Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC
Departamento de Comunicações – DECOM

Dissertação de Mestrado

UMA INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE TRÁFEGO ATRAVÉS DE PROGRAMAS DE ENSINO PELA INTERNET

Autor: Leonimer Flávio de Melo

Orientador: Prof. Dr. Luis Geraldo Pedroso Meloni

Banca Examinadora:
Prof. Dr. Luis Geraldo Pedroso Meloni (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Shusaburo Motoyama (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Ailton Akira Shinoda (UEL)

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Campinas, novembro de 2002

"Deus! ó Deus! onde estás que não respondes?
Em que mundo, em qu'estrela tu t'escondes
Embuçado nos céus?"
Castro Alves

Dedico este trabalho

à minha esposa Xu, que eu amo e que muita força me dá,

aos meus filhos Igo, Nick e Tata, que são a razão de minhas lutas!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai por ter me dado a oportunidade e a força necessária para que eu desenvolvesse este trabalho.

Agradeço ao amigo Jesus Cristo por ser meu confidente em tantos momentos de aflição e incertezas.

Agradeço a Maria, minha mãezinha do céu, por tantas vezes ter me consolado.

Agradeço ao meu pai, Antonio Melo, por estar comigo ontem, hoje e sempre.

Agradeço à minha mãe querida, Chams, por me carregar no regaço e me dar afagos e carinhos...até hoje.

Agradeço aos meus irmãos Naid, Cristina, Leônidas e Maria Amélia pelos momentos de partilha e comunhão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luis Geraldo Meloni, pelo apoio, dedicação e confiança que depositou em minha pessoa.

Agradeço ao CAPES pela bolsa de estudos sem a qual seria impossível concluir este trabalho.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Processamento de Sinais de Multimídia em Tempo Real, aos colegas do DECOM, aos colegas da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação e a todos amigos da Unicamp pelos momentos de carinho que passamos juntos.

RESUMO

Esta dissertação de mestrado enquadra-se na modalidade de ensino a distância (EAD) através da Internet. Buscou-se aumentar a interatividade dos sistemas de EAD por meio do emprego de software de cálculo e simulações, neste trabalho pelo programa matemático Matlab. O emprego de pacotes matemáticos eficientes junto com tecnologias de hipermídia abre as portas de um novo paradigma de ensino e aprendizagem, a se consolidar na alvorada deste novo milênio. Hipertexto, gráficos, animações, áudio, vídeo, calculadores e simuladores eficientes incorporando técnicas de inteligência artificial e o avanço das redes de comunicações de banda larga pavimentarão o caminho a este novo horizonte. A contribuição deste trabalho, além da integração do Matlab em rede, foi o desenvolvimento de um curso introdutório à engenharia de tráfego, em formato hipertexto. Além disso, foram desenvolvidos calculadores das expressões mais importantes de tráfego telefônico para o ambiente do servidor Matlab. Através do programa calculador de tráfego telefônico, o usuário entra com os dados por seu navegador da Internet e os resultados calculados pelo sistema são retornados em forma numérica, de gráficos e de tabelas. O sistema também pode ser empregado em cálculos profissionais de engenharia de tráfego, substituindo com vantagens os métodos tradicionais que empregam tabelas e gráficos estáticos em papel.

ABSTRACT

This thesis subject focuses in distance learning (DL) modality by the Internet. The use of calculators and simulators software introduces a high level of interactivity in DL systems, such as Matlab software proposed by using in this work. The use of efficient mathematical packages and hypermedia technologies opens the door to a new paradigm of teaching and learning in the dawn of this new millennium. The use of hypertext, graphics, animation, audio, video, efficient calculators and simulators incorporating artificial intelligence techniques and the advance in the broadband networks will pave the way to this new horizon. The contribution of this work, besides the Matlab Web integration, is the developing of an introductory course in traffic engineering in hypertext format. Also, calculators to the most employed expressions of traffic analysis were developed to the Matlab server environment. By the use of the telephone traffic calculator, the user inputs data on his or her Internet browser and the systems returns numerical data, graphics and tables in HTML pages. The system is also very useful for professional traffic calculations, replacing with advantages the use of the traditional methods by means of static tables and graphics in paper format.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO AO ENSINO A DISTÂNCIA 1
1.1 Hipermídia 1
1.1.1 Motivações para a utilização da hipermídia em sistemas de apoio ao aprendizado 3
1.1.2 Ambientes de aprendizagem hipermídia 4
1.2 Interatividade 5
1.2.1 Níveis de interatividade 6
1.3 O ensino a distância 7
1.3.1 Justificativa do EAD 8
1.3.2 Cuidados na implementação de cursos a distância 10
1.4 Sumário 10
2. INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE TRÁFEGO 13
2.1 Introdução 13
2.2 Rede de Telefonia Pública Comutada 13
2.2.1 Sistemas de transmissão 15
2.2.2 Multiplexação 15
2.2.3 Sistemas de comutação 16
2.3 Convergência entre redes de circuitos e redes de pacotes 18
2.4 Análise de tráfego 20
2.4.1 Definições de horas de movimento 20
2.4.2 Intensidade de tráfego (*A*) 22
2.4.3 Grau de serviço 23
2.4.4 Disponibilidade 24
2.4.5 Tratamento de chamadas perdidas 25
2.4.6 Fonte de tráfego finitas e infinitas 25
2.4.7 Fórmulas de tráfego 26
2.5 Introdução à teoria de filas 27
2.5.1 Modelos de fila 27
2.5.2 Estatísticas de Poisson 29
2.5.3 Tempo de serviço ou de atendimento 31
2.5.4 Notação de Kendall 31
2.5.5 Relacionamento entre as variáveis aleatórias 32
2.5.6 Sistemas de fila M/M/1 34
2.5.7 Fórmula de Little 37
2.5.8 Aplicação da fórmula de Little em sistemas de filas M/M/1 38
2.5.9 Sistemas de fila M/M/m/m 41
2.5.9.1 Equações de estado para fila M/M/m/m 42
2.5.9.2 Distribuição de Erlang 44

2.5.9.3 Fórmula B de Erlang 46
2.5.10 Sistemas de fila M/M/1/K 47
2.5.10.1 Máquina de estados para a fila M/M/1/K 48
2.5.10.2 Regime estatístico permanente 48
2.5.11 Sistemas de fila M/M/m/K 50
2.5.12 Sistemas de fila M/M/m 54
2.5.12.1 Fórmula C de Erlang 58
2.6 Retorno de chamadas perdidas 61
2.7 Fontes finitas 63
2.7.1 Congestionamento temporal 63
2.7.2 Caso em que o número de fontes é um pouco maior ao número de servidores 63
2.7.2.1 Distribuição de Engset ou distribuição de Bernoulli truncada 65
2.7.3 Caso em que o número de fontes é menor ou igual ao número de servidores 66
2.7.3.1 Distribuição de Bernoulli 68
2.8 Sumário 69

3. PROGRAMA DE ENSINO PELA INTERNET 71

3.1 Introdução 71
3.2 Arquitetura geral 71
3.3 O projeto 73
3.4 A estrutura sistêmica 74
3.5 O ambiente Matlab Web Server 74
3.5.1 Componentes do projeto 76
3.5.1.1 O arquivo *matlabserver.conf* 77
3.5.1.2 O programa *matweb* 77
3.5.1.3 O arquivo *matweb.conf* 78
3.6 Passos para a construção do aplicativo 78
3.7 Criação do aplicativo Web Server 79
3.7.1 Criação da página HTML de entrada 79
3.7.2 Criação da função M-file 81
3.7.3 Criação da página HTML de saída 83
3.8 Sumário 84

4. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA DE ENSINO 85

4.1 Introdução 85
4.2 Funções e interface visual 85
4.2.1 Sistemas de bloqueio ou perda 86
4.2.1.1 Exercício 1: Cálculo do número de canais 87
4.2.1.2 Exercício 2: Cálculo da probabilidade de bloqueio 90
4.2.2 Sistemas de atraso ou espera 92
4.2.2.1 Exercício 3: Cálculo da probabilidade de excesso de demora 93
4.2.2.2 Exercício 4: Cálculo da probabilidade de espera 96
4.3 Sumário 97

5. CONCLUSÃO 99

5.1 Sugestão para trabalhos futuros 100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 103
APÊNDICE A 107
A.1 Revista digital Colabora 107
APÊNDICE B 118
B.1 Função para tratamento dos dados para o sistema de perda 118
B.2 Função para tratamento dos dados para o sistema de espera 126
APÊNDICE C 137
C.1 Página HTML de entrada de dados para o sistema de perda 137
C.2 Página HTML de retorno de dados para o sistema de perda 139
C.3 Página HTML de entrada de dados para o sistema de espera 144
C.4 Página HTML de retorno de dados para o sistema de espera 146

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1.1 Níveis de interatividade. 6
Figura 2.1 Representação simplificada entre duas centrais na PSTN. 14
Figura 2.2 Representação esquemática na transmissão de dados. 15
Figura 2.3 Gráfico de volume de tráfego ao longo de um dia. 21
Figura 2.4 Volume de tráfego medido como a ocupação dos circuitos no tempo. 22
Figura 2.5 Exemplo de disponibilidade restrita. 24
Figura 2.6 Exemplo de disponibilidade plena. 24
Figura 2.7 Árvore de decisão para seleção do tipo de fórmula de tráfego a ser utilizada. 26
Figura 2.8 Modelo de fila com um servidor. 28
Figura 2.9 Tempo entre chegadas. 31
Figura 2.10 Máquina de estado para os sistemas de fila M/M/1. 34
Figura 2.11 Transições em torno do estado *n*. 35
Figura 2.12 Gráfico da probabilidade de ocupação do estado. 37
Figura 2.13 Número médio de mensagens no sistema *N* pela intensidade de tráfego *A*. 39
Figura 2.14 Tempo médio da mensagem no sistema *T* em função da intensidade de tráfego *A*. 40
Figura 2.15 Máquina de estado para fila M/M/m/m. 42
Figura 2.16 Probabilidade do sistema se encontrar no estado *i*. 43
Figura 2.17 Gráfico da relação entre a intensidade de tráfego oferecido e a probabilidade de bloqueio. 47
Figura 2.18 Diagrama de estados para filas M/M/1/K. 48
Figura 2.19 Diagrama de transição de estados para filas M/M/m/K 51
Figura 2.20 Representação esquemática da fila M/M/m. 55
Figura 2.21 Diagrama de transição de estados para filas M/M/m. 55
Figura 2.22 Gráfico da probabilidade de espera $p(>0)$ pela intensidade de tráfego. 60
Figura 2.23 Gráfico da probabilidade $p(>t)$ versus t/t_m. 61
Figura 3.1 Arquitetura global de um projeto de EAD 73
Figura 3.2 Estrutura do projeto. 74
Figura 3.3 Ilustração do sistema operando com um servidor. 75
Figura 3.4 Ilustração do sistema operando com servidores independentes. 76
Figura 3.5 Componentes do Matlab Web Server. 77
Figura 4.1 Página HTML com os *links* de acesso ao programa calculador de tráfego telefônico. 86
Figura 4.2 Página Web inicial para aquisição de dados nos sistemas de perda. 87
Figura 4.3 Página final para o sistema de perdas. 89
Figura 4.4 Página de entrada para cálculo da probabilidade bloqueio. 90
Figura 4.5 Página de retorno para o cálculo da probabilidade de bloqueio. 92
Figura 4.6 Página Web de aquisição de dados para sistemas de espera. 93
Figura 4.7 Página de retorno com os dados para $t > 0$. 95
Figura 4.8 Página de retorno para os sistemas de espera com $t = 0$. 97

RELAÇÃO DE LISTAGENS

Listagem 3.1 Passos de programação necessários para criação da página HTML de entrada 81
Listagem 3.2 Passos para implementação das funções Matlab *M-file*. 83
Listagem 3.3 Passos necessários para criação da página HTML de retorno de dados 84

RELAÇÃO DE SÍMBOLOS

A	Intensidade de tráfego.
A_c	Tráfego efetivamente conduzido.
B	Probabilidade de perda ou bloqueio.
$E[N]$	Esperança matemática da variável ateatória N.
i	Número de chamadas em progresso.
M	Número total de fontes.
$(M - i)$	Número de fontes livres.
N	Média do número de mensagens ou chamadas no sistema.
$N(t)$	Número de mensagens ou chamadas no sistema no instante t.
N_q	Média do número de mensagens ou chamadas na fila.
$N_q(t)$	Número de mensagens ou chamadas na fila no instante t.
N_s	Média do número de mensagens ou chamadas sendo processadas ou atendidas.
$N_s(t)$	Número de mensagens ou chamadas sendo processadas ou atendidas no instante t.
$p(>0)$	Probabilidade de espera; porcentagem das chamadas oferecidas, que não são processadas imediatamente.
$p(>t)$	Probabilidade de excesso de demora; porcentagem de chamadas oferecidas que precisam aguardar mais do que o tempo t pelo início do atendimento.
P_e	Probabilidade de que todos os servidores estejam ocupados.
p_n	Probabilidade, no estado de equilíbrio, de que existam exatamente n usuários no sistema.
$P_n(t)$	Probabilidade de que haja n mensagens no sistema no instante t.
$P_n(\lambda t)$	Probabilidade de exatamente n chamadas ou pacotes chegarem num intervalo de tempo t.
q	Tempo de espera na fila.
s	Tempo de serviço.
$S(t)$	Distribuição do tempo de serviço.
T	Tempo médio que uma mensagem ou chamada gasta no sistema.
t_m	Tempo médio das chamadas.
T_q	Tempo médio que uma mensagem ou chamada gasta na fila.
T_s	Tempo médio que uma mensagem ou chamada gasta sendo atendida.
w	Tempo total de atendimento para pacotes ou chamadas num sistema de filas.
α	Tráfego por fonte livre.
λ	Taxa média de chegada de chamadas ou pacotes.
λ'	Taxa média de chegada de chamadas por fonte livre.
μ	Taxa média de atendimento das chamadas ou pacotes.
τ	Tempo entre chegadas de chamadas.

Capítulo 1
INTRODUÇÃO AO ENSINO A DISTÂNCIA

Nos últimos anos tem havido um crescente interesse em modalidades educacionais realizadas através das redes de comunicações. O uso da Internet tem sido adotado, em vários aspectos, como auxílio na educação e como ferramenta de apoio ao ensino e ao aprendizado. A implementação de cursos via Internet não é tarefa fácil de se executar, trata-se de um novo paradigma pedagógico que deve ser pesquisado em profundidade.

Os avanços tecnológicos nas áreas de redes, armazenamento de dados, tecnologia de informação, etc., tem auxiliado o aprimoramento da educação em ambientes educacionais, onde o computador tem potencial para ser uma ferramenta altamente eficaz. Nenhuma outra inovação recente na educação tem sido tão debatida quanto o uso de computadores em sala de aula [10]. O computador quando utilizado com racionalidade, pode ser uma ferramenta valiosa no processo educacional, estimulando o interesse do aluno nas resoluções de problemas, realizando simulações, cálculos, etc. Por outro lado, caso utilizado sem muitos critérios pode produzir efeitos indesejáveis, tais como desorientação, desinformação, etc. São apresentadas a seguir algumas das tecnologias que envolvem este novo paradigma pedagógico.

Esta apresentação a respeito do ensino a distância (EAD) tem por objetivo fazer um resumo introdutório do tema, uma vez que este trabalho tem como meta fornecer subsídios para um curso de engenharia de tráfego e sistemas de simulações a distância acessado através da Internet. Também serve como embasamento teórico dentro de um universo de idéias e conceitos novos que estão surgindo a respeito deste novo paradigma pedagógico.

1.1 Hipermídia

Uma das tecnologias que veio para incrementar e facilitar a interface entre o usuário e as informações disponíveis nos computadores é a dos sistemas hipertexto ou hipermídia. A definição tradicional do termo “hipertexto” implica que ele é um sistema para lidar com texto puro. Como muitos sistemas atuais também incluem, de fato, a possibilidade para trabalhar com gráficos e várias

outras mídias, também é utilizado o termo "hipermídia" para destacar os aspectos multimídia do sistema. Estes sistemas têm surgido como uma nova classe para o gerenciamento de informações, pois permitem criar, anotar, unir e compartilhar informações a partir de uma variedade de meios, tais como texto, gráfico, som, vídeo e animação, proporcionando acesso às informações de uma forma não seqüencial e utilizando métodos novos de apresentação de conteúdos, ao contrário dos sistemas de informação tradicional que são seqüenciais por natureza [10]. É principalmente através desta concepção que a Internet se popularizou, tornando-se uma imensa rede de dados e informações, que pode ser usada amplamente como meio educacional, tanto para aplicações no ensino a distância quanto para ser utilizada como ferramenta de apoio ao ensino tradicional. A eficiência do resultado depende de uma série de fatores que devem ser considerados, tais como: modelo de software utilizado, objetivo a ser alcançado e desenvolvimento cognitivo dos aprendizes.

