chamados de cenários. Existem inúmeros cenários disponíveis passíveis de serem implementados no aplicativo, devido as inúmeras características do tráfego VoIP a serem analisadas.

O Aplicativo conterà previamente dois cenários distintos que idealizam diferentes ângulos de planejamento do tráfego *VoIP*. Um dos cenários provê a obtenção das características da rede de tráfego VoIP proporcionando ao usuário a possibilidade de avaliar o eMOS do seu sistema e assim avaliar o seu desempenho. O segundo cenário prevê que o usuário queira planejar um sistema VoIP no qual necessita de capacidade de canal tendo como característica de rede um certo nível de qualidade de serviço oferecida.

A entrada de dados deste cenário possui alguns parâmetros técnicos que podem ser desconhecidos do usuário. Para isso, o aplicativo conterà alguns valores padrão, dos quais se encontram comumente em análises de tráfego e são aceitos pela comunidade acadêmica.

Cenário 1 - Obter Dados de Tráfego

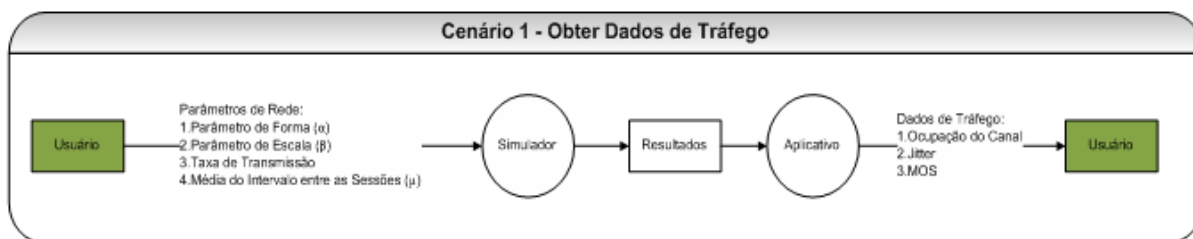


Figura 14 - Diagrama do Cenário 1

Este cenário teria como exemplo prático uma Operadora que estivesse interessada em saber qual a qualidade de serviço oferecida para os seus usuários. Por isso este considera a possibilidade de o usuário conhecer as características do seu tráfego VoIP.

A análise nesse caso é dos dados de tráfego. Esse parâmetro possui como principais características a qualidade de voz (eMOS), o *Jitter* e a Ocupação do Canal. Para calcularmos estas características precisaremos de alguns dos parâmetros de rede (Alfa, Beta e Taxa de transmissão) serão fornecidos pelo próprio usuário na interface gráfica do aplicativo. A partir destes valores o simulador gera os pacotes de acordo com o modelo proposto e gera um arquivo de saída contendo os tempos destes.

O aplicativo faz a leitura dos tempos de pacote e os repassa para as rotinas de cálculo, que devolvem ao usuário os valores de *Jitter*, Ocupação de Canal e eMOS, além do gráfico onde se disponibiliza os tempos de pacotes de acordo com o seu tempo de fila.

Para verificação do resultado, foi implementado uma rotina de cálculo de Intervalo de confiança dos valores encontrados nos tempos de pacotes e no valor de *Jitter*. Esse parâmetros têm como função analisar a variação dos valores em relação ao valor médio, com isso verificar se existe um possível estouro no tempo de fila dos pacotes e *Jitter*, o que geraria de acordo com o valor certo desconforto aos usuários nas ligações VoIP deste sistema. O valor especificado para o intervalo de confiança pode ser inserido pelo próprio usuário nas opções avançadas do aplicativo.

Cenário 2 - Estimar Capacidade do Canal

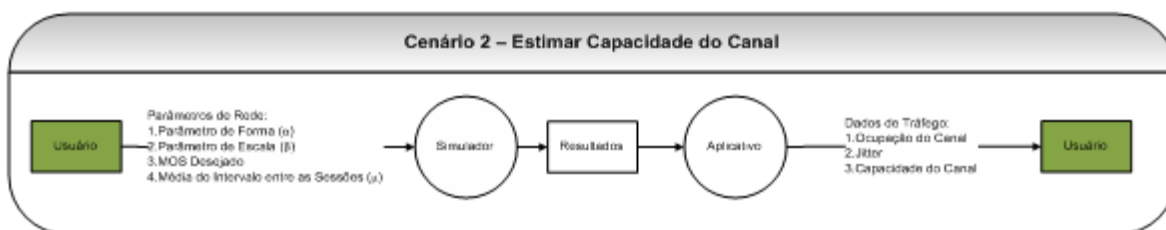


Figura 15 – Diagrama de Fluxo do Cenário 2

O segundo cenário será o mais complexo, pois cobre todas as funcionalidades do aplicativo e tem como objetivo abranger uma situação prática na qual uma Operadora de serviços VoIP pretende descobrir a capacidade do seu canal para uma determinada qualidade de serviço.