O ponto fundamental da tecnologia hipermídia é a presença de *hyperlinks* onde o usuário pode "navegar" através do conteúdo de maneira não contínua, acessando assim o assunto de interesse de uma maneira rápida, bastando para isso clicar o *mouse*.

Conforme afirma Pierre Levy [33], "Torna-se necessária a adaptação dos dispositivos e do espírito do aprendizado aberto e a distância (AAD) no cotidiano e no ordinário da educação. É verdade que o AAD explora certas técnicas do ensino a distância, inclusive a hipermídia, as redes interativas de comunicação e todas as tecnologias intelectuais da *cybercultura*. O essencial, porém, reside num novo estilo de pedagogia que favoreça, ao mesmo tempo, os aprendizados personalizados e o aprendizado cooperativo em rede".

Muitas das aplicações de hipertexto têm de fato uma intenção educacional. Isto vale, por exemplo, para os manuais que ensinam como consertar aparelhos e as versões hipertextuais de jornais, dicionários, etc. Existem muitos sistemas de hipertexto produzidos especificamente para uso educacional. Hipertexto é bem adequado para aplicações abertas de aprendizagem em que o estudante pode ter a liberdade de ação e é encorajado a tomar a iniciativa. Uma aplicação pode possibilitar ao estudante navegar, por exemplo, por um grande conjunto de informações sobre biologia e ver aquelas partes que lhe interessam ou que fazem sentido no contexto de uma tarefa corrente.

1.1.1 Motivações para a utilização da hipermídia em sistemas de apoio ao aprendizado

Os computadores, atualmente, assumem o papel de ferramenta auxiliar no processo de ensino, como ponte de comunicação para fins educacionais [44]. Hoje já é uma realidade, pelo menos na maioria dos casos, a presença da Internet em instituições de ensino e sua utilização como ferramenta de pesquisa [8]. A publicação de material na Internet acrescenta diversos fatores positivos:

- não se espera mais pela impressão de novas versões, sendo imediato o acesso a informações atualizadas e recursos prontos para utilização;
- a interface gráfica amigável, aproxima da Internet as pessoas que antes não se sentiam à vontade com os diversos protocolos de acesso;
- em comparação com outros serviços de pesquisa bibliográfica, o ambiente é muito mais ágil, oferecendo muitas informações que não são encontradas em mídias convencionais.

Porém a falta de estruturação dos dados na rede faz com que seja particularmente complicado conseguir distinguir a informação relevante da irrelevante [9]. A grande promessa de melhoria de acesso aos dados na Internet vem com a padronização e o emprego de linguagens de marcação, tais como o XML (*Extensible Markup Language*), onde os dados passarão a ser estruturados e aí sim poderemos utilizar a Internet como uma imensa biblioteca e não como um depositório de informações em grande parte inacessíveis.

As tecnologias disponíveis na Internet para o gerenciamento de informações tornam possível oferecer aprendizado de melhor qualidade devido a diversos fatores: pode-se oferecer mais riqueza de informação através do material *on-line*, mostrando os relacionamentos entre os assuntos apresentados e os recursos de multimídia. Desta forma, tornam-se de forma duradoura disponíveis as melhores explicações, apresentações e resoluções de problemas [51]. Também é possível oferecer caminhos alternativos, de acordo com estilos e ritmos de aprendizado dos estudantes, avaliando e oferecendo explicações simplificadas para os itens que mais provocam dúvidas. Os cursos *on-line* podem também ensinar a localizar informações em grandes sistemas, agindo como um filtro de informações na Internet [9].

1.1.2 Ambientes de aprendizagem hipermídia

O hipertexto como ferramenta educacional pode ser aproveitado como uma nova forma de organização das idéias cujas características mais relevantes para a aprendizagem são a interatividade e a não-sequencialidade das informações.

A característica de interatividade do hipertexto aparece como uma forma de maior motivação ao aprendiz e como possibilidade da adequação do conhecimento à necessidade particular do aprendiz. Essa característica importante do hipertexto torna o seu conteúdo moldável de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo autor. A informação presente em livros é estritamente estática e com formato único, seria necessária a publicação de versões distintas sobre o mesmo tema para adequação de conteúdo ao grau do aprendiz. Isso pode ser substituído pela adoção do hipertexto, pois este permite que a informação apresentada seja moldada ao aprendiz, atendendo ao requisito de adequação de nível para melhoria na aprendizagem.

Um problema freqüente com a utilização do hipertexto é o de perda de localização. A disponibilização de mapas de navegação tende a reduzir esse problema. Quanto aos problemas relacionados com as estratégias pedagógicas, tais como garantir a apresentação do material certo na hora certa, em alguns dos sistemas de EAD, esses problemas são contornados passando a responsabilidade sobre quase todas as decisões para o estudante [36]. Portanto, estes sistemas provocam um ambiente de aprendizagem exploratória ou de descoberta. A capacidade de acessar as informações rapidamente, pela seleção da direção a ser tomada, parece ser uma característica essencial tanto do hipertexto quanto dos ambientes de aprendizagem exploratória, permitindo aos estudantes seguirem uma linha de pensamento não seqüencial. Estes sistemas podem também estimular processos de integralização de conteúdo de uma maneira não encontrada na técnica de apresentação seqüencial. Por isso, muitos pesquisadores referem-se a estes sistemas como “sistemas de aprendizagem” ao invés de “sistemas de ensino” [10].

Em um processo de aprendizagem eficaz, a estruturação de hipermídia baseia-se nas estruturas da aprendizagem ou nos modelos cognitivos do aprendiz [15]. Logicamente, o sucesso da aprendizagem depende também do interesse, motivação, aptidão e capacidade do aprendiz em tomar as decisões sobre a seqüência das lições e a ênfase atribuída à cada tópico.

A hipermídia é uma ferramenta relativamente nova, que tem um potencial a ser explorado, principalmente na área educacional. Porém, para se obter os resultados esperados junto aos usuários,

não basta a transposição simples do material didático de aulas presenciais para o formato eletrônico. Deve-se ter uma série de cuidados, tais como: um bom projeto; interface amigável; estudo do perfil cognitivo do aprendiz e principalmente adequação da ferramenta ao que se tem como objetivo.

1.2 Interatividade

A importância da interação no ensino a distância tem sua justificativa firmada na suposição de que sem a interação, o ato de ensinar torna-se simplesmente passar o conteúdo didático ao aluno como se fosse uma verdade dogmática.

O conceito "interatividade" é de importância fundamental para o estudo da comunicação mediada por computador, da educação a distância, da engenharia de software e de todas as áreas que lidam com a interação homem/homem e homem/máquina via computador.

A interatividade é inerente aos novos tipos de mídia e objetiva concretizar o processo de interação. Nesse sentido percebe-se que a Internet, enquanto espaço ou campo enunciativo, pode propiciar a interação e a interatividade. O processo educacional presencial ou mediado pelo computador deve ter dimensões pluridirecionadas, dinâmicas, onde todos possam interagir. Nesse contexto, as redes de comunicação, criam novos espaços que podem implementar uma nova forma de interação social, já que fazem emergir a possibilidade da troca imediata e o inter-relacionamento entre usuários geograficamente dispersos. O receptor torna-se também um produtor das mensagens veiculadas, o que faz com que a relação deixe de ser do emissor com o receptor ou do produtor com o consumidor e passe a ser de interlocutores.

As ações de guiar, motivar e promover interação entre os estudantes são fatores decisivos para o sucesso de programas a distância. Como qualquer esforço, o ensino/aprendizado *on-line* pode ser bem-feito ou malfeito. Um dos elementos mais importante para o sucesso da educação *on-line* é a interação entre os participantes. É papel do instrutor como facilitador assegurar que um alto nível de interação ocorra em um curso *on-line*.

Diante da diversidade de informações que a Internet nos oferece, é preciso atenção para valorizar as diferenças cognitivas de cada aprendiz, estimular idéias, opiniões e atitudes, desenvolver a capacidade de aprender a aprender e de aprender a pensar, assim como levar o aluno a obter o controle consciente do aprendido, retê-lo e saber aplicá-lo noutro contexto. A orientação e a diretividade são fundamentais para que o material instrucional realize o objetivo que deve caracterizá-lo.

Kearsley [22] cita em suas pesquisas que a interação entre os participantes de um curso a distância pode ser obtido de várias maneiras. A técnica mais simples é pedir que os alunos façam tarefas regulares (por exemplo, semanalmente) as quais consistiriam de respostas a questões e problemas propostos pelo instrutor. Se estas respostas estiverem disponíveis publicamente de maneira que toda a classe possa acessá-las, isto irá prover bases para o compartilhamento de idéias e discussão entre os participantes. E o compartilhamento de idéias é um dos aspectos mais poderosos do EAD.

1.2.1 Níveis de interatividade

É possível dividirmos a interatividade presente em cursos de EAD através da Internet, em níveis, para uma melhor compreensão do seu conteúdo [19], conforme ilustrado na Figura 1.1.

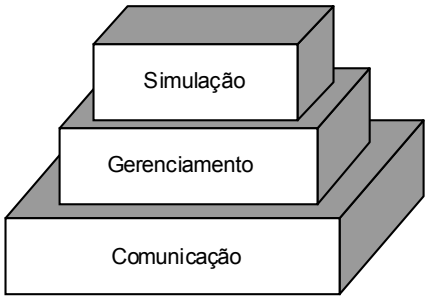

Figura 1.1 Níveis de interatividade.

O primeiro nível e o mais básico de todos é o da interatividade através da comunicação. Neste nível situam-se os grupos de *e-mail* e grupos de discussão (i. e. *news* e *e-groups*). Estas ferramentas de comunicação estão bem difundidas e são comumente encontradas na grande maioria dos sistemas de correio eletrônico. Um pequeno esforço com um mínimo de conhecimento tecnológico são necessários neste nível, enquanto um alto retorno de informações pode ser provido.

No segundo nível, pode-se situar os sistemas de gerenciamento de cursos a distância, os quais necessitam de um maior envolvimento do professor para preparação de material didático e instrutores tecnicamente treinados para operar o sistema. Algumas das ferramentas introduzidas neste nível incluem sala de discussão *on-line* (*chat rooms*), testes e provas *on-line* e *whiteboard*. Alguns softwares para gerenciamento de cursos a distância através da Internet, tais como WebCT [58], Aulanet [1], Learning Space [28], TelEduc [54], etc., provêem o suporte e as condições

necessárias para incorporarem estas ferramentas de uma maneira mais fácil à administração pelos tutores.

As simulações para cursos a distância, o terceiro nível, toma a forma de demonstrações *on-line*, pesquisas *on-line* e experimentos virtuais ou remotos. Demonstrações podem ser passivas ou interativas. Demonstrações passivas consistem de animações ou vídeos que o estudante simplesmente os assiste. As demonstrações interativas permitem ao estudante selecionar parâmetros e observar os resultados. Experimentos virtuais são demonstrações interativas elaboradas de tal maneira a estimular os sentidos físicos do aluno.

O projeto desenvolvido e descrito nesta dissertação pode ser situado no terceiro nível de interatividade. As páginas elaboradas em HTML com *hyperlinks* permitem a navegação pelos estudantes no conteúdo do curso, seguindo uma lógica previamente planejada e permitem o acesso às páginas de cálculos interativos *on-line*.

A Internet é uma ferramenta poderosa para o EAD, uma vez que proporciona um alto grau de interação aos usuários. Um novo paradigma educacional vem sendo desenvolvido, onde o estudante é o protagonista do processo de aprendizagem. O EAD através da Internet aparentemente privilegia este modelo educacional. Os desenvolvedores de programas e os autores geradores de conteúdo para o EAD devem ter em mente a importância dos cuidados a serem tomados quando da geração do material didático a ser disponibilizado. No caso da Internet, uma das maiores preocupações é privilegiar os mecanismos de interação e a criação de oportunidades para o aprendizado autônomo.

1.3 O ensino a distância

A expressão “ensino a distância” ou “educação a distância” tem sido usada por vários autores, professores, alunos, empreendedores, etc., como sistemas que combinam tecnologias convencionais e modernas e que possibilitam o estudo individual ou em grupo, nos locais de trabalho, nas escolas, nas residências, etc. Estes sistemas utilizam métodos de orientação e tutoria a distância e as vezes contam também com atividades presenciais específicas, como reunião do grupo para estudo e avaliação. Nos últimos tempos, associou-se ao termo o uso de redes eletrônicas, tal como a Internet, como meio de interação entre os alunos e os professores, mas isto não é necessariamente obrigatório. Pode-se fazer o ensino a distância por televisão, pelo rádio ou até mesmo pelo correio, como foi muito usual até a bem poucos anos atrás, onde eram comuns os cursos por correspondência. Então por que a tecnologia cibernética, especialmente através de redes

eletrônicas com altas capacidades de transferência de dados, vem sendo adotada como principal meio do ensino a distância? A resposta é simples: a interatividade. Em nenhum outro meio de comunicação homem-máquina-homem e a distância se tem o alto grau de interatividade entre os usuários por um custo relativamente baixo e uma acessibilidade relativamente alta, como a Internet pode oferecer. Desta maneira, a popularização da Internet vem disseminando também o ensino a distância, uma vez que a necessidade de um volume maior de conhecimento de qualidade e especializado é premente na nossa vida moderna e, por outro lado, dispomos cada vez menos tempo para a aquisição destes conhecimentos.

Podemos conceituar melhor o EAD como um ponto intermediário de uma linha contínua em cujos extremos se situam, de um lado, a relação presencial professor-aluno, e de outro, a educação autodidata, aberta, em que o aluno não precisa da ajuda do professor. No EAD, por não haver contato direto entre educador e educando, requer-se que os conteúdos sejam tratados de um modo especial, ou seja, tenham uma estrutura ou organização apropriada ao aprendizado à distância.

1.3.1 Justificativa do EAD

A sociedade globalizada do início deste século experimenta inovações tecnológicas que se apresentam com muita rapidez, gerando expressiva demanda por uma educação continuada por parte dos profissionais de todas as áreas de atuação. Atentos a estas mudanças, eles procuram atualizar seus conhecimentos para melhorar a qualidade e a competitividade dos serviços que prestam a seus clientes [42].

O rápido desenvolvimento e a popularização da Internet, o aperfeiçoamento dos sistemas gerenciadores de bancos de dados, o aumento da capacidade de processamento e armazenamento de informações em meio eletrônico e a melhoria substancial no acesso remoto, impulsionaram o surgimento deste novo paradigma educacional que é o EAD, devido ao aumento da demanda na gama de conhecimentos a serem absorvidos pelos profissionais de todos os setores de atuação.

Entretanto, a despeito da crescente demanda por reciclagem profissional, as organizações tem experimentado cortes sucessivos em seus orçamentos destinados a este fim, em sua maioria decorrentes da acirrada busca pela redução de despesas para manutenção da competitividade imposta pela globalização das sociedades [42]. Associada a este quadro tem-se a situação da economia, não só a nível nacional, mas global, onde faltam verbas para a promoção de treinamentos, e na maioria das instituições ocorrem até a redução do quadro de pessoal. Além do mais, as

dimensões continentais do Brasil tendem a excluir os estudantes e profissionais afastados dos grandes centros que oferecem oportunidades de treinamento, quer seja pela indisponibilidade de tempo, impossibilidade de deslocamento ou escassez de recursos financeiros.

A prática do ensino a distância como forma de educação continuada por parte de várias instituições de outros países tem se mostrado muito eficaz na solução dos problemas acima expostos. Várias iniciativas podem ser observadas principalmente em países de grande extensão territorial, cujo sistema de ensino necessita atingir milhares de pessoas afastadas geograficamente dos grandes centros de disseminação de informação. Várias universidades nos Estados Unidos da América e na Europa de um modo geral têm oferecido programas a distância de pós-graduação e graduação, assim como cursos técnicos e profissionalizantes. Seria esta solução possível num país como o nosso?

No Brasil ainda é incipiente a implementação do EAD, embora já possam ser notadas iniciativas encorajadoras por parte de instituições privadas e públicas no sentido de se começar a desbravar este novo filão pedagógico dos cursos a distância.

O rápido desenvolvimento das redes de computadores, em especial da Internet, descortinou uma ampla gama de recursos tecnológicos possíveis de serem utilizados para o treinamento e capacitação de recursos humanos a distância. O EAD nas concepções modernas utiliza estes recursos para atingir níveis de interação entre professor e aluno e entre aluno e aluno comparáveis aos obtidos no ensino presencial. A Internet também se apresenta como uma solução de baixo custo e de longo alcance para a implementação destes programas.

Além disso, por razões como facilidade de acesso e comunicação, a educação a distância através da Internet tem como uma de suas principais vantagens, em relação às outras formas de educação a distância, a aprendizagem cooperativa[1], onde o processo de aprendizado é realizado através de esforços colaborativos[2] de grupos de alunos que, trabalhando juntos em uma dada tarefa, alcançam um objetivo comum [56].

O aprendizado cooperativo a distância engloba, principalmente, o compartilhamento de metas (interação em grupos) e a colaboração entre pessoas de diferentes níveis de aprendizado, tendo o professor como um facilitador, guiando e orientando o processo educacional. A intenção

[1] Cooperação: é a realizada pela divisão do trabalho entre os participantes, sendo que cada pessoa é responsável por uma parte do problema a ser resolvido [55].
[2] Colaboração: é uma atividade síncrona, resultante de um esforço contínuo para criar e manter uma concepção compartilhada do problema [55].

educacional explícita para construção de novos conhecimentos é possibilitada pelas diferentes mídias, hipertextos, bibliotecas virtuais e pelas ferramentas fornecidas pela Internet [2].

Justifiniani pondera em seu trabalho de pesquisa referindo-se aos países da América Latina e do Caribe [21] "a necessidade de diminuir a distância que nos separa do desenvolvimento tecnológico é um desafio para nossos povos, para os quais a educação tem um papel preponderante. A estratégia de utilização da educação a distância adquire relevância especial em nosso contexto econômico e social, e digo isto pois todos vocês sabem que a educação a distância é uma forma factível de aprendizagem, que permite às pessoas ultrapassarem as barreiras geográficas e temporais através do estudo independente, o que a faz uma via segura e eficiente para cobrir as necessidades de um grande número de estudantes de forma rápida e econômica".

1.3.2 Cuidados na implementação de cursos a distância

O autor gerador de cursos a distância deve se preocupar com a qualidade pedagógica do material instrucional a ser desenvolvido, seja para cursos *on-line* ou não, lembrando sempre que o material impresso muitas vezes não é adequado ao ambiente *on-line* por não aproveitar os melhores recursos que este ambiente oferece [29]. Na maioria das primeiras incursões para se criar conteúdos para o EAD o que se faz é uma tentativa de adaptar atividades pedagógicas bem sucedidas em uma dada metodologia de ensino, transportando-a para uma nova situação. Tem-se notado através de diversos relatos de pesquisadores desta modalidade de ensino, que a taxa de insucesso para estas primeiras implementações é grande, pois a mera adaptação metodológica normalmente não satisfaz. Torna-se necessária a busca de novos paradigmas, novas formas de fazer educação, desprendidas dos velhos modelos que em algum momento já funcionaram a contento, mas que agora estão obsoletos, e não apenas a adaptação. Daí vem muitas vezes, o insucesso de se tentar transformar bem sucedidos professores presenciais em professores *on-line*; bons livros-texto em material impresso de EAD; bons filmes educativos para uso em sala de aula em material de EAD e bons alunos presenciais em alunos de EAD [29].

1.4 Sumário

É importante ter-se em conta que a educação aberta e a distância não é uma panacéia milagrosa e nem pretende substituir a educação presencial (tradicional). Nenhuma instituição deve tomar a decisão de criar um sistema de educação a distância, sem antes ter completado um exame

sistemático a cerca de sua plena justificação, das necessidades educativas chaves e das possibilidades dos sistemas existentes. Por outro lado, não existe um modelo único e rígido de educação a distância, pelo contrário, a riqueza de modelos e combinações possíveis exigem que se escrevam de forma criativa metodologias e esquemas mais apropriados à cada situação particular.

Faz-se neste capítulo uma introdução ao ensino a distância com uma descrição dos sistemas hipermídia de apoio ao aprendizado. Descreve-se a interatividade na Internet com sua divisão em níveis, fazendo-se sua apologia no ensino a distância. Enumera-se algumas das mais importantes justificativas do EAD assim como alguns cuidados que se deve ter na implementação de cursos a distância.

No próximo capítulo tem-se uma introdução à Rede de Telefonia Pública Comutada a à Rede Digital de Serviços Integrados. Apresenta-se uma introdução à engenharia de tráfego, a distribuição de probabilidade de Poisson e uma introdução à teoria de filas. Tem-se então as demonstrações da fórmulas B e C de Erlang e suas aplicações na engenharia de tráfego.

Capítulo 2
INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE TRÁFEGO

2.1 Introdução

A engenharia de tráfego tem como objetivo a determinação da quantidade de recursos nos sistemas de comunicações, atendendo a quesitos de qualidade de serviço. Esses recursos podem ser, por exemplo, o número de troncos ou canais em uma rota de transmissão, o número de detectores multifreqüenciais em uma central telefônica, etc. Neste capítulo é feito um resumo introdutório a respeito da engenharia de tráfego, bem como, uma introdução à teoria das filas, que normalmente é utilizada para a modelagem matemática pertinente. Porém, antes de se abordar a engenharia de tráfego, é feita uma breve introdução à Rede de Telefonia Pública Comutada, com o objetivo de apresentar alguns conceitos básicos e os termos técnicos que serão empregados ao longo do capítulo.

Ressalva-se que o estudo da engenharia de tráfego poderia ser abordado matematicamente de forma puramente abstrata, porém esta não foi a escolha aqui tomada.

2.2 Rede de Telefonia Pública Comutada

As redes de telefonia foram desenvolvidas utilizando o conceito de comutação de circuitos, onde uma conexão é estabelecida temporariamente, enquanto duas pessoas realizam a comunicação. Após o término da conversação a conexão é interrompida. As redes comutadas levam em consideração que nem todos os assinantes utilizam os circuitos ao mesmo tempo.

A linha telefônica é uma forma de acesso disponível entre o assinante e a rede. A linha é dedicada a apenas um assinante de tal forma que quando o mesmo desejar fazer uma chamada, sua linha estará sempre disponível. Sobre este circuito, as transmissões devem fazer uso do mesmo caminho em ambas as direções. Uma ilustração simplificada da PSTN pode ser vista na Figura 2.1.

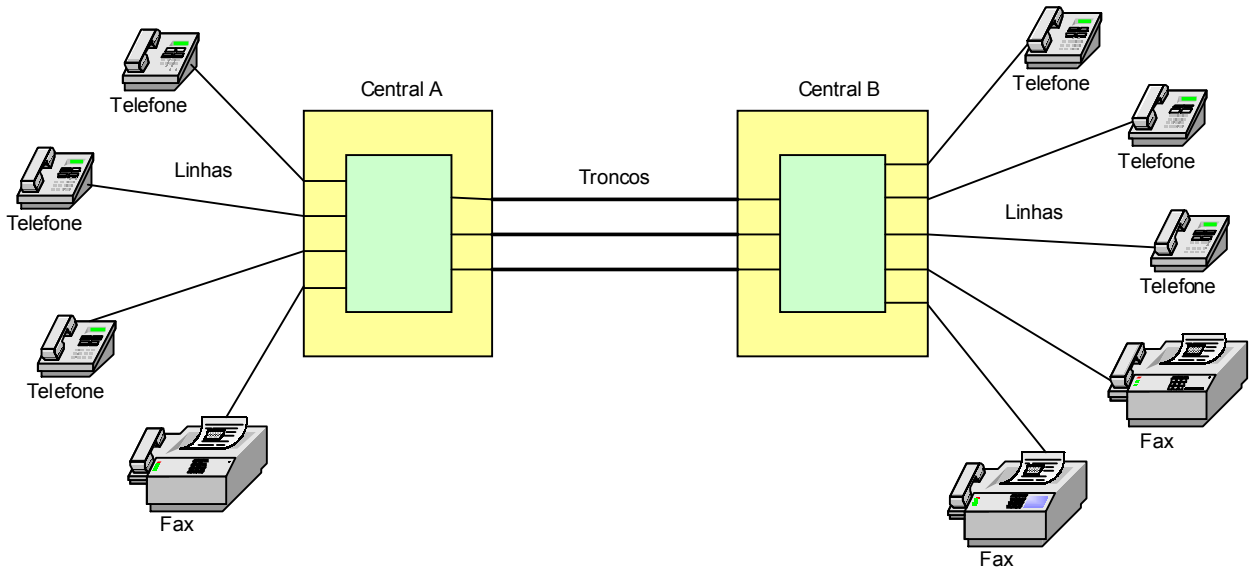

Figura 2.1 Representação simplificada entre duas centrais na PSTN.

A central telefônica é o elemento da rede responsável por executar o estabelecimento temporário da conexão entre os usuários. Responsável, entre diversas outras funções, do fornecimento inicial do sinal de discagem quando o usuário retira o telefone do gancho, da notificação do assinante chamado através do sinal de campainha, etc.

O comutador (*switch*) é o componente responsável pela conexão entre linhas ou entre uma linha e um tronco. É o comutador que determina o caminho pelo qual o sinal irá passar para chegar ao seu destino.

Os troncos permitem as ligações entre as centrais telefônicas. São circuitos de alta capacidade podendo utilizar fios, enlaces de microondas ou fibras ópticas. Estes enlaces podem ter centenas ou milhares de quilômetros e são compartilhados pelos assinantes. Nos dias atuais, a fibra óptica tem se tornado o meio de transmissão preferencial para uso nos troncos entre as centrais.

O enlace local é a conexão que liga o telefone à central local e atualmente é principalmente formado por cabos de par trançado. Enquanto as ligações de longa distância entre centrais são atualmente quase todas digitais, os laços locais ainda são analógicos e tendem a permanecer assim pela próxima década devido ao alto custo de conversão do sistema.

Conseqüentemente, quando um computador do assinante necessita enviar informação digital através da linha telefônica, os dados devem ser convertidos para a forma analógica por um modem para a transmissão pelo enlace local e então este sinal analógico é convertido para forma digital para transmissão pelos troncos entre as centrais, e então de volta a forma analógica para a transmissão

pelo enlace local de destino e finalmente o modem remoto converte para a forma digital para o armazenamento no computador de destino. Este esquema está representado na Figura 2.2.

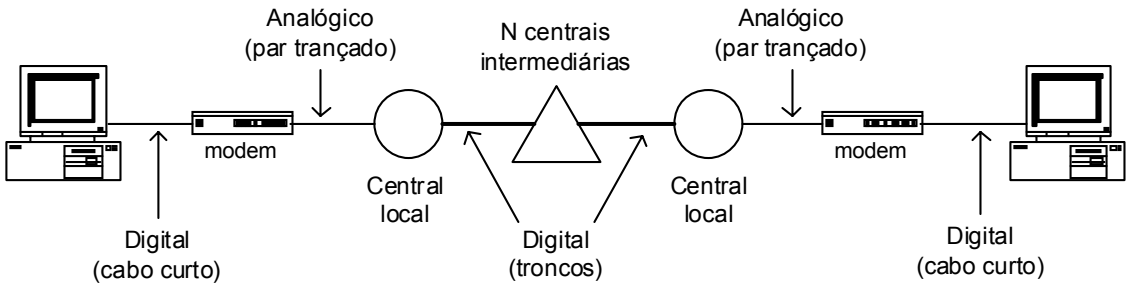

Figura 2.2 Representação esquemática na transmissão de dados.

2.2.1 Sistemas de transmissão

A transmissão de um sinal pode ser feita de duas formas: transmissão digital e transmissão analógica. A transmissão serve para permitir que um sinal, tal como a voz humana, possa se fazer sentir a distância da fonte que o originou. Os sinais se apresentam basicamente em dois formatos, o formato analógico, geralmente associado a sinais naturais; e o formato digital, atualmente ligado aos sinais gerados pelos homens ou adaptados por esses para o processamento digital. Assim, existem quatro situações que podem acontecer na transmissão de sinais: transmissão analógica de sinais analógicos, transmissão analógica de sinais digitais, transmissão digital de sinais analógicos e transmissão digital de sinais digitais.

Nos sistemas atuais de comunicação, a forma mais comum de representação da informação é a forma digital. Em geral, mesmo os sinais que são analógicos em sua essência são digitalizados para permitir sua transmissão e seu processamento pelos sistemas de comunicações. Pode-se dizer que a tendência dos sistemas modernos é representar todos os sinais na forma digital. Exemplos de informação na forma digital são os dados gerados por computador e a voz humana digitalizada num sistema PCM.

2.2.2 Multiplexação

A multiplexação de sinais consiste em acomodar vários sinais através de um mesmo meio de transmissão, como por exemplo numa fibra óptica operando em um sistema WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), multiplexação por divisão de comprimento de onda. A grande vantagem da multiplexação é a redução de custos já que em um mesmo meio podem-se transmitir vários sinais.

A técnica de multiplexação por divisão no tempo, TDM (*Time Division Multiplexing*) utiliza toda a banda passante de um canal para a transmissão de diversos sinais juntos. Neste caso, cada sinal ocupa o canal inteiro mas por uma pequena fração de tempo. A técnica de multiplexação FDM (*Frequency Division Multiplexing*) é uma multiplexação por divisão de freqüência. A idéia básica é tomar a largura de banda do espectro de freqüências da banda passante do meio de transmissão e dividir em faixas adjacentes, sendo que em cada uma dessas faixas é enviado um sinal representando um canal de comunicação. Além destas, em telefonia móvel, uma técnica de multiplexação bastante usada é o acesso múltiplo por divisão de código CDMA (*Code Division Multiple Access*), que é uma tecnologia de acesso baseada nas técnicas de espalhamento espectral (*spread spectrum*) na qual os sinais de múltiplos usuários são espalhados em uma mesma faixa de freqüências e identificados a partir de códigos únicos atribuídos a cada conexão.

2.2.3 Sistemas de comutação

Quando é feita uma ligação telefônica, o equipamento de comutação procura um caminho físico entre o emissor e o receptor da ligação (seja esse caminho de fibra óptica, ondas de rádio ou par trançado). Essa técnica representa a comutação por circuito. Quando uma chamada passa por uma central telefônica, uma conexão física é estabelecida entre terminais de assinantes, entre juntores ou ambos. Nos primórdios da telefonia, essa comutação era feita manualmente por um operador que simplesmente conectava um cabo entre as linhas de assinantes, após ter sido informado pelo originador da chamada com quem este desejava falar.

Algumas características da comutação por circuito são:

- quando a ligação é recebida, há um caminho físico dedicado entre assinante de origem e destino, que continuará a existir até o fim da ligação;
- antes que qualquer dado seja enviado, é necessário que o caminho entre origem e destino seja estabelecido. Esse tempo de "procura" por um caminho físico pode facilmente chegar a ordem de segundos;
- após estabelecida a ligação não há perigo de congestionamento, pois o caminho se torna dedicado à transmissão da ligação.

Outro tipo de comutação usada extensivamente nas redes de dados, tal como a Internet, é denominada de comutação por pacotes. Ela foi desenvolvida como um aperfeiçoamento da comutação por mensagens. Quando a comutação por mensagem é usada, não é criada uma conexão

física entre origem e destino. Quando a fonte deseja mandar um bloco de dados, este é armazenado na primeira central, e enviado para a segunda central quando for possível. Para cada bloco recebido, verifica-se se este possui erros, e no caso da não existência, o pacote de dados é retransmitido. Esse sistema é análogo ao usado nos telégrafos. Um operador envia a mensagem a outro operador, que a decodifica (armazenando-a em papel) e depois a retransmite para o próximo operador, até que a mensagem chegue ao seu destino.

Na comutação por mensagens, não há limite no tamanho do bloco de dados, o que torna necessário a presença de mecanismos de armazenamento nas centrais. Também é possível que um único bloco muito grande monopolize um canal por muito tempo, tornando o mecanismo de comutação por mensagens inútil para dados interativos. Para solucionar esse problema, limita-se o tamanho dos blocos de dados em unidades menores, denominados pacotes.