Será necessário que o usuário forneça o parâmetro de forma (alfa), parâmetro de escala (beta) e a taxa de transmissão. O aplicativo repassa para o simulador os parâmetros necessários para a geração de pacotes seguindo o modelo proposto, da qual se gera um arquivo de saída com os resultados específicos para esse sistema de modo análogo ao primeiro cenário. Com base nesses resultados, o Aplicativo então especifica uma Capacidade de canal inicial que calcula o eMOS estimado inicial e compara o valor com o eMOS desejado, caso o valor não esteja na margem de aceitação, o aplicativo iniciará um procura binária do valor desejado modificando os valores da capacidade do canal, afim de encontrar o

valor do MOS desejado. Então quando encontrado este valor, o aplicativo mostrará também o *Jitter* e a Ocupação do Canal.

3.3 Cálculos

3.3.1 Cálculo do Número de Sessões Simultâneas

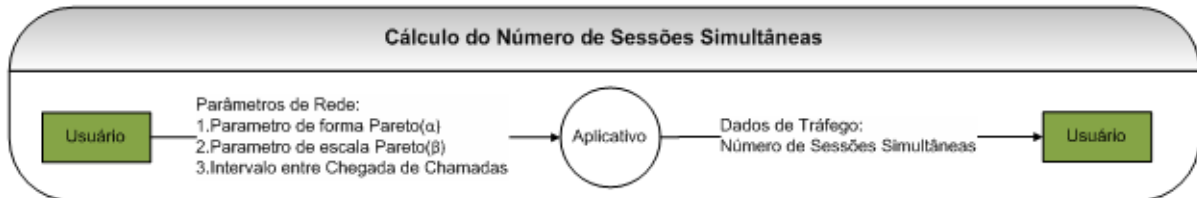


Figura 16 – Diagrama de fluxo do Número de Sessões Simultâneas

Ao se apresentar os dados de tráfego ao usuário, um dos resultados fornecidos em ambos os cenários é o número de sessões simultâneas. Esse dado fornece ao usuário quantas sessões ocorreram ao mesmo tempo no sistema. Para se obter o valor desse dado de tráfego não se precisa dos resultados da simulação, se necessita conhecer os parâmetros de redes configurados pelo usuário. Os parâmetros para o cálculo serão os parâmetros de Pareto (alfa e beta) e o Intervalo entre Chegada de Chamadas. De acordo com a Equação 45.

$$NS = TM . \lambda$$

Equação 45

Para se descobrir o número de sessões que ocorrem no mesmo instante de tempo se multiplica o tempo médio de duração de chamada de um usuário pela taxa média de chegada de chamadas (λ), que corresponde ao inverso do Intervalo entre Chegada de chamadas (IC). O valor do tempo médio de duração da chamada (TM) é encontrado utilizando as propriedades da função de distribuição de probabilidade de Pareto, utilizando a Equação 46.

$$TM = \frac{(\alpha - \beta)}{(\alpha - 1)}$$

Equação 46

Após se encontrar o valor de TM, o Aplicativo calcula o valor da taxa média de chegada de chamadas (λ), esse valor é obtido a partir do cálculo do inverso do Intervalo entre chegadas de chamadas ($\lambda = 1/IC$), que é configurado pelo usuário na interface gráfica do aplicativo. Então aplica-se a Equação 45 e tem-se o resultado fornecido ao usuário.

3.3.2 Cálculo do *Jitter*

Figura 17 – Diagrama de Fluxo do Jitter

Como demonstrado no capítulo de revisão de conceitos, para o cálculo do *Jitter* precisa-se analisar a diferença de tempos dos pacotes subseqüentes. Para isso o aplicativo deve calcular o *Jitter* atual para cada um dos pacotes gerado. A rotina faz a leitura e a subtração entre o tempo de criação e chegada para pacote *i* e o pacote *i+1*, então se faz a diferença entre os pacotes *i* e *i+1*, assim chega-se o valor de *D()*. Valor que será substituído na Equação 1.e assim chegaremos ao valor do *Jitter*. Serão feitas inúmeras iterações até se chegar ao último pacote gerado e teremos o valor total do *Jitter*.

3.3.3 Ocupação do Canal

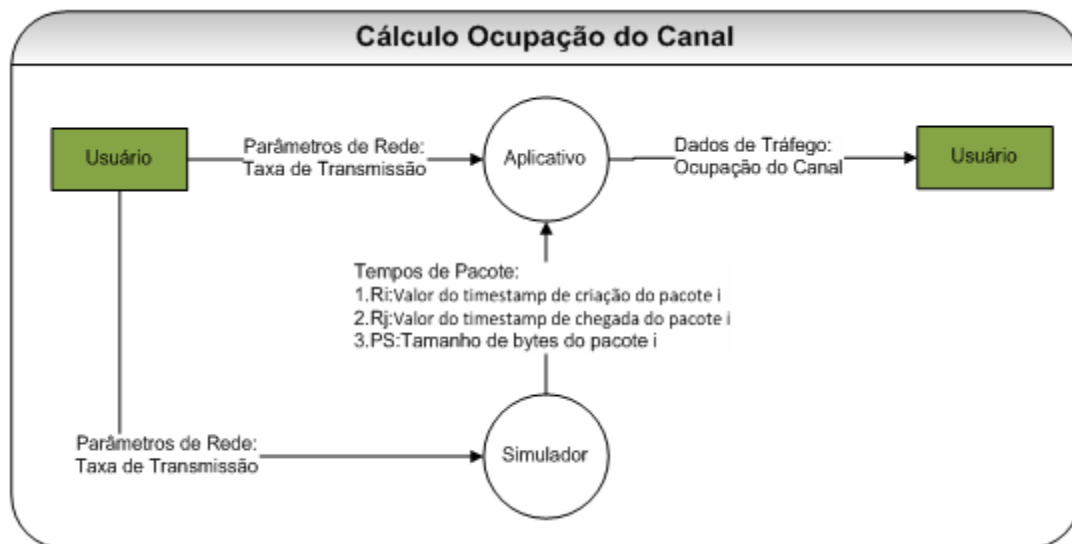


Figura 18 – Diagrama de Fluxo da Ocupação do Canal

A ocupação do canal é calculada através da relação entre a taxa média de chegadas de pacote e taxa média de atendimento de pacotes em um sistema. Observar que o número de servidores é 1,então $M=1$ na Equação 34 e se substituir a taxa média de atendimento de pacotes por $(1/TA)$ e a taxa média de chegada de pacotes $(1/IC)$,chegaremos a seguinte fórmula para a ocupação do canal:

$$\rho = \frac{TA}{IC}$$

Equação 47

Para se descobrir os valores das variáveis TA e IC utiliza-se a capacidade do canal, fornecido como parâmetro de rede e os tempos de chegada e atendimento para cada pacote gerado. O valor do tempo médio de atendimento de pacote(TA) é o tempo médio que o servidor consegue atender um pacote para uma determinada capacidade de canal. Então por definição deve-se dividir o tamanho do pacote i trafegado no sistema(PS) pela taxa de transmissão(Rate), porém vale ressaltar que a capacidade do canal está em bps(bits per second) e o tamanho do pacote está em bytes, então necessita-se multiplicar o tamanho médio de pacotes por oito, pois 1 Byte=8 bits. Então chega-se a Equação 48 para cada pacote.

$$TA_i = \frac{PS \cdot 8}{Rate}$$

Equação 48

O cálculo do tempo médio de atendimento de pacote será obtido pela divisão da soma de todos os valores de TA de cada pacote pelo número de pacotes gerados.

Estabelecido o valor de TA, precisa-se descobrir o valor para IC.O Intervalo entre chegadas corresponde a diferença de tempo médio entre a chegada dos pacotes, então tem-se o valor médio ao calcular-se o valor total dessas diferenças e dividir pelo número de pacotes gerados(PG). O Aplicativo simplifica o cálculo, pois o valor total das diferenças de chegadas corresponde ao tempo de chegada do último pacote gerado(R_k). Portanto dividi-se esse valor pelo número de pacotes gerados e chegaremos ao Intervalo médio de chegada de pacotes de acordo com a Equação 49.

$$IC = \frac{R_k}{PG}$$

Equação 49

Após o aplicativo calcular os valores de IC e TA, ele estará apto a calcular a ocupação de canal estipulado pela Equação 34 e assim fornecer em ambos os cenários esse dado de tráfego.O valor ideal para a ocupação de canal é menor que 1, porém ao executar o aplicativo o cálculo forneceu valor desse dado de tráfego para o número estipulado de iterações, ou seja, a rede de tráfego VoIP pode apresentar um valor ideal para ocupação de canal, mas tender a um valor maior que 1, o que geraria perda de pacotes e falhas na continuidade da voz, caso aumentasse o número de iterações. Notar que ainda não foi implementado uma aplicação que avise ao usuário sobre a possibilidade de estouro da ocupação do canal, o que seria um dos trabalhos futuros a serem desenvolvidos para o aplicativo.

3.3.4 Qualidade da Voz (MOS)

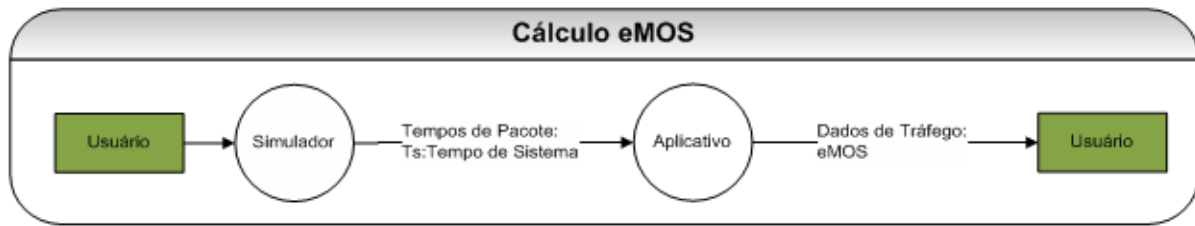


Figura 19 – Diagrama de Fluxo do eMOS

Como se apresentou na seção dos cenários estipulados para o Aplicativo, este possui um cenário para o cálculo do valor de eMOS a partir dos parâmetros de rede e outro cenário para o cálculo da capacidade do canal partindo dos parâmetros de rede e um valor de eMOS estipulado. Porém, ambos utilizam a mesma rotina de cálculo, entretanto no primeiro cenário se utiliza somente uma vez o cálculo do eMOS, enquanto no segundo cenário teremos essa rotina acionada para cada novo valor de taxa de transmissão estimado até encontramos o valor de eMOS estipulado.