As diferenças entre comutação por pacotes e comutação por circuito são muitas. Entre elas podemos destacar:

- a comutação por circuitos reserva o caminho necessário e o mantém ocupado por toda ligação, enquanto que na comutação por pacotes, o "caminho" é compartilhado com um grande número de usuários;
- como na comutação por circuitos os canais são dedicados, a sobrecarga da central pode ser facilmente controlada por um dimensionamento apropriado. Já na comutação por pacotes, uma sobrecarga pode ultrapassar a capacidade de transmissão do roteador, resultando em perda de pacotes;
- na comutação por pacotes, podem existir verificação e correção de erros para cada pacote. Pode também ocorrer que os pacotes sejam entregues em uma ordem incorreta ao destino, já que cada pacote pode seguir por um caminho diferente. Na comutação por circuito, tal problema não ocorre.

O termo comutação por pacote surgiu em analogia ao pacote de correio. No pacote de correio, são colocados os endereços do destinatário e do remetente que possibilitam aquela encomenda chegar ao seu destino corretamente. Muitas vezes o pacote passa por correios intermediários em diferentes cidades, até finalmente chegar ao destino.

Uma mensagem é segmentada, caso necessário, em vários pacotes. De uma maneira geral, o pacote possui um comprimento variável de bits e inicia e termina com padrões de bits conhecidos

(*flags*). No cabeçalho, são colocadas as informações dos endereços do destinatário e do remetente, além das informações de controle que possibilitam o seu encaminhamento dentro da rede. Como em rede de computadores, não são permitidos que hajam erros nos bits transmitidos, são enviados bits adicionais para detecção de erros no pacote recebido.

A comutação por pacotes é classificada em duas técnicas: a que utiliza um modo de transmissão orientada a conexão (circuito virtual) e a que utiliza um modo de transmissão não orientada a conexão.

A comutação por pacotes utilizando a técnica de circuito virtual é semelhante à comutação por circuito no que diz respeito à necessidade de estabelecer uma conexão entre a origem e o destino antes que os dados do usuário possam ser transmitidos. Para estabelecer um circuito virtual, a origem envia um pacote de pedido de estabelecimento de chamada que é transmitido entre os nós da rede até o destino final. Um pacote de aceitação de chamada é enviado de volta autorizando ou não o estabelecimento da conexão do circuito virtual. Portanto, nesta técnica, a rota é definida antes que a transmissão da informação tenha início. Esta técnica difere da comutação por circuito no que diz respeito a rota estabelecida entre origem e destino. Aqui, as rotas são formadas por conexões lógicas, o caminho estabelecido não é dedicado para uma conexão específica e os pacotes continuam a ser armazenados nos nós comutadores ao longo da rota.

Na comutação por pacotes comum não orientada a conexão não há a necessidade de se estabelecer uma rota para que o usuário inicie a transmissão de dados, portanto não há pacotes de solicitação e de aceitação de chamadas. Cada pacote proveniente da fragmentação de uma mensagem contêm, em seu cabeçalho, informação de endereçamento e de seqüenciação de modo a possibilitar, respectivamente, o seu roteamento ao longo da rede e a remontagem da mensagem no destino. Com esta técnica, muitos pacotes pertencentes à mesma mensagem podem ser transmitidos simultaneamente, o que reduz o retardo de transferência e melhora a eficiência. Cada nó comutador ao receber o pacote, examina o seu cabeçalho para realizar o seu roteamento, tomando decisões de rotas a seguir baseando-se na melhor rota disponível no momento.

2.3 Convergência entre redes de circuitos e redes de pacotes

A convergência entre as redes de circuitos e as redes de pacotes é a realidade de uma tendência que se mostra cada vez mais efetiva. As redes de circuitos foram desenvolvidas no final do século dezenove, são assim chamadas pois um caminho físico é criado quando uma conexão é

estabelecida, conforme visto nos itens anteriores. As centrais de comutação de circuitos foram concebidas para sinais de voz em tempo real não comprimidos. A conexão (ou caminho) é exclusiva e não é compartilhada com nenhum outro usuário. Embora cada circuito seja independente no tratamento da chamada, os circuitos usualmente agem sob comando e controle de um sistema de sinalização. As redes de circuitos possuem um alto grau de confiabilidade, porém são ineficientes para a transmissão de outros tipos de sinais em tempo real, tais como áudio ou vídeo.

As redes de pacotes foram concebidas com propósitos de defesa na América do Norte a partir de um projeto da agência ARPA (*Advanced Research Projects Agency*) com o objetivo de conectar os computadores dos seus departamentos de pesquisa. Essa conexão iniciou-se em 1969 e passou a ser conhecida como a ARPANET. Esse projeto inicial foi colocado à disposição de pesquisadores, o que resultou em uma intensa atividade de pesquisa durante a década de 70, cujo principal resultado foi a concepção do conjunto de protocolos que até hoje é a base da Intenet, conhecido como TCP/IP. Estas redes espalharam-se ao redor do mundo na Internet comercial. A Internet transporta dados em unidades discretas, conhecidas como pacotes, ou datagramas, que possuem um tamanho variável dentro de uma faixa mínima e máxima. Os pacotes são endereçados individualmente, permitindo que os roteadores de pacotes compartilhem os recursos físicos entre um grande número de usuários. Esta arquitetura é muito eficiente e apresenta baixo custo associado. Entretanto o desempenho pode tornar-se ruim, conforme os atrasos, *jitters* e perdas de pacotes tornarem-se relevantes. Vários protocolos de pacotes envolvem algum tipo de detecção e correção de erros, permitindo que pacotes corrompidos possam ser corrigidos ou descartados.

A convergência entre as redes de circuitos e de pacotes permite o emprego da infra-estrutura física de transmissão de forma mais eficiente. A capacidade de transporte de sinais em tempo real coloca outros requisitos sobre as redes de pacotes: controle mais preciso de atrasos, *jitters* e larguras de banda de canal, de forma a garantir a qualidade de serviço. Além da voz, outros sinais, tais como áudio e vídeo são candidatos a estas redes, impulsionados por novos serviços, tais como áudio difusão e videoconferência.

O cenário atual na área de telecomunicações evolui para unificação das redes de telefonia e de dados, para obter maior economia e flexibilidade. Servindo diversos terminais de assinantes por uma única rede, obtém-se uma utilização mais eficiente do meio de transmissão e, portanto uma rede mais econômica do que a soma das redes separadas.

2.4 Análise de tráfego

A qualidade de serviço nos sistemas de telecomunicações é dependente da intensidade de tráfego. Os sistemas estão projetados para receber uma certa quantidade de tráfego, e nenhum deles está preparado para receber uma grande quantidade sem limite de chamadas simultâneas. Eles trabalham com a probabilidade de que nem todos usuários (ou uma grande parcela) utilizarão seus serviços simultaneamente.

Os sistemas sensíveis ao tráfego são divididos em sistemas com bloqueio, sistemas de espera e sistemas mistos de espera e bloqueio, de acordo com sua reação ao aumento do fluxo de tráfego.

Nos sistemas com bloqueio, quando o tráfego é intenso (utilizando todos os recursos disponíveis), os serviços oferecidos ficam impedidos para outros usuários. A rede telefônica pública é um exemplo de sistema com bloqueio, pois cada chamada ocupa um circuito por um certo tempo e durante este período outra chamada não poderá utilizar o mesmo recurso.

Os sistemas de espera caracterizam-se por permitir algum atraso, ou seja, mesmo em condições elevadas de tráfego, o serviço oferecido ao usuário não é interrompido. Os sistemas de espera podem ser denominados de sistemas de fila. Como exemplo, citam-se as redes de pacotes e sistemas telefônicos. Todos estes conceitos serão revistos com detalhes mais adiante.

As centrais telefônicas são conectadas entre si por meio de troncos ou juntores. A engenharia de tráfego trata do problema de dimensionamento do número de circuitos (canais) necessários para conexão entre centrais, do dimensionamento interno das centrais (capacidade de comutação, número de órgãos, etc.), ou de forma mais geral, de todos os recursos necessários da rede de comunicações. Para efeito de apresentação da teoria de análise de tráfego pode-se restringir ao dimensionamento de apenas uma rota ou, eventualmente, ao dimensionamento de uma central.

2.4.1 Definições de horas de movimento

O volume de tráfego é definido como a soma dos tempos ocupados durante as conversações em um grupo de circuitos ou linhas de conexão. O volume de tráfego indica apenas a quantidade de ocupação, mas não a eficiência ou grau de utilização.

A distribuição das chamadas telefônicas varia conforme a hora do dia e os perfis dos usuários da área atendida (e.g., assinantes em um distrito residencial ou comercial, grandes centros urbanos ou zona rural). Para este tipo de análise são utilizados os conceitos:

- Hora de Maior Movimento (HMM), refere-se ao período de tempo durante no qual uma central telefônica acusa o escoamento do maior tráfego. Para se determinar a HMM, é recomendado pelo ITU-T (*International Telecommunications Union – Telecommunications Standardization Sector*) que se efetue medições de tráfego a cada quarto de hora no intervalo de tempo compreendido entre 9 horas e 12 horas durante dez dias consecutivos. Estes dias deverão ser normais ou seja, não poderão ser feriados ou conterem quaisquer acontecimentos anormais;
- Hora de Movimento de Pico (HMP). Como a HMM de cada dia não é a mesma na semana, no mês ou no ano, a HMP visa evidenciar este fato;
- Hora de Movimento Constante (HMC), refere-se à média do movimento em períodos de uma hora, começando no mesmo instante a cada dia, para o qual o volume de tráfego é maior, tomada como uma média de vários dias.

A Figura 2.3 ilustra esses conceitos através de um exemplo de volumes de tráfego fictícios de centrais telefônicas localizadas em centros urbanos, com os horários de pico de tráfego claramente identificáveis.

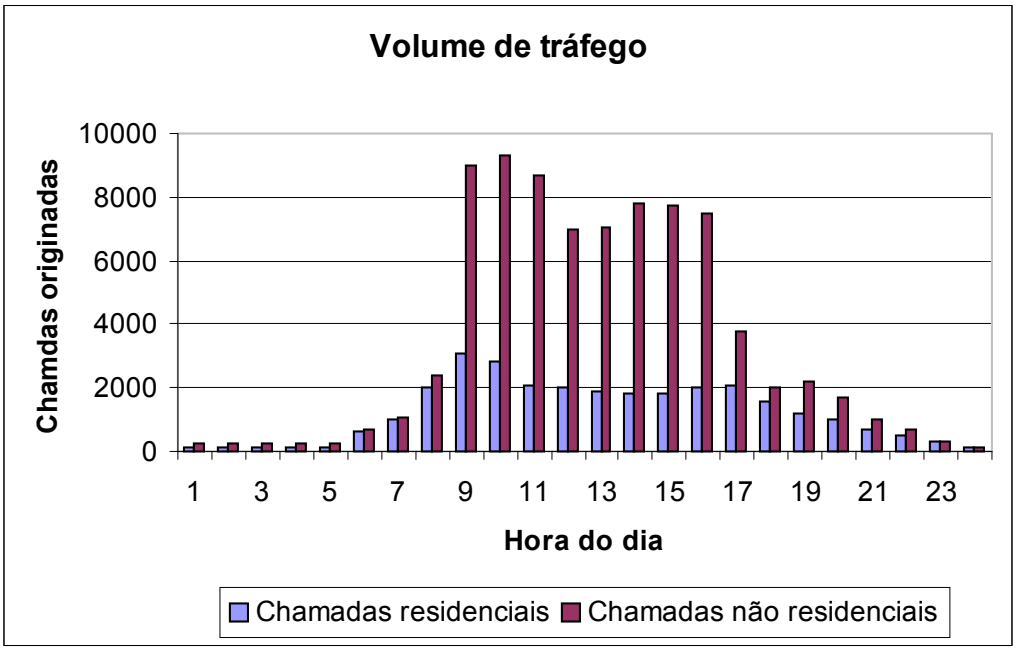

Figura 2.3 Gráfico de volume de tráfego ao longo de um dia.

2.4.2 Intensidade de tráfego (*A*)

O tráfego telefônico, ou intensidade de tráfego, ou ainda fluxo de tráfego é uma medida da densidade de tráfego.

Chamaremos de *circuito* (ou caminho de tráfego) um canal, um *time slot*, uma banda de freqüência, uma linha ou um juntor nos quais as chamadas individuais passam em seqüência.

A Figura 2.4 ilustra o conceito de volume de tráfego medido como a soma dos tempos de retenção dos circuitos efetuada durante um certo intervalo. Durante um intervalo pequeno de varredura de todos os circuitos (no caso igual a ¼ da unidade de tempo), verifica-se a atividade dos mesmos. A soma dos tempos de retenção dos canais fornece o volume de tráfego (curva discreta superior).

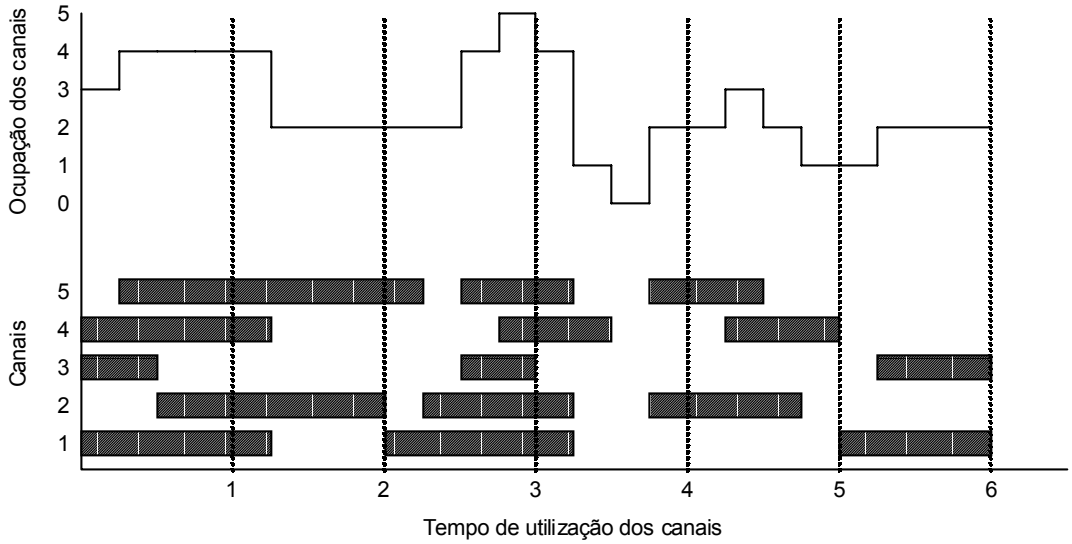

Figura 2.4 Volume de tráfego medido como a ocupação dos circuitos no tempo.

A intensidade de tráfego telefônico é definida pela razão do volume de tráfego pelo tempo total da medida. É, portanto, uma medida adimensional. A intensidade de tráfego representa a atividade média de ocupação dos canais durante um período de tempo:

$$\text{Intensidade de tráfego} = \frac{\text{volume de tráfego}}{\text{tempo de medida}} \ . \tag{2.1}$$

O tráfego telefônico (A) também admite a seguinte expressão:

$$A = \lambda t_m \tag{2.2}$$

onde λ é a taxa média de chamadas através de canais por unidade de tempo e t_m o tempo médio de chamadas.

A intensidade de tráfego é geralmente medida pela unidade *Erlang*. Seu valor numérico indica o número médio de chamadas efetuadas simultaneamente, isto é, o número médio de troncos (canais ou circuitos) ocupados ao mesmo tempo. Uma só linha ocupada continuamente corresponde, portanto, a um tráfego com o valor de 1 *Erlang.*

Por exemplo, se uma central telefônica tem um tronco de saída com 10 circuitos e possui intensidade de tráfego de 5 *Erlangs*, espera-se que metade dos circuitos esteja ocupada no instante da medida.

Uma outra unidade de medida de tráfego telefônico é o CCS (*Cent Call Seconds*) - o valor numérico indica a quantidade média de chamadas por hora, tomando-se por base um tempo médio de chamada de 100 segundos. Vale a relação entre essas unidades de medida:

$$1\ Erlang = 36\ \text{CCS} \tag{2.3}$$

Existem outras unidades de medida de tráfego, tais como: TU (*Traffic Unit*), HCS (*Hundred Call Seconds*) e UC (*Unit Call*) [4].

2.4.3 Grau de serviço

Em sistemas de perda ou bloqueio, o grau de serviço é caracterizado pela perda, isto é, a probabilidade de que uma ocupação oferecida seja rejeitada (perdida), razão pela qual é denominada de *probabilidade de perda ou bloqueio*. Seu valor numérico é uma estimativa da porcentagem das chamadas oferecidas que são rejeitadas.