O cálculo do valor do eMOS consiste em chegarmos no valor de avaliação de transmissão R pela Equação 4 e relacionar esse resultado a um valor de MOS. O cálculo de R depende de diversos fatores que prejudicam a transmissão da voz como I_s , I_d e I_e . Como foi apresentado na seção destinada aos MOS, cada um desses fatores tem as suas equações e conseqüentemente os seus parâmetros para cálculo, para o fator I_d que se refere ao prejuízo da voz relacionada ao atraso de pacotes, tem-se como valor o tempo médio de sistema dos pacotes. Os outros fatores do E-Model são especificados como constantes pela ITU-T pela recomendação G.107, capítulo de valores padrão, o que facilita o cálculo dos outros fatores. O aplicativo possui esses valores constantes no seu código, porém a mudança dos seus valores não é acessível ao usuário.

Os parâmetros de entrada para no cálculo pelo E-Model no Aplicativo são os tempos de sistema dos pacotes gerados, o seu valor médio representara o fator I_d . Esse parâmetro é obtido pela soma dos tempos de fila e atendimento dos pacotes ($TS=TF+TA$). O aplicativo cria duas variáveis que possuem a soma dos valores de tempo de fila e atendimento para os pacotes gerados. Então se somam essas variáveis e se obtém o valor do tempo no sistema. Para se chegar ao valor médio, se divide esse valor pelo número de pacotes gerados. Substituisse o fator I_d na fórmula de R pelo valor do Tempo de Sistema, junto com o resultado dos outros fatores e se obtém o valor do fator de avaliação da transmissão. Então para adquirir o resultado do eMOS relaciona-se o valor de R com o respectivo resultado estimado para o MOS através da Tabela 2 e se fornece o resultado obtido para o usuário.

3.3.5 Capacidade do Canal

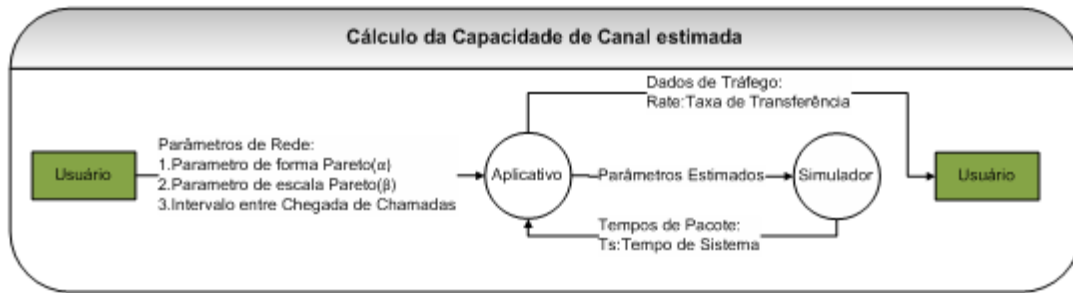


Figura 20 – Diagrama de Fluxo da Capacidade de Canal Estimada

A capacidade do canal como parâmetro de saída é feita para se obter um determinado valor de eMOS a partir de parâmetros de rede estipulados. Porém o próprio valor de eMOS depende da taxa de transmissão pois essa variável está relacionada ao tempo de atendimento de pacotes, que impacta no valor no tempo de sistema dos pacotes, e a ocupação do canal, que por consequência modifica o fator I_d utilizado no cálculo do eMOS. Então a solução tomada para otimização dessa rotina é designar uma ocupação de canal inicial (ρ_1), para se chegar a um valor inicial da taxa de transmissão inicial ($Rate_1$), a partir da Equação 50.

$$Rate_1 = \frac{PS \cdot 8}{ICp \cdot \rho_1}$$

Equação 50

A capacidade de canal inicial é uma previsão de valor para uma série de valores previamente determinados. Parte se do principio que para um tráfego aceitável para uma rede de tráfego VoIP, se terá certos valores para a ocupação do canal, valor configurado pelo aplicativo $\rho_1=0.5$ e o intervalo entre chega de pacotes (ICp), que será calculado a partir da Equação 51.

$$Icp = \frac{TMp}{NS}$$

Equação 51

Aonde se divide o tempo médio de transmissão de pacote (TMp) pelo número de sessões simultâneas da rede (NS). O cálculo do NS segue os mesmos procedimentos que os descritos em sua rotina de cálculo. Entretanto o valor de TMp é configurado padrão pelo Aplicativo e tem valor $TMp=20$ [ms], valor considerado aceitável para um tráfego VoIP como no caso da estimação da ocupação de canal inicial. Outro parâmetro que interfere no cálculo da taxa de transferência inicial é o tamanho médio de pacote (PS), que é configurado como 145 bytes, devido ao levantamento do sorteio de pacotes pelo codec G.729 que gera pacotes com tamanhos 134, 144 e 154 bytes com frequências de 3,77%, 71,70% e 24,53% respectivamente. Então se substituíram-se os valores iniciais na Equação 50 e chega-se a resposta necessária para a primeira iteração.

Estimada a capacidade de canal inicial, se fornece esse valor ao simulador junto com

os parâmetros de rede e obteremos os tempos de sistema para os pacotes gerados para a iteração inicial. O Aplicativo utiliza esses valores para calcular o eMOS inicial. Após a execução da rotina de cálculo do eMOS, compara-se esse resultado com o eMOS estipulado pelo usuário, caso os valores não estejam dentro da margem de aceitação do usuário, parâmetro que é definido nas configurações avançadas do aplicativo, deve se continuar a procurar o valor de eMOS estipulado. Então o Aplicativo executa a sua rotina de procura binária do valor da capacidade do canal. Como demonstrado no capítulo destinado ao tema, se utiliza um algoritmo que encontra o valor médio encontrado na diferença entre o valor da capacidade de canal utilizado na iteração corrente com o valor da mesma variável na iteração prévia.

Encontrado o novo valor da capacidade de canal, o Aplicativo faz uma nova iteração, configurando novamente o simulador, com a mudança do valor da taxa de transmissão nos parâmetros de entrada. O Aplicativo recebe os novos tempos dos pacotes gerados e a partir deles calculará novamente o valor do eMOS, então fornecido o resultado faz a rotina de comparação entre o valor obtido e o resultado desejado pelo usuário. Essa rotina é executada até esses valores estejam ambos no intervalo de aceitação ou o número de iterações para o cálculo de eMOS seja excedido, o valor máximo de iterações será configurado pelo usuário nas configurações avançadas.

3.3.6 Intervalo de confiança

A rotina de intervalo de confiança é aplicada a diversos resultados obtidos pelo aplicativo e tem como finalidade a análise do usuário sobre o grau de confiabilidade dos dados fornecidos. Os dados de tráfego nos quais será calculado o intervalo de confiança são os tempos de fila, atendimento e serviço. Eles são demonstrados pelo aplicativo, apresentando o tempo médio e o Intervalo de confiança. Abaixo um exemplo para uma simulação do Cenário 1, utilizando uma taxa de transmissão de 1,5 Mbps, Alfa=2,16, Beta=63,42:

Queue Time [ms]: 0.4406, Confidence Interval = \pm (0.0928)

Service Time [ms]: 0.7688, Confidence Interval = \pm (0.0017)

Response Time [ms]: 1.2093, Confidence Interval = \pm (0.0938)

A rotina para o cálculo do Intervalo de confiança, primeiro divide o número de pacotes gerados em amostras de 1000 elementos, essa ação é efetuada para obter-se um menor número de amostras a serem calculadas. Notar que caso o número de pacotes gerados não possuir divisão exata por 1000, serão desconsiderados os pacotes que não formarem grupos de amostras com 1000 elementos. Então ao se formar grupos de amostras, o aplicativo calcula a média, desvio padrão e intervalo de confiança dos tempos de fila, atendimento e serviço para cada um dos grupos formados. A próxima tarefa executada pelo aplicativo é calcular a média das médias, ou seja, se soma as médias dos grupos formados e se divide pelo número de grupos formados. A partir do valor médio das médias, se calcula o desvio padrão utilizando as médias dos grupos formados, então com o valor de s , utiliza-se a Tabela 5,e

chega-se ao resultado dos Intervalos de confiança.

3.3.7 Gráficos gerados pelo aplicativo

Uma das razões da qual se utilizou o Java como linguagem de programação, foi a possibilidade de encontrar rotinas *Open Source*. A rotina responsável pela geração dos gráficos foi um exemplo de rotina *Open Source* utilizada no aplicativo. Por se tratar de uma aplicação da qual não se necessita conhecimento relacionado a engenharia para sua construção, foi decidido o não desenvolvimento de tal rotina e sim a utilização de uma disponível para implementação no aplicativo. Se utilizou a rotina disponibilizada pelo *JFreeChart* [17].

O Aplicativo gera gráficos para cada um dos cenários, o Cenário 1 por ser tratar da análise do eMOS da rede de tráfego VoIP, se tem a verificação do tempo de fila dos pacotes. O aplicativo fornece a rotina de geração de gráficos o tempo de fila para cada um dos pacotes gerados, então a rotina desenha um gráfico Tempo de Fila x Número do Pacote.

Uma das propriedades das simulações em geral é o efeito de “*Warmup*”, em português conhecido como efeito de aquecimento da simulação. Ele ocorre, pois toda simulação parte de um estado estacionário, o que representa na análise de tráfego VoIP, a não existência prévia de pacotes em fila quando acionada a simulação, então só se tem uma real avaliação do efeito no atraso dos pacotes a partir de um determinado valor de pacotes gerados, pois as primeiras simulações criam o estado inicial não estacionário. Esse efeito tem consequência na análise dos gráficos e nas respostas apresentadas aos usuário. Por enquanto o aplicativo possui a opção de desconsiderar um determinado número de pacotes iniciais na geração dos gráficos, parâmetro disponível nas opções avançadas do aplicativo. Porém, uma possível futura implementação do aplicativo seria a opção de utilizar essa mesma opção para o cálculo dos dados de tráfego da rede de tráfego VoIP. A Figura 21 – Gráfico do Queue Time Analysis demonstra uma simulação utilizando uma taxa de transmissão de 1,5 Mbps, Alfa=2,16, Beta=63,42, com 10 mil iterações, das quais somente se considerou a partir do pacote 3000.