Como exemplo ilustrativo, considere uma central local com 5.000 assinantes, dimensionada para que até 10% dos assinantes possam realizar chamadas simultaneamente. Cada chamada pode se processar entre quaisquer dois dentre os 5.000 assinantes. Suponha que este limite tenha sido atingido. Quando o assinante de número 501 tenta a conexão ele não consegue, recebendo um sinal de linha ocupada, pois todos os circuitos da matriz de comutação estão ocupados. Esta chamada é uma chamada perdida ou chamada bloqueada.

O grau de serviço pode ser expresso matematicamente como:

$$\text{grau de serviço} = \frac{\text{número de chamadas perdidas}}{\text{número de chamadas aplicadas}} \tag{2.4}$$

A probabilidade de perda ou bloqueio depende de diversos fatores, dentre os quais:

1. disponibilidade de circuitos em um tronco (disponibilidade plena ou restrita);
2. forma de tratamento das chamadas perdidas;
3. o número de assinantes - fonte de tráfego limitada ou muito grande (infinita);
4. distribuição das chamadas no tempo e distribuição de duração das chamadas.

2.4.4 Disponibilidade

Quando nem todos os canais de saída livres puderem ser acessados pelos canais de entrada, então o sistema de chaveamento é dito como tendo *disponibilidade limitada ou restrita*. A Figura 2.5 ilustra um exemplo de disponibilidade restrita.

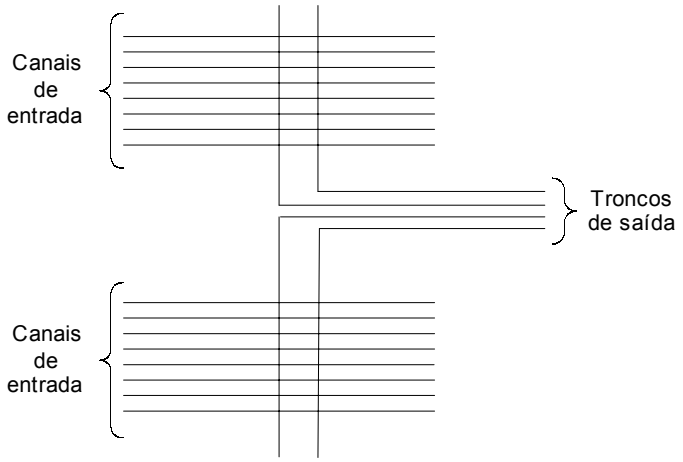

Figura 2.5 Exemplo de disponibilidade restrita.

É claro que sistemas com disponibilidade plena são mais desejáveis do que os de disponibilidade limitada, mas estes têm o custo mais elevado. Assim sendo, a disponibilidade plena de acessos é geralmente encontrada somente em sistemas de pequeno porte e em várias centrais digitais modernas. Na Figura 2.6 temos um exemplo de disponibilidade plena.

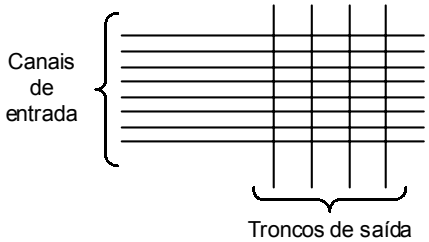

Figura 2.6 Exemplo de disponibilidade plena.

2.4.5 Tratamento de chamadas perdidas

Na teoria de tráfego telefônico convencional, três métodos são considerados para o manuseio ou tratamento de chamadas perdidas [4]:

1. Chamadas perdidas mantidas (CPM).
2. Chamadas perdidas eliminadas (CPE).
3. Chamadas perdidas atrasadas (CPA).

No modo CPM admite-se que o usuário fará imediatamente uma nova tentativa de chamada assim que receber o tom de ocupado. A principal fórmula de tráfego usada nos Estados Unidos da América é baseada neste método.

O modo CPE assume que o usuário, após receber um sinal de linha ocupada, irá desligar o telefone e esperar um certo tempo antes de fazer uma nova tentativa de chamada. A segunda tentativa é considerada uma nova chamada. A chamada perdida não é levada em consideração (desaparece) na modelagem de tráfego. A primeira fórmula de Erlang é baseada neste critério.

No modo CPA, a chamada do usuário é automaticamente colocada em uma fila (linha de espera). Este modo de análise é normalmente utilizado nas redes de computadores e nos sistemas de roteamento de pacotes, assim como em telefonia nas centrais telefônicas digitais.

2.4.6 Fonte de tráfego finitas e infinitas

Pode-se assumir que as fontes de tráfego telefônico são infinitas ou finitas. Para as fontes de tráfego infinitas, pode-se considerar que a probabilidade de chegada de uma chamada é constante e não depende do grau de ocupação do sistema [14].

Cita-se como exemplo de fontes infinitas o caso em que um grande número de usuários da rede de telefonia pública comutada (PSTN) faz chamadas terminadas em um PABX de "central de atendimento".

Para as fontes de tráfego finitas seria o caso contrário. Um exemplo de fontes finitas de tráfego é uma central local de pequeno porte isolada, conforme aumenta o grau de ocupação, diminui o número de usuários que poderiam gerar novas chamadas, portanto a probabilidade de gerar novas chamadas não é constante.

2.4.7 Fórmulas de tráfego

Em telefonia quando se dimensiona uma rota, deseja-se encontrar o número de circuitos que servem a rota. Existem várias formulações propostas para se determinar este número de circuitos baseado na hora de maior carga de tráfego [6]. Os fatores que balizam a escolha da expressão apropriada são:

1. distribuição das chegadas de chamadas e do tempo de retenção;
2. número de fontes de tráfego;
3. disponibilidade;
4. tratamento das chamadas perdidas.

A fórmula de Poisson, a fórmula B de Erlang e a fórmula C de Erlang, que serão estudadas e demonstradas nas seções subseqüentes, têm suas derivações baseadas na condição das fontes de tráfego infinita. São as fórmulas de maior importância nos cálculos da engenharia de tráfego telefônico. A fórmula Binomial, ou fórmula de Bernoulli, e a fórmula de Engset são baseadas na condição das fontes de tráfego finita. A Figura 2.7 apresenta um fluxograma para seleção da fórmula de tráfego a ser utilizada.

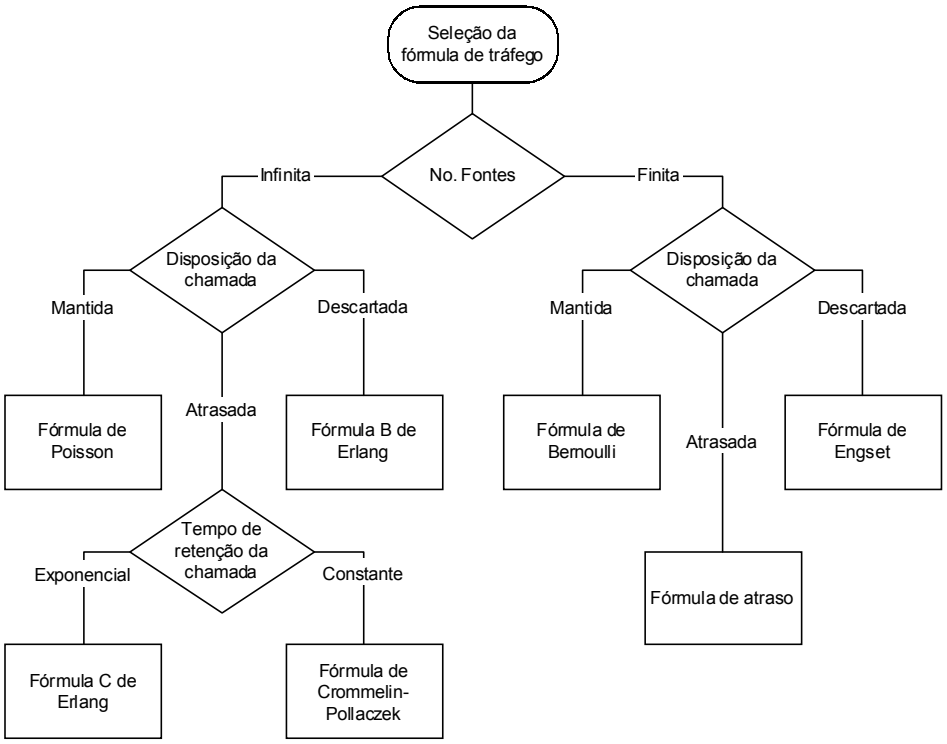

Figura 2.7 Árvore de decisão para seleção do tipo de fórmula de tráfego a ser utilizada.

A fórmula de Crommelin-Pollaczek e a fórmula de atraso não serão abordadas neste trabalho, uma vez que estão além da ementa normalmente empregada nos cursos de telefonia, a nível de graduação.

As técnicas de análise de tráfego são comumente dividas em duas categorias: a dos sistemas de perda e a dos sistemas de atraso. A abordagem adotada neste trabalho é de um tratamento conjunto no contexto da teoria de filas.

2.5 Introdução à teoria de filas

Uma fila é uma linha de espera. A teoria de filas estuda os fenômenos de linhas de espera. Os sistemas modelados consistem de um conjunto de recursos e uma população de usuários. O usuário que deseja acessar um recurso: ele chega, coloca-se em fila e aguarda o seu atendimento; em seguida ele parte, após o atendimento liberando o recurso. Vários exemplos enquadram-se neste modelo: caixas de supermercados, filas de banco, filas de sistemas públicos de atendimento, etc. Na área de telecomunicações, podem-se citar vários exemplos: sistemas de chaveamento de mensagens, roteamento de pacotes, multiplex estatístico, distribuição automática de chamadas, detectores de dígitos, equipamento de sinalização, processamento de chamadas, etc.

Dentro de uma rede de pacotes, os dados que trafegam entre os roteadores alinham-se em *buffers* aguardando o roteamento. As filas são usualmente descritas em termos dos tipos de recursos; quantidade dos recursos, forma de tratamento da fila e probabilidade de distribuição do tempo de serviços de pacotes nas filas. O propósito da teoria de filas é a análise da espera dos recursos e a análise do efeito das filas no fluxo de pacotes no sistema.

2.5.1 Modelos de fila

A Figura 2.8 ilustra um modelo simples de filas. Este modelo representa uma fila com um único servidor. A figura ilustra um *buffer* onde os pacotes são armazenados, esperando o seu tratamento por um servidor único. As fontes de mensagens podem ser finitas ou infinitas.

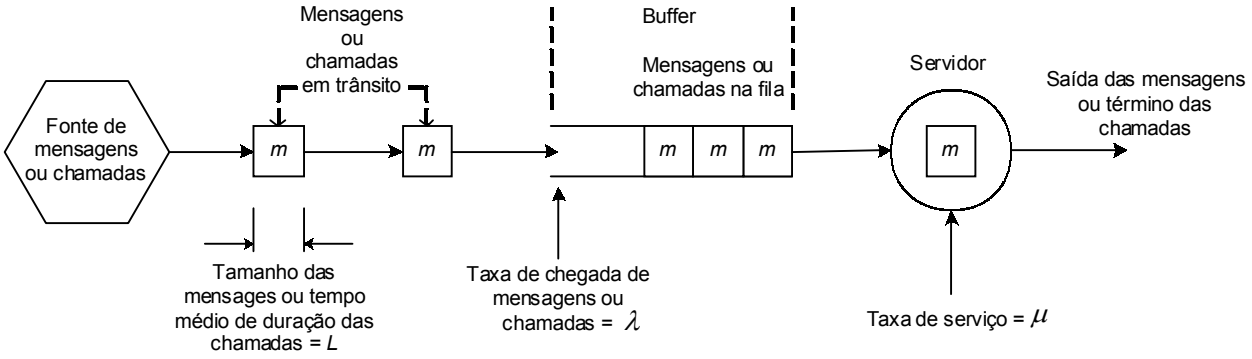

Figura 2.8 Modelo de fila com um servidor.

Várias modelagens são possíveis, e.g., sistemas com fontes infinitas ou finitas, tamanho da fila ilimitado ou limitado e a taxa de chegada de pacotes independente do número de fontes de mensagens no sistema ou não. Os pacotes chegam ao *buffer* na taxa de λ pacotes por segundo. Eles têm o comprimento de L unidades de dados (bits, bytes, caracteres, etc.). Os pacotes podem ter comprimento fixo ou variável. Outros fatores empregados na análise são a taxa de serviço e o tratamento da fila. A taxa de serviço é expressa pelo número de pacotes que deixam o nó por unidade de tempo. A taxa de serviço pode ser dependente ou independente da carga. O tratamento da fila pode ser do tipo FCFS (*first come first served*) - primeiro a chegar, primeiro a ser atendido. Cita-se como contra exemplo uma fila de emergência de um hospital, os pacientes em estado mais grave têm prioridade sobre os demais.

Aqui assume-se uma análise FCFS em uma taxa de C unidades de dados por segundo. A taxa C também é chamada de *capacidade de atendimento*. Se um pacote chega e já tem n pacotes no *buffer*, então o tempo total para servir este pacote é dado por:

$$w = \text{tempo de espera na fila}(q) + \text{tempo de serviço}(s) \tag{2.5}$$

Tem-se então:

$$w = \frac{nL}{C} + \frac{L}{C} = \frac{1+n}{\mu} \tag{2.6}$$

onde L é o comprimento dos pacotes (tamanho fixo) e $\mu = C/L$ é a taxa de serviço em pacotes/s. O tempo total w é assumido como uma variável aleatória.

2.5.2 Estatísticas de Poisson

A estatística de Poisson é uma distribuição discreta de eventos. Assumindo-se que o sistema possui um grande número de usuários independentes, a estatística de Poisson estabelece que a probabilidade $P_n(t)$ de exatamente n chamadas ou pacotes chegarem num intervalo de tempo t, considerando-se uma taxa média de chegada de chamadas ou pacotes λ, é dada [16] por:

$$P_n(\lambda t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \tag{2.7}$$

Quando $n = 0$, corresponde à probabilidade de que não ocorra nenhuma chamada no intervalo de tempo t, e é idêntica à probabilidade de que t segundos passem entre uma chegada de chamada telefônica até a outra. Nesta condição, a equação (2.7) se reduz então à *distribuição exponencial*:

$$P_0(\lambda t) = e^{-\lambda t} \tag{2.8}$$

O emprego da distribuição de Poisson para modelar o processo de chegada de chamadas é consistente quando as fontes de chamadas são infinitas (grande número de usuários), além disso, a probabilidade de chegada de uma chamada num intervalo de tempo qualquer é independente da ocorrência de chamadas em outros intervalos (chamadas descorrelacionadas). Muitas vezes isto não é o caso, como por exemplo, para chamadas induzidas por programas de televisão (concursos, pesquisas de opinião, etc.).

Usualmente está-se interessado em determinar a probabilidade de ocorrência de j ou mais chamadas no intervalo de tempo de t segundos:

$$P_{\geq j}(\lambda t) = \sum_{i=j}^{\infty} P_i(\lambda t) = 1 - \sum_{i=0}^{j-1} P_i(\lambda t) = 1 - P_{<j}(\lambda t) \tag{2.9}$$

A taxa de chegada de pacotes e o tempo de atendimento ou de serviço comportam-se de modo aleatório nos sistemas de fila de espera.

Em (2.7), se $N = \{n \mid n = 0, 1, 2, ...\}$ é o conjunto dos números possíveis de pacotes chegando no nó, então o valor esperado de mensagens que chegam no intervalo de tempo T é dado por [57]:

$$E[N] = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n(\lambda t) = \lambda T \tag{2.10}$$

onde $E[N]$ representa a esperança matemática da variável aleatória N. Logo, o número esperado de chegadas de pacotes no intervalo de tempo $(0, T)$ é igual à λT.

O processo de chegada de pacotes é aqui analisado à luz do processo de Poisson. Assume-se que as mensagens entram na fila do sistema em instantes $t_0, t_1, \ldots t_n$. As variáveis aleatórias $\tau_n = t_n - t_{n-1}$, onde $n \geq 1$, representam intervalos entre chegadas. Pode-se assumir que estas variáveis aleatórias são independentes e identicamente distribuídas. Seja τ um intervalo arbitrário entre chegadas tendo uma função de densidade de probabilidade $p_\tau(t)$, mostra-se a seguir que se os instantes de chegadas obedecem a distribuição de Poisson, então $p_\tau(t)$ é uma função de densidade de probabilidade exponencial.