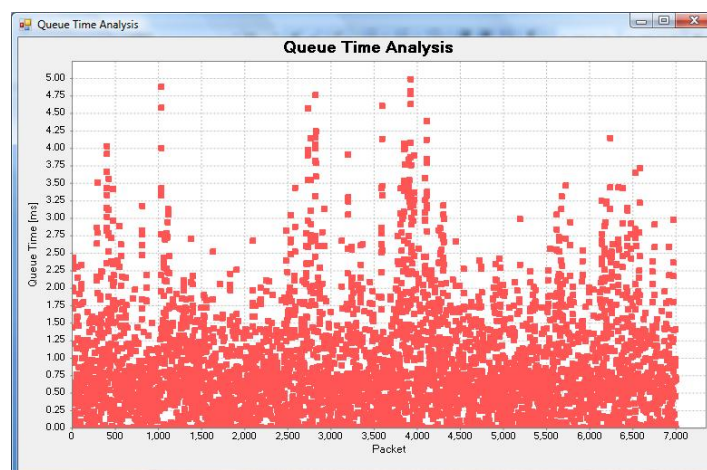


Figura 21 – Gráfico do Queue Time Analysis

O cenário 2 possui como resposta o valor da taxa de transmissão de acordo com os parâmetros de entrada configurados pelo usuário, reposta que será calculada por meio de diversas iterações utilizando uma pesquisa binária. Ao executar o Cenário 2, o usuário recebe os valores calculados do eMOS e a capacidade do canal de cada iteração até a descoberta dos valores finais. Esses dados são gravados em uma tabela, que após o término da rotina são fornecidos à rotina os resultados obtidos. Utilizando esses valores o gráfico é gerado contendo os pontos calculados por cada uma das iterações. A rotina também provê ao usuário a ligação dos pontos encontrados no gráfico para uma análise do impacto da taxa de transmissão no eMOS. Para demonstração do gráfico da análise do eMOS, foi feita uma simulação Alfa=2,16, Beta=63,42 e um eMOS desejado=3.5 verificada na Figura 22.

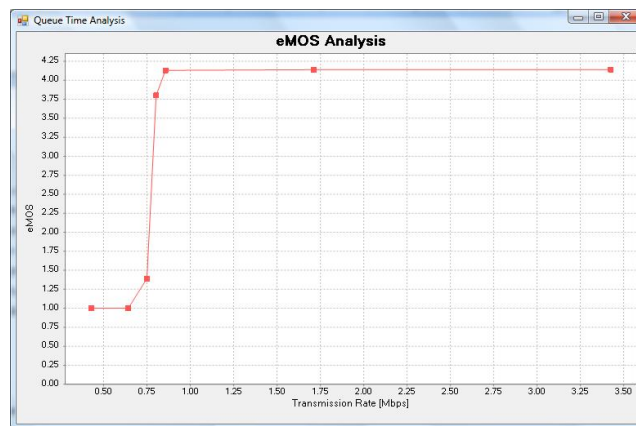


Figura 22 – Gráfico do eMOS Analysis

3.4 Análise de Resultados

O Aplicativo tem como finalidade auxiliar o planejamento de uma rede de tráfego *VoIP*. Então se apresenta uma análise para um sistema, demonstrando a importância do aplicativo para o planejamento deste.

Supõe-se uma rede de tráfego *VoIP* na qual o usuário não possui as propriedades da rede, então se utiliza os valores padrões fornecidos pelo aplicativo, os valores padrão são típicos e freqüentemente encontrados em levantamentos de tráfego *VoIP*. Ao executar uma simulação do Cenário 1 com esses parâmetros encontra-se a seguinte resposta:

- Jitter [ms]:0.4463

- Channel Occupation (%): 21.6972
- Queue Time [ms]: 0.3229, Confidence Interval = \pm (0.1600)
- Service Time [ms]: 0.7725, Confidence Interval = \pm (0.0042)
- Response Time [ms]: 1.0954, Confidence Interval = \pm (0.1630)
- eMOS:4.14
- Number of Simultaneous Sessions: 118

Pode se verificar que a rede de tráfego VoIP está em ótimas condições, pois apresenta tempos de fila e atendimento relativamente baixos, o que ocasiona um valor baixo de Jitter, pois valores acima de 50 [ms] para o Jitter ocasionam falha na continuidade da voz, e por consequência um valor baixo de eMOS. Porém o sistema possui uma alta taxa de transferência (1,5 Mbps), o que pode ser representar gastos excessivos para o usuário. Uma das soluções propostas é o usuário utilizar o Cenário2. Então ao executar o Cenário 2, se busca um valor de capacidade de canal que satisfaça o eMOS de 3.5, afim de se encontrar uma menor taxa de transferência. Após 3 iterações se tem a seguinte mensagem do Aplicativo indicada na Figura 23.