Considerando-se um intervalo de tempo infinitesimal Δt, a probabilidade $p_\tau(t)\Delta t$ é então a probabilidade que a próxima chegada ocorra em pelo menos t segundos mas não mais que $(t + \Delta t)$ segundos, desde o instante da última chegada. Ou seja, é justamente a probabilidade $P_0(t)$ de nenhuma chegada por um tempo t multiplicado pela probabilidade $P_1(\Delta t)$ de uma chegada no intervalo infinitesimal Δt.

$$p_\tau(t)\Delta t = P_0(t)P_1(\Delta t) \tag{2.11}$$

De (2.7) temos que:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \tag{2.12}$$

e

$$P_1(\Delta t) = \lambda \Delta t e^{-\lambda \Delta t} \tag{2.13}$$

No limite em que $\Delta t \to 0$, o termo exponencial em P_1 tende à unidade, de forma que a substituição destas duas equações em (2.11) conduz a:

$$p_\tau(t)dt = \lambda e^{-\lambda t} dt \tag{2.14}$$

Logo, os tempos τ entre as chegadas, conforme ilustrado na Figura 2.9, obedecem uma função de densidade de probabilidade exponencial.

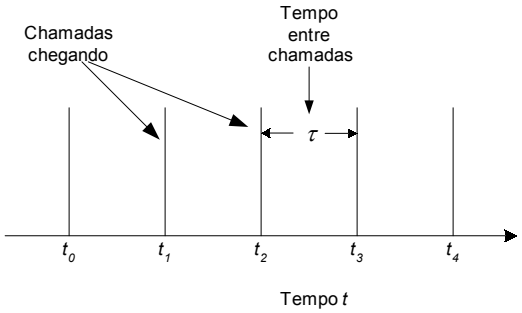

Figura 2.9 Tempo entre chegadas.

2.5.3 Tempo de serviço ou de atendimento

Para a rede de circuitos, pode-se considerar que o tempo de retenção dos circuitos obedece à distribuição exponencial. Isto é uma prática comum na análise de tráfego com resultados estatísticos bem próximos da realidade [4][48]. Tem-se que a probabilidade de retenção de um circuito por mais de *t* segundos é dada por:

$$P(>t) = e^{-t/t_m} \tag{2.15}$$

onde t_m é o tempo médio de chamadas.

Para a rede de pacotes, os tempos de serviço dependem da duração (comprimento) dos pacotes das mensagens para o caso das redes de computadores, ou da duração da chamada, para o caso da telefonia clássica. Assume-se inicialmente a análise simples da teoria de filas, onde os pacotes seguem uma distribuição exponencial, com comprimento médio de pacotes *L*. Para servidores com capacidade de *C* unidades de dados por segundo, uma mensagem de comprimento *L* unidades de dados será transmitida ou processada em *L*/*C* segundos. A distribuição do tempo de serviço *S*(*t*) pode ser escrita como [23]:

$$S(t) = \frac{C}{L} e^{-\frac{C}{L}t} \tag{2.16}$$

que possui um valor esperado (valor médio do tempo de serviço) de [23]:

$$E\left[S(t)\right] = \frac{L}{C} = \frac{1}{\mu} \tag{2.17}$$

2.5.4 Notação de Kendall

A notação de Kendall [24] para o sistema de filas, na forma mais geral, é representada por A/B/c/K/N/Z, onde os símbolos têm o seguinte significado:

- A - distribuição de tempo entre-chegadas;
- B - disciplina de serviço (distribuição do tempo de serviço);
- c - número de servidores;
- K - capacidade do sistema (número de servidores mais o tamanho máximo do *buffer*);
- N - número de usuários potenciais em uma da população de fonte;
- Z - disciplina da fila;

Quando não há limite para o comprimento da fila de espera, o número de fontes é infinito e os pacotes são processados na forma FCFS, então pode-se empregar uma notação mais simples A/B/c. Alguns símbolos tradicionalmente empregados para A e B são:

- GI - tempos entre-chegadas independentes gerais;
- G - distribuição de tempo de serviço geral;
- M – Markoviano, o processo de Poisson visto em 2.5.2 é um processo de Markov, onde foi visto que este processo conduz a uma distribuição exponencial de tempos entre-chegadas; assume-se também com este símbolo uma distribuição exponencial de tempo de serviço;
- D - distribuição de tempos entre-chegadas ou de serviço determinística (constante).

Como exemplo da notação de Kendall, tem-se a fila M/G/1 que emprega chegadas de Poisson, distribuição de serviço geral e possui um servidor. Um exemplo mais específico é M/D/1, possui um tempo de serviço fixo ou constante. Nos sistemas modelados de acordo com a fila M/M/1, os pacotes chegam conforme a distribuição de Poisson, entram em um *buffer* infinito, a distribuição de tempo de serviço é exponencial e o tratamento da fila é do FCFS.

2.5.5 Relacionamento entre as variáveis aleatórias

Dadas as variáveis aleatórias:

- $N(t)$ = número de mensagens no sistema no instante t;
- $N_q(t)$ = número de mensagens na fila no instante t;
- $N_s(t)$ = número de mensagens sendo processadas no instante t.

Segue-se a seguinte relação evidente:

$$N(t) = N_q(t) + N_s(t) \tag{2.18}$$

Quando o sistema entra em operação, tem-se uma fase transitória de acomodação estatística. Após a fase transitória, o sistema entra em regime permanente, chamado de equilíbrio estatístico. No equilíbrio a equação (2.18) fica [23]:

$$\widetilde{N} = \widetilde{N}_q + \widetilde{N}_s \tag{2.19}$$

Essas quantidades são independentes do tempo, porém ainda são variáveis aleatórias. Pode-se, portanto, escrever:

$$E\left[\widetilde{N}\right] = E\left[\widetilde{N}_q\right] + E\left[\widetilde{N}_s\right] \tag{2.20}$$

as quais se expressam no equilíbrio estatístico como:

$$N = N_q + N_s \tag{2.21}$$

onde N é a média do número total de pacotes ou mensagens no sistema;

N_q é a média do número de pacotes ou mensagens na fila;

N_s é a média do número de pacotes ou mensagens sendo servidas ou atendidas.

Podem ser obtidas relações similares de variáveis aleatórias que descrevem instantes de tempo e não número de mensagens. Seja w o tempo total que um pacote gasta no sistema (tempo gasto na fila mais o tempo de atendimento), q o tempo de espera na fila e s o tempo de serviço de um pacote, então:

$$w = q + s \tag{2.22}$$

e

$$E\left[w\right] = E\left[q\right] + E\left[s\right] \tag{2.23}$$

No equilíbrio estatístico, tem-se:

$$T = T_q + T_s \tag{2.24}$$

onde T é o tempo médio que uma mensagem ou pacote gasta no sistema;

T_q é o tempo médio gasto na fila;

T_s é o tempo médio de serviço (e.g., tempo de roteamento de uma mensagem ou pacote).

2.5.6 Sistemas de fila M/M/1

Nessa seção serão abordados os sistemas que podem ser modelados de acordo com o sistema de fila M/M/1. Estes sistemas de fila podem ser analisados por meio de uma máquina de estado [46], conforme ilustrado na Figura 2.10 abaixo.

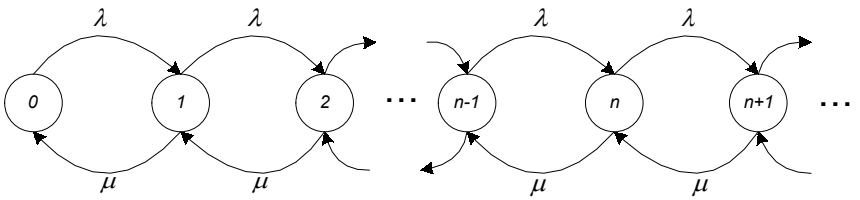

Figura 2.10 Máquina de estado para os sistemas de fila M/M/1.

Se um usuário chega na fila, o sistema muda do estado n para o estado $n + 1$. Se um usuário é atendido deixando o sistema, o mesmo muda do estado n para o estado n - 1. Vamos considerar o sistema em equilíbrio estatístico. Isto significa que a probabilidade de encontrar o sistema num certo estado n não muda com o tempo. Para o equilíbrio, é necessário que os processos de chegada na fila e de serviço pelo sistema ocorram na mesma taxa. Também vamos assumir para a análise, que as transições somente ocorrem entre estado adjacentes.

Se a taxa média de chegada é λ usuários/s, o número médio de transações por segundo do estado n para o estado $n + 1$ é λp_n, onde p_n é a probabilidade, no estado de equilíbrio, de que existam exatamente n usuários no sistema (na fila mais no servidor). De forma similar, o servidor é capaz de processar μ pacotes (usuários) por segundos, a taxa de transição do estado $n + 1$ para n é μp_{n+1}. Vale notar que a probabilidade empregada no produto é sempre a do estado inicial.

Deseja-se determinar a probabilidade $p_n(t)$ de que haja n mensagens no sistema no instante t. Na condição de equilíbrio, a taxa em que as mensagens chegam deve ser igual à taxa que as mensagens partem.

Assume-se que a taxa de chegada λ_n para qualquer estado n é igual à constante λ. Da mesma forma, a taxa de serviço μ_n para qualquer estado $n \geq 1$ é igual à constante μ. Para $n = 0$, naturalmente tem-se $\mu_0 = 0$. Como estamos considerando taxas de chegadas e de serviço conforme a distribuição de Poisson, uma maneira simples de analisar o estado do *buffer* é fazer a análise em um intervalo de tempo infinitesimal começando em t e terminando em $t+\Delta t$. Durante esse intervalo, as seguintes transições podem ocorrer de ou para o estado n, conforme ilustrado na Figura 2.11 abaixo.

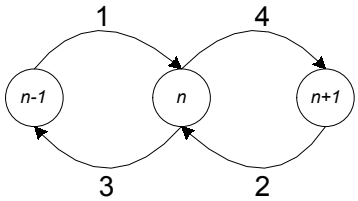

Figura 2.11 Transições em torno do estado *n*.

A Figura 2.11 ilustra as seguintes transições:

1. Uma mensagem entra no estado *n* a partir de *n* - 1 com taxa de fluxo λp_{n-1};
2. Uma mensagem entra no estado *n* a partir de *n* + 1 com taxa de fluxo μp_{n+1};
3. Uma mensagem deixa o estado *n* e entra no *n* - 1 com taxa de fluxo μp_n;
4. Uma mensagem deixa o estado *n* e entra no *n* + 1 com taxa de fluxo λp_n.

Para que o sistema esteja em equilíbrio é necessário que o fluxo de entrada no estado *n* seja igual ao fluxo de saída.

$$\text{fluxo de entrada} = \lambda p_{n-1} + \mu p_{n+1} \tag{2.25}$$

e

$$\text{fluxo de saída} = \lambda p_n + \mu p_n \tag{2.26}$$

Logo, para $n \geq 1$ tem-se:

$$\lambda p_{n-1} + \mu p_{n+1} = (\lambda + \mu) p_n \tag{2.27}$$

Para que seja solucionada a equação acima, são necessárias as condições de fronteira entre os estados 0 e 1. Quando uma mensagem chega, com a fila vazia (estado 0), a fila move para o estado 1. A taxa de transição para esta condição é de λp_0. Da mesma forma, o retorno ao estado 0, a partir do estado 1, ocorre na taxa de fluxo μp_1. No estado de equilíbrio, devemos ter a seguinte relação [46]:

$$\lambda p_0 = \mu p_1 \tag{2.28}$$

ou

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0 = \rho p_0 \tag{2.29}$$

onde

$$A = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda t_m \tag{2.30}$$

onde A é a intensidade de tráfego expressa em Erlangs e t_m é o tempo médio de chamadas.

Uma expressão geral pode ser encontrada usando-se o resultado acima (2.30) e resolvendo-se (2.27) recursivamente. De (2.27) para $n = 1$ e usando-se (2.29), segue:

$$p_2 = (A+1)\,p_1 - Ap_0 = A^2 p_0 \tag{2.31}$$

Repetindo-se este processo recursivamente, chega-se facilmente a expressão geral para p_n:

$$p_n = A^n p_0 \tag{2.32}$$

Outra condição sobre p_n vem da definição de probabilidade:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n = 1 \tag{2.33}$$

Para que esta condição seja atendida, p_n deve tender a zero conforme n tende a infinito. Decorre das equações (2.32) e (2.33) que esta condição é satisfeita para $A = (\lambda/\mu) < 1$ (condição de convergência da série de potências). Então, substituindo-se (2.32) em (2.33), tem-se:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n = p_0 \sum_{n=0}^{\infty} A^n = \frac{p_0}{1-A} = 1 \tag{2.34}$$

Logo, de (2.34) tem-se:

$$p_0 = (1-A) \tag{2.35}$$

Substituindo-se (2.35) em (2.32), tem-se:

$$p_n = (1-A)\,A^n \tag{2.36}$$

A Figura 2.12 ilustra p_n em função do número de estado para o caso em que $A = 1/2$.

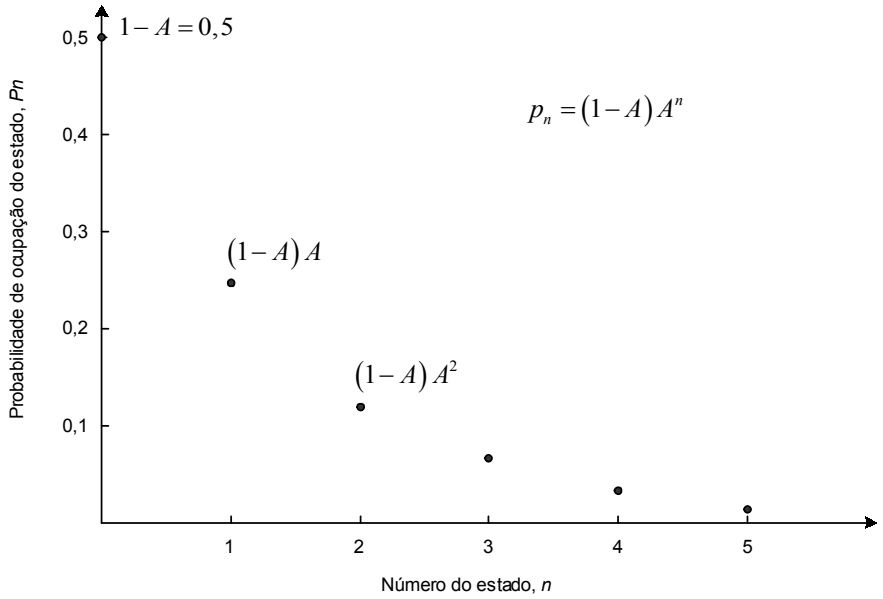

Figura 2.12 Gráfico da probabilidade de ocupação do estado.

2.5.7 Fórmula de Little

Dois parâmetros importantes na análise de sistemas de filas são: o número médio de usuários esperando o serviço e o tempo médio gasto pelos usuários no sistema esperando pelo serviço. Há quatro quantidades distintas de interesse, para um estado arbitrário, denotadas pelos símbolos:

- N = número total médio de mensagens no sistema (mensagens esperando na fila mais mensagens sendo servidas);
- N_q = número médio de mensagens esperando na fila;
- T = tempo médio que uma mensagem gasta no sistema (tempo gasto na fila mais o tempo gasto no atendimento);
- T_q = tempo médio que uma mensagem gasta na fila.

O número médio de mensagens no sistema e o tempo médio gasto pela mensagem no sistema são expressos pelas equações (2.21) e (2.24), respectivamente. A fórmula de Little permite relacionar estas grandezas [34]:

$$N = \lambda T \,, \tag{2.37}$$

que estabelece que o número médio de usuários no sistema (N) é igual à taxa média de chegada de usuários no sistema (λ) multiplicado pelo tempo médio gasto pelo cliente no sistema (T).

De forma análoga à equação (2.37), tem-se a relação:

$$N_q = \lambda T_q \quad , \tag{2.38}$$

que estabelece que o número de usuário na fila (N_q) é igual à taxa média de chegada de usuário (λ) multiplicada pelo tempo médio que um cliente gasta na fila de espera (T_q). As relações dadas pelas equações (2.37) e (2.38) são muito importantes para o estudo dos sistemas de fila e são utilizadas em algumas deduções de equações.

2.5.8 Aplicação da fórmula de Little em sistemas de filas M/M/1

Deseja-se derivar N, N_q, T e T_q para o sistema de filas M/M/1. Um parâmetro importante é o número médio de mensagens no sistema, dado por [57]:

$$N = E\left[\widetilde{N}\right] = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n \tag{2.39}$$

Substituindo-se (2.36) na equação acima segue:

$$N = \sum_{n=0}^{\infty} n\left(1-A\right) A^n = \left(1-A\right) \sum_{n=0}^{\infty} n A^n \tag{2.40}$$

Usando-se a expressão de convergência da série aritmética-geométrica[3], tem-se:

$$N = \frac{A}{1-A} \tag{2.41}$$

Esta dependência é ilustrada na Figura 2.13.