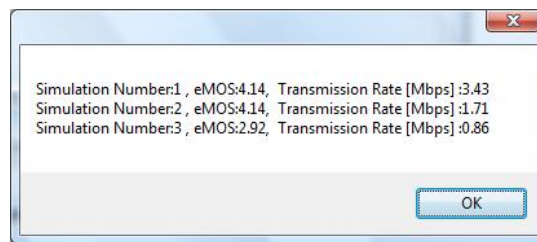


Figura 23 – Janela do Aplicativo mostrando as iterações

Verifica-se após 3 iterações que a taxa de transferência está acima do necessário para atingirmos um nível aceitável de tráfego de VoIP, pois se chegou a um valor próximo do necessário na terceira iteração com praticamente metade da taxa de transferência utilizada na simulação do Cenário 1. Por isso se continua a execução das iterações pelo aplicativo. Ao se chegar na oitava iteração se obtém ao resultado esperado, com os seguintes dados de tráfego:

- Jitter [ms]:0.8298
- Channel Occupation (%): 49.0500
- Queue Time [ms]: 102.9258, Confidence Interval = \pm (216.0807)
- Service Time [ms]: 1.3159, Confidence Interval = \pm (0.0096)
- Response Time [ms]: 104.2418, Confidence Interval = \pm (216.0832)
- eMOS:3.73
- Number of Simultaneous Sessions: 118

- Transmission Rate [Mbps]:0.883039

Ao analisar as respostas, o primeiro dado que se verifica é o resultado obtido para a taxa de transmissão=0.88 Mbps, valor que representa 58% da capacidade de canal utilizada para um eMOS=4.14. Outro dado que pode se verificar é o *Jitter* que continua com um valor baixo e não representa perda substancial da qualidade da ligação. Esses dados representam o quanto pode se otimizar a rede de tráfego VoIP a partir da mudança da taxa de transferência. Se verifica na Figura 24 o gráfico gerado para esta simulação.

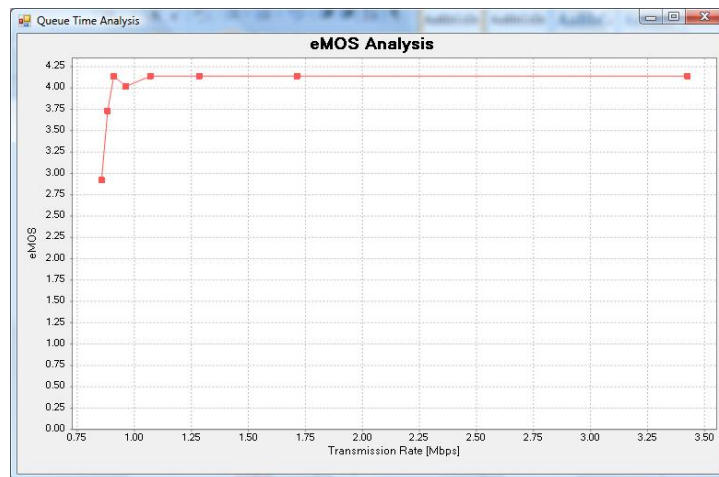


Figura 24 – Gráfico do eMOS Analysis para valores Padrão

Ao observarmos o gráfico de análise do eMOS gerado se verifica que valores da taxa de transmissão maiores que 1,1 Mbps não representam mudanças no valor de eMOS. Também pode se observar que para um valor mais próximo do eMOS=3,5, se obtém para um valor mais próximo de 0,8 Mbps.

A curva apresentada na Figura 24 é típica para todas as simulações. Pode-se verificar que na parte inicial do gráfico temos um rápido crescimento dos valores de eMOS para uma pequena diferença de valores da taxa de transferência. Após essa fase inicial se tem uma fase de estabilidade do gráfico, onde os valores de capacidade de canal pouco interferem no valor de eMOS. Essa propriedade do gráfico auxilia na verificação de um ponto onde se tem um ponto ótimo para a configuração da rede, que seria o ponto máximo da fase inicial, da qual também representaria o ponto inicial da segunda fase do gráfico. Pode-se reuplicar esse valor ótimo da capacidade de canal no cenário 1, no caso o valor seria 0,92 Mbps e obtém um valor próximo do valor máximo de eMOS. Segue abaixo os dados de tráfego obtidos:

- Jitter [ms]:0.8975
- Channel Occupation (%): 36.8354
- Queue Time [ms]: 2.8550, Confidence Interval = \pm (1.4450)
- Service Time [ms]: 1.2521, Confidence Interval = \pm (0.0012)
- Response Time [ms]: 4.1071, Confidence Interval = \pm (1.4448)

- eMOS:4.13
- Number of Simultaneous Sessions: 118

Como se observa nas simulações executadas, pode-se utilizar a combinação dos cenários, gráficos e dados fornecidos para se chegar a um ponto ótimo para a rede de tráfego VoIP. Assim comprovando a funcionalidade do aplicativo.

Observa-se que os pontos a partir do valor de 4,14 para eMOS formam uma reta, pois esse é o valor máximo que o E-MODEL aceita, porém se houvesse a possibilidade de redefinir o valor máximo, ainda assim se teria uma fase de estabilidade.

Capítulo 5 - Conclusão

5.1 Conclusões e Trabalhos Futuros

O aplicativo teve um resultado muito satisfatório alcançaram-se todos os objetivos especificados durante o seu planejamento. Ao se estipular como objetivo o desenvolvimento de um programa para planejamento e otimização de uma rede de tráfego VoIP, de acordo com um modelo de tráfego proposto, concluiu-se que o aplicativo fornece as ferramentas necessárias para tal propósito.