[3] $\sum_{n=0}^{\infty} n x^n = \frac{x}{\left(1-x\right)^2}$, se $|x| < 1$.

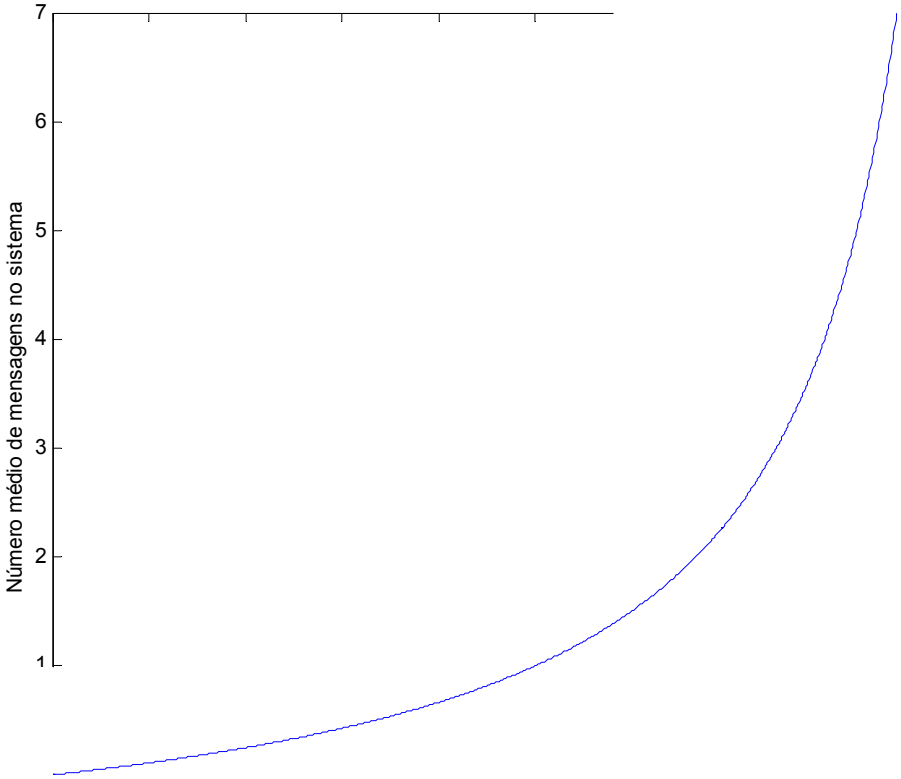

Figura 2.13 Número médio de mensagens no sistema N pela intensidade de tráfego A.

Para $A < 0{,}5$, o número médio de mensagens é menor que 1. Usando-se a fórmula de Little (2.37), o tempo de espera médio no sistema é dado por:

$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{A}{\lambda(1-A)} = \frac{1}{\mu(1-A)} = \frac{1}{\mu}(1+N) \quad , \tag{2.42}$$

onde a última igualdade acima vem da equação (2.41):

$$N + 1 = \frac{A}{1-A} + 1 = \frac{1}{1-A} \quad , \tag{2.43}$$

cuja dependência é ilustrada na Figura 2.14.

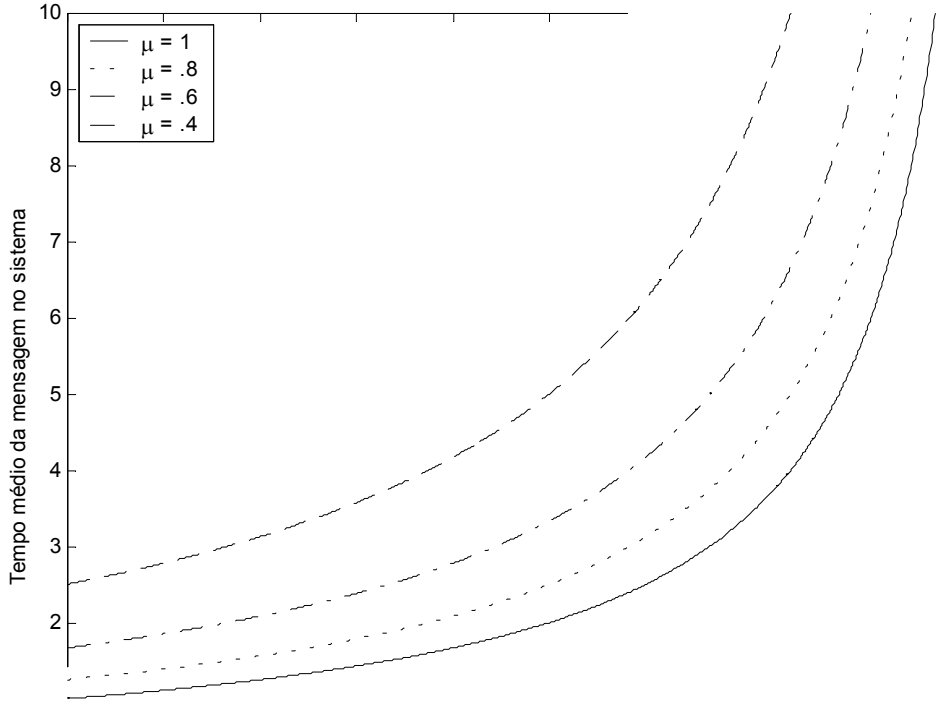

Figura 2.14 Tempo médio da mensagem no sistema T em função da intensidade de tráfego A.

Observe na Figura 2.14 que conforme a intensidade de tráfego A aproxima-se da unidade, tanto o número médio de mensagens no sistema quanto o tempo gasto no sistema aumentam drasticamente.

Refazendo-se os cálculos para os tempos no sistema, dado que o tempo de serviço médio por mensagem é $1/\mu$, tem-se:

$$T = T_s + T_q = \frac{1}{\mu} + T_q \tag{2.44}$$

Então, de (2.42) e (2.44) tem-se:

$$T_q = T - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu(1-A)} - \frac{1}{\mu} = \frac{A}{\mu(1-A)} \tag{2.45}$$

Aplicando-se a fórmula de Little (2.38) em (2.45) tem-se:

$$N_q = \lambda T_q = \mu A \frac{A}{\mu(1-A)} = \frac{A^2}{1-A} \tag{2.46}$$

Uma outra quantidade de interesse é a probabilidade de encontrar pelo menos *n* mensagens no sistema. Este parâmetro é útil para o dimensionamento do *buffer* de mensagens de forma a se evitar *overflow*. Da equação (2.36), a probabilidade de que o número de mensagens esperando no *buffer* de um sistema de filas M/M/1 seja maior do que um certo número *N* é dado por:

$$P(n > N) = \sum_{n=N+1}^{\infty} p_n = (1-A) \sum_{n=N+1}^{\infty} A^n \tag{2.47}$$

Como:

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} A^n = \sum_{n=0}^{\infty} A^n - \sum_{n=0}^{N} A^n \tag{2.48}$$

e da convergência das séries geométricas[4], tem-se então:

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} A^n = \frac{1}{1-A} - \frac{1-A^{N+1}}{1-A} = \frac{A^{N+1}}{1-A} \tag{2.49}$$

Por final, substituindo-se (2.49) em (2.47) tem-se que:

$$P(n > N) = A^{N+1} \tag{2.50}$$

Como para a convergência da série de potência $A < 1$, a probabilidade de que o número de mensagens no sistema exceda algum número *N* é uma função decrescente geometricamente.

2.5.9 Sistemas de fila M/M/m/m

Nesta seção são apresentados os sistemas que podem ser modelados pela fila M/M/m/m, que é o caso dos sistemas de perda em telefonia CPE (chamadas perdidas eliminadas) que utilizam a fórmula de perda de Erlang. O modo CPE, como já apresentado na seção 2.4.5, assume que o usuário, após receber um sinal de linha ocupada, irá desligar o telefone e esperar um certo tempo antes de fazer uma nova tentativa de chamada. Esta nova tentativa é considerada uma nova chamada

[4] $\sum_{n=0}^{\infty} ax^n = \frac{a}{1-x}$ para $|x| < 1$ e $\sum_{n=0}^{m} ax^n = a\frac{1-x^{m+1}}{1-x}$.

independente da anterior, ou de forma alternativa, presume-se que as chamadas que excedam o limite de capacidade do sistema são conduzidas por um caminho alternativo.

Nesta análise têm-se *m* servidores disponíveis. Cada nova chamada ou mensagem é alocada imediatamente a um servidor particular, contudo, se a chegada ocorrer quando todos os servidores estiverem ocupados, esta chamada ou mensagem será descartada.

2.5.9.1 Equações de estado para fila M/M/m/m

As chamadas chegam e partem da rede aleatoriamente e o número de chamadas em progresso, que significa o número de dispositivos ou canais ocupados, varia de forma randômica.

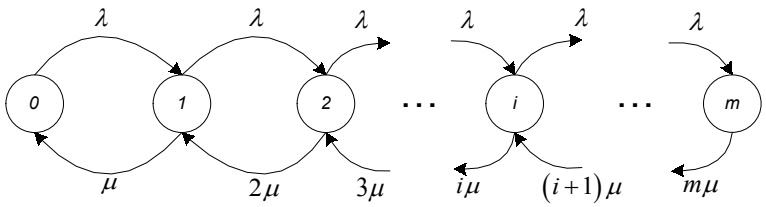

Figura 2.15 Máquina de estado para fila M/M/m/m.

Conforme ilustrado na Figura 2.15, tem-se *m* como o número máximo de dispositivos ou canais no sistema, e *i* indicando o número de chamadas em progresso. Claramente, tem-se que *i* é igual ao número de dispositivos ou canais ocupados e é normalmente chamado de *estado da rede*. Quando $i = m$, a rede está cheia e é usado o termo *"congestionada"* para descrever esta situação. Qualquer chamada que chegar quando a rede estiver no estado *m*, está impossibilitada de encontrar um dispositivo ou canal livre e é descartada.

Para se desenvolver um modelo matemático que permita analisar as propriedades do sistema, sendo que a mais importante é a probabilidade da rede estar congestionada, tem-se que fazer as seguintes considerações [14]:

- as chamadas são independentes;
- a taxa de chegada de chamadas quando a rede está no estado *i* é λ_i;
- a taxa de saída ou término de chamadas quando a rede está no estado *i* é μ_i;
- somente um evento (chegada ou partida) pode ocorrer num instante particular de tempo;

A probabilidade de que o sistema acima descrito, representado pela Figura 2.15, esteja num determinado estado *i* em um certo tempo $t + dt$ é igual à soma do seguinte:

1. da probabilidade de que o sistema esteja num estado *i* num certo instante *t* e nenhuma chamada chega ou parte no intervalo de tempo *dt*;
2. da probabilidade de que o sistema esteja num estado *i* - 1 no instante *t* e uma chamada chega no intervalo de tempo *dt*;
3. da probabilidade de que o sistema esteja num estado *i* + 1 no instante *t* e uma chamada termine no intervalo de tempo *dt*.

As três condições acima apresentadas estão ilustradas na Figura 2.16.

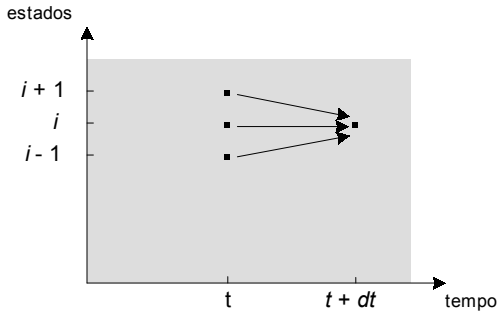

Figura 2.16 Probabilidade do sistema se encontrar no estado *i*.

Pode-se assumir que durante a hora de maior movimento (HMM) a dependência de tempo das probabilidades de estados é zero [14], então:

$$\frac{dp_i}{dt} = 0 \tag{2.51}$$

Então, na situação de equilíbrio estatístico, tem-se que:

$$\lambda_0 p_0 = \mu_1 p_1 \tag{2.52}$$

$$(\lambda_1 + \mu_1) p_1 = \lambda_0 p_0 + \mu_2 p_2 \tag{2.53}$$

$$(\lambda_2 + \mu_2) p_2 = \lambda_1 p_1 + \mu_3 p_3 \tag{2.54}$$

$$\vdots$$

e assim sucessivamente. A equação geral as equações (2.52), (2.53) e (2.54) é dada por:

$$(\lambda_i + \mu_i) p_i = \lambda_{i-1} p_{i-1} + \mu_{i+1} p_{i+1} \tag{2.55}$$

Substituindo-se (2.52) em (2.53), segue que $\lambda_1 p_1 = \mu_2 p_2$. Analogamente, a substituição de (2.53) em (2.54) conduz a $\lambda_2 p_2 = \mu_3 p_3$. De forma geral, tem-se:

$$\begin{aligned} \lambda_0 p_0 &= \mu_1 p_1 \\ \lambda_1 p_1 &= \mu_2 p_2 \\ \lambda_2 p_2 &= \mu_3 p_3 \\ &\vdots \end{aligned} \tag{2.56}$$

Como expressão geral para as equações (2.56), tem-se:

$$\lambda_{i-1} p_{i-1} = \mu_i p_i \tag{2.57}$$

Traduzindo-se a equação (2.57) em palavras: "a probabilidade do sistema estar no estado i – 1 vezes a taxa média de chegada de chamadas no estado i – 1 é igual à probabilidade do sistema estar no estado i vezes a taxa média de saída ou término de chamadas no estado i".

2.5.9.2 Distribuição de Erlang

Se o número de fontes é muito maior do que o número de dispositivos (troncos ou canais de saída), pode ser assumido, não importando quantos dispositivos estejam ocupados, que a taxa em que as chamadas estejam chegando ao sistema será constante. Neste caso então, após o sistema atingir o equilíbrio estatístico, tem-se que a taxa média de chamadas chegando no sistema, conforme (2.2), é dada por:

$$\lambda_i = \lambda = \frac{A}{t_m} \tag{2.58}$$

onde A é a média do tráfego oferecido ou fluxo de tráfego e t_m é o tempo médio de chamadas.

Tem-se então a taxa média de chamadas que deixam o sistema como sendo [14]:

$$\mu_i = \frac{i}{t_m} \tag{2.59}$$

onde i é o número de chamadas em progresso. Então, das equações (2.57), (2.58) e (2.59) tem-se:

$$p_i \frac{i}{t_m} = p_{i-1} \frac{A}{t_m} \tag{2.60}$$

Para valores crescentes de i na equação (2.60) acima, tem-se:

$$\begin{aligned} p_1 &= Ap_0 \\ p_2 &= \frac{A^2}{2!}p_0 \\ p_3 &= \frac{A^3}{3!}p_0 \\ &\vdots \end{aligned} \tag{2.61}$$

De uma forma geral, tem-se que a probabilidade do sistema estar num determinado estado *i* é dada por:

$$p_i = \frac{A^i}{i!}p_0 \tag{2.62}$$

Segue também de (2.61) que a probabilidade do sistema se encontrar congestionado no estado *m* é dada por:

$$p_m = \frac{A^m}{m!}p_0 \tag{2.63}$$

Considerando-se *m* estados possíveis do sistema, a somatória das probabilidades de todos os *m* possíveis estados é igual a um:

$$\sum_{i=0}^{m} p_i = 1 \tag{2.64}$$

Escrevendo-se explicitamente a expressão acima:

$$\sum_{i=0}^{m} p_i = p_0 + p_1 + \cdots + p_m = 1 \tag{2.65}$$

Substituindo-se (2.62) em (2.65) tem-se:

$$\sum_{i=0}^{m} p_i = p_0 + Ap_0 + \cdots + \frac{A^m}{m!}p_0 = 1 \tag{2.66}$$

Isolando-se o termo p_0 na equação acima, segue a relação:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{m} \frac{A^j}{j!}} \tag{2.67}$$

Substituindo-se (2.67) em (2.62), a probabilidade do sistema estar num estado genérico *i* é dada por:

$$p_i = \frac{A^i}{i!}\frac{1}{\sum_{j=0}^{m}\frac{A^j}{j!}} = \frac{\frac{A^i}{i!}}{\sum_{j=0}^{m}\frac{A^j}{j!}} \tag{2.68}$$

Desta forma através da equação (2.68), pode-se encontrar p_i para todos valores de i se conhecermos os valores de A e de m. A equação (2.68) é chamada de *distribuição de probabilidade dos estados do sistema*, e é a forma truncada da distribuição de Poisson.