A proposta do aplicativo foi bem-sucedida e pretende apresentar uma nova idéia para

a planejamento e utilização do VoIP. O planejamento de redes VoIP permite que o usuário ao optar por tal tecnologia, que já apresenta diversas vantagens relacionadas a telefonia tradicional, disponha da opção de usufruir dessa tecnologia de maneira otimizada. O que seria ainda menos custoso para uma operadora que disponibiliza aos clientes o tráfego de voz por IP, otimizando suas redes sem que haja queda de qualidade nas ligações.

A principal razão para o sucesso do desenvolvimento do aplicativo foi o seu planejamento. Durante essa fase inicial do projeto se especificaram os objetivos e traçaram-se os cenários. Após isto, foi feita a análise de quais os cálculos necessários para implementação do Aplicativo, quais temas seria necessário um aprofundamento teórico e a determinação de prazos. Todos esses fatores contribuíram para que se tomasse o rumo certo para o trabalho de conclusão de curso.

Como demonstrado durante o desenvolvimento da monografia, existem alguns pontos a serem trabalhados no aplicativo. Por enquanto o aplicativo somente apresenta o valor da ocupação de canal, porém devido ao número de iterações esse valor pode ser aceitável e não apresentar ao usuário a real situação. Uma das idéias a serem analisadas para implementação seria uma rotina que prevê-se o estouro do canal, e avisasse o usuário dessa possibilidade.

Em alguns casos o Aplicativo utiliza muitas iterações para encontrar o valor da taxa de transferência no Cenário 2, o que pode custar muito processamento da máquina e tempo útil do usuário. Este problema pode ser amenizado através de melhor estipulação do valor inicial para a capacidade do canal, pois em alguns casos se verifica que o Aplicativo executa até 5 iterações e não se verifica mudança no valor do eMOS. Esta melhora poderia ser obtida através da mudança do algoritmo de procura do valor ótimo para a taxa de transferência.

Outro ponto a ser trabalhado é considerar o efeito de *Warmup*, já implementado na geração do gráfico do tempo de fila no Cenário 1 para o cálculo dos dados de tráfego. Como se observa nos gráficos o estado estacionário impacta no cálculo desses parâmetros. A idéia seria uma rotina que fizesse a análise do ponto na qual não se considera o sistema em fase de aquecimento devido ao estado inicial. Assim os cálculos de dados como o Jitter, tempos dos pacotes gerados e Ocupação do Canal fossem utilizadas as informações após o efeito de *Warmup*.

Apesar do objetivo do aplicativo ter sido alcançado, é de interesse dos alunos e professor orientador envolvidos no projeto continuar o desenvolvimento do programa, implementando novas aplicações, novos módulos e resolvendo os problemas acima descritos, afim de se chegar em um aplicativo que possa ser difundido na área acadêmica e profissional.

A partir deste trabalho pretende-se elaborar um artigo científico justificando a sua necessidade e o inscrevê-lo em congressos e simpósios relacionados ao tema VoIP. Ao final deste projeto foi possível verificar a importância do trabalho desenvolvido e o potencial nele contido.

Referências

[1] Sérgio Colcher, Antônio T. A. Gomes, Anderson O. da Silva, Guido L. de Souza e Luiz Fernando G. Soares. VoIP Voz sobre IP. Editora Campus.

[2] FILHO, PAULO JOSÉ DE FREITAS. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Visual Books, 2001.

[3] Carlos Ignacio de Mattos, Eduardo Parente Ribeiro, Carlos Marcelo Pedroso. A New Model for VoIP Traffic Generation.

- [4] Deitel, H.M. Java – Como Programar. 5ª Edição - Personal Education, 2005.
- [5] Jonathan Davidson. Voice Over IP Fundamental. Cisco Press.
- [6] A. Bacioccola, C. Cicconetti, G. Stea. User-level Performance Evaluation of VoIP Using ns-2. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione University of Pisa.
- [7] ITU-T Rec. G.107. The E-Model, A Computational Model For Use in Transmission Planning. 2003.
- [8] ITU-T Recommendation G.108. Application of the Emodel: A planning guide. Sep. 1998.
- [9] ITU-T Rec. P.800. Methods For Subjective Determination of Transmission Quality. 1996.
- [10] ITU-T G.113. Series G: Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks. (05/2002)
- [11] ETF. SIP: session initiation protocol: RFC 3261. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2002. Disponível em <<http://tools.ietf.org/html/rfc3261>>.
- [12] SCHULZRINNE, Henning; et al. RFC 3550 – RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. 2003. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc3550>>. Acessado em: 01 Jun. 2010.
- [13] M.J. Karam, F.A. Tobagi, Analysis of the Delay and Jitter of Voice Traffic Over the Internet, IEEE INFOCOM 2001.
- [14] ITU, “Recommendation G.711. pulse code modulation (PCM) of voice frequencies,” 1988, International Telecommunication Union.
- [15] “Coding of speech at 8kbit/s using conjugate-structure algebraic code-excited linear prediction (cs-acelp),” 1996, International Telecommunication Union.
- [16] BUNDAY, B. An introduction to Queuing theory. Arnold, 1996
- [17] Gilbert, David. The JFreeChart Class Library, Version 1.0.13. Disponível em: <www.jfree.org>