2.5.9.3 Fórmula B de Erlang

A probabilidade da rede estar no estado m, tomada na hora de maior movimento, é chamada de congestionamento temporal B:

$$B = p_m \tag{2.69}$$

Ou seja:

$$B = p_m = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{j=0}^{m}\frac{A^j}{j!}} \tag{2.70}$$

A equação (2.70) acima é conhecida como *fórmula B de Erlang*, *fórmula de perda de Erlang* ou *fórmula de Erlang de primeira espécie*. Ela fornece a probabilidade de bloqueio de um sistema com m canais e com fonte de tráfego A, ou seja, a probabilidade de bloqueio para um sistema de perdas onde as chamadas excedidas são descartadas.

O uso da fórmula B de Erlang assume que:

- o número de fontes de tráfego é infinito;
- as chamadas perdidas são eliminadas, assumindo-se o tempo de espera igual à zero;
- o número de troncos ou canais de serviço é limitado;
- a disponibilidade ou acessibilidade é plena nos troncos ou canais de saída.

O tráfego realmente conduzido é dado por:

$$A_c = (1 - B)A \tag{2.71}$$

A Figura 2.17 ilustra a relação entre a intensidade de tráfego oferecido A pela fonte e a probabilidade de bloqueio para diferentes números de canais m. Observa-se obviamente que quanto

maior o número de canais disponíveis menor a probabilidade de bloqueio para uma mesma intensidade de tráfego.

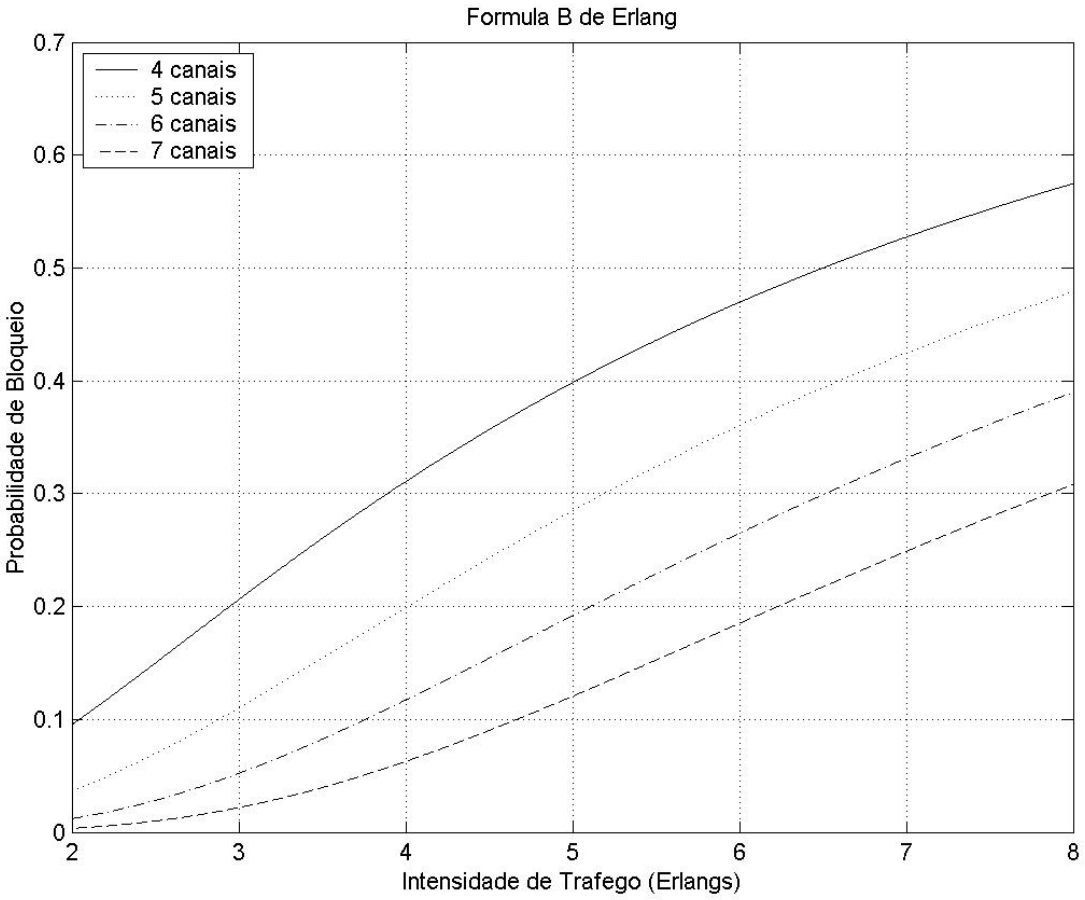

Figura 2.17 Gráfico da relação entre a intensidade de tráfego oferecido e a probabilidade de bloqueio.

2.5.10 Sistemas de fila M/M/1/K

Esta seção apresenta o sistema de fila M/M/1/K onde se considera que um número máximo de *K* usuários (chamadas ou mensagens) pode ocupar a fila de um sistema com um único servidor. Assim, um usuário que chega após este número máximo de *K* usuários é desconsiderado na análise. Novos usuários estarão chegando à fila de acordo com o processo de Poisson, mas somente aqueles que encontrar o sistema com menos do que *K* usuários terão o acesso permitido. Na aplicação em telefonia, os usuários geram as chamadas telefônicas exigindo recursos da rede, as chamadas em excesso são consideradas perdidas ou bloqueadas.

2.5.10.1 Máquina de estados para a fila M/M/1/K

O sistema de filas M/M/1/K pode armazenar até *K* mensagens, inclusive a mensagem que está sendo processada. Qualquer mensagem adicional será recusada pelo sistema. O diagrama de transição de estados para sistemas M/M/1/K é apresentado pela Figura 2.18.

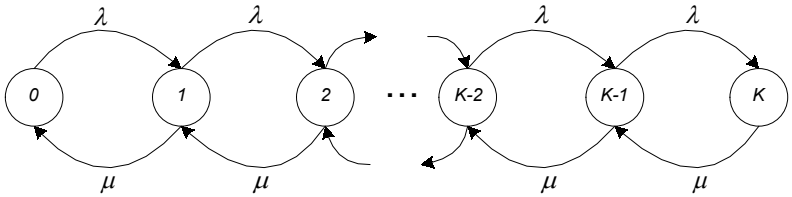

Figura 2.18 Diagrama de estados para filas M/M/1/K.

Assumindo-se que as mensagens chegam e são processadas com taxas constantes, então as taxas de transição são dadas como:

$$\begin{aligned} \lambda_k &= \lambda, && 0 \le k < K \\ \lambda_k &= 0, && k \ge K \end{aligned} \tag{2.72}$$

e

$$\begin{aligned} \mu_k &= \mu, && 0 < k \le K \\ \mu_k &= 0, && k \le 0 \end{aligned} \tag{2.73}$$

2.5.10.2 Regime estatístico permanente

As novas mensagens que chegam ao sistema seguem a distribuição de Poisson. Somente quando há menos do que *K* mensagens, permitem-se que as mensagens recém chegadas entrem no sistema. As probabilidades em regime estatístico permanente são análogas à (2.32) para $n \le K$:

$$p_n = p_0 A^n = p_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n, \qquad n \le K \tag{2.74}$$

e

$$p_n = 0, \qquad n > K \tag{2.75}$$

Para se determinar p_0, emprega-se a restrição fundamental da probabilidade, ou seja a soma deve ser igual a um, e emprega-se a expressão da soma de séries geométricas finitas:

$$p_0 \sum_{n=0}^{K} A^n = p_0 \frac{1 - A^{K+1}}{1 - A} = 1 \tag{2.76}$$

logo

$$p_0 = \frac{1 - A}{1 - A^{K+1}} \tag{2.77}$$

A expressão genérica de probabilidade é obtida substituindo-se (2.77) em (2.74):

$$p_n = \frac{(1 - A)A^n}{1 - A^{K+1}}, \qquad 0 \le n \le K \tag{2.78}$$

e $p_n = 0$ para $n > K$. Observe que neste caso o sistema sempre chega a um equilíbrio, não sendo necessário impor $\lambda < \mu$ para se alcançar o equilíbrio. Se $\lambda = \mu$, então $A = 1$, a indeterminação que aparece na equação (2.78) acima pode ser levantada pela regra de L'Hôpital:

$$\lim_{\rho \to 1} p_n = \frac{1}{K + 1}, \qquad 0 \le n \le K \tag{2.79}$$

A probabilidade de bloqueio, onde as novas mensagens serão descartadas, é obtida fazendo-se $n = K$ na equação (2.78). Tem-se então:

$$p_B = p_K = \frac{(1 - A)A^K}{1 - A^{K+1}} \tag{2.80}$$

De forma similar, pode-se empregar a fórmula de Little, equações (2.37) e (2.38), para se determinar N, T, N_q e T_q. Se $A < 1$, então o número esperado de mensagens no sistema é:

$$N = E\left[\tilde{N}\right] = \sum_{n=0}^{K} n p_n \tag{2.81}$$

Substituindo-se (2.78) em (2.81) tem-se:

$$N = \sum_{n=0}^{K} n \frac{(1 - A)A^n}{1 - A^{K+1}} \tag{2.82}$$

Isolando-se os termos independentes de n:

$$N = \frac{(1 - A)}{1 - A^{K+1}} \sum_{n=0}^{K} n A^n \tag{2.83}$$

Tem-se, usando a expressão da soma finita da série aritmética-geométrica[5]:

$$N = \frac{A}{1-A} - \frac{(K+1)A^{K+1}}{1-A^{K+1}} \tag{2.84}$$

O número médio de mensagens esperando na fila é:

$$N_q = N - N_s \tag{2.85}$$

onde

$$N_s = E\left[\tilde{N}_s\right] = (1-p_0)1 = 1-p_0 \tag{2.86}$$

dado que o número médio de mensagens sendo tratadas é simplesmente a probabilidade de que o sistema não esteja vazio ($1 - p_0$) vezes o número médio de mensagens que estão sendo servidas sob esta condição (a qual é 1).

Uma vez que no sistema há K mensagens, nenhuma nova mensagem é permitida. Isto ocorre com probabilidade p_K, já expressa na equação (2.80). A probabilidade de que novas mensagens entrem no sistema, complementar a esta é ($1 - p_K$). Nesta condição, a taxa média de mensagens entrando no sistema é dada por [23]:

$$\lambda_a = \lambda(1-p_K) \tag{2.87}$$

Usando-se a fórmula de Little dada pela equação (2.37), tem-se que o tempo médio que uma mensagem gasta no sistema é dado por:

$$T = \frac{N}{\lambda_a} \tag{2.88}$$

e o tempo médio que uma mensagem gasta esperando na fila:

$$T_q = \frac{N_q}{\lambda_a} \tag{2.89}$$

2.5.11 Sistemas de fila M/M/m/K

Nesta seção é apresentada uma análise dos sistemas que podem ser modelados através da fila M/M/m/K, que possui um *buffer* finito de tamanho $K - m$, uma taxa de chegada de usuários

[5] $\sum_{n=0}^{K} nA^n = \frac{A\left(1-A^{K+1}\right)}{\left(1-A\right)^2} - \frac{(K+1)A^{K+1}}{(1-A)}$

(chamadas ou mensagens) constante e um número de servidores finito e igual a *m*. Esta abordagem é apropriada à modelagem de tráfego de centrais de atendimento (*call centers*).

O diagrama de transição de estados da fila M/M/m/K é mostrado na Figura 2.19 para o qual após *m* chamadas, a chamada *m* + 1 se coloca na fila de espera (*buffer*), que tem um tamanho finito e igual a $K - m$. Isto significa que, quando o *buffer* estiver cheio, a próxima chamada que estiver entrando no sistema será descartada, retornando um sinal de ocupado ao usuário.

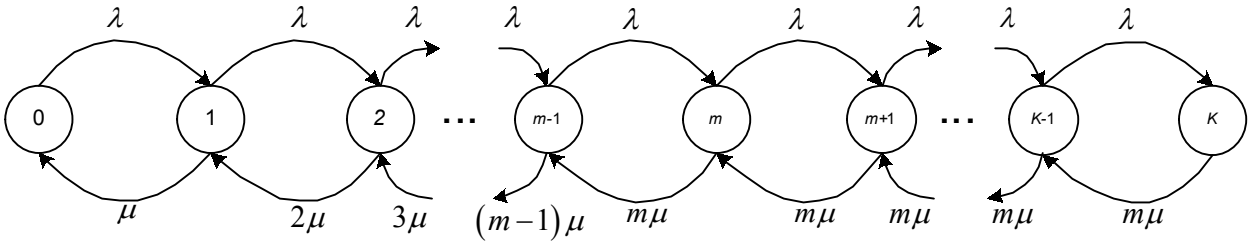

Figura 2.19 Diagrama de transição de estados para filas M/M/m/K

Assumindo-se que as mensagens chegam e são processadas com taxas constantes, então as taxas de transição são dadas como:

$$\begin{aligned} \lambda_n &= \lambda, && 0 \le n < K \\ \lambda_n &= 0, && n \ge K \end{aligned} \tag{2.90}$$

e

$$\begin{aligned} \mu_n &= n\mu, && 0 \le n < m \\ \mu_n &= m\mu, && m \le n \le K \end{aligned} \tag{2.91}$$

De forma análoga à (2.32), tem-se:

$$p_n = \frac{\lambda^n}{n\mu(n-1)\mu\cdots(1)\mu} p_0, \qquad 0 \le n < m \tag{2.92}$$

$$p_n = \frac{\lambda^n}{(m\mu)^{n-m} m\mu(m-1)\mu(m-2)\mu\cdots(1)\mu} p_0, \qquad m \le n < K \tag{2.93}$$

ou

$$p_n = \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0, \qquad 0 \le n < m \tag{2.94}$$

$$p_n = \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0, \qquad m \le n < K \tag{2.95}$$

Para se determinar p_0, emprega-se a restrição fundamental da probabilidade, ou seja a soma deve ser igual a um:

$$\sum_{n=0}^{m-1} \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0 + \sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0 = 1 \tag{2.96}$$

logo

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \tag{2.97}$$

Analisando-se a segunda somatória da equação (2.97):

$$\sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = \sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!} A^n \tag{2.98}$$

Fazendo-se:

$$\rho = \frac{A}{m} = \frac{\lambda}{m\mu} \tag{2.99}$$

tem-se:

$$\sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = \frac{A^m}{m!}\frac{1-\rho^{K-m+1}}{1-\rho}, \qquad \text{para } \rho \ne 1 \tag{2.100}$$

e

$$\sum_{n=m}^{K} \frac{1}{m^{n-m} m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = \frac{A^m}{m!}\left(K-m+1\right), \qquad \text{para } \rho = 1. \tag{2.101}$$

Desta forma, pode-se reescrever p_0 como:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{1}{n!} A^n + \frac{A^m}{m!}\frac{1-\rho^{K-m+1}}{1-\rho}}, \qquad \text{para } \rho \ne 1 \tag{2.102}$$

e

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{1}{n!} A^n + \frac{A^m}{m!}(K-m+1)}, \qquad \text{para } \rho = 1 \tag{2.103}$$

Apresenta-se agora o cálculo do número esperado de mensagens na fila:

$$N_q = \sum_{n=m}^{K} (n-m) p_n \tag{2.104}$$

Substituindo-se p_n por (2.95), tem-se:

$$N_q = \frac{p_0}{m!} \sum_{n=m}^{K} \frac{(n-m) A^n}{m^{n-m}} \tag{2.105}$$

ou

$$N_q = \frac{p_0 (m\rho)^m \rho}{m!} \sum_{n=m}^{K} (n-m) \rho^{n-m-1} \tag{2.106}$$

Substituindo-se $n - m$ por j tem-se:

$$N_q = \frac{p_0 (m\rho)^m \rho}{m!} \sum_{j=1}^{K-m} j \rho^{j-1} \tag{2.107}$$

Utilizando-se das séries geométricas, o número esperado de mensagens na fila é dado por:

$$N_q = \frac{p_0 (m\rho)^m \rho}{m!(1-\rho)^2} \left[1 - \rho^{K-m+1} - (1-\rho)(K-m+1) \rho^{K-m} \right] \tag{2.108}$$

Para $\rho = 1$, é necessário aplicar a regra de L'Hôpital duas vezes. Para se calcular o número esperado de mensagens no sistema, observa-se que:

$$N_q = \sum_{n=m}^{K} (n-m) p_n = \sum_{n=m}^{K} n p_n - m \sum_{n=m}^{K} p_n \tag{2.109}$$

$$N_q = \sum_{n=0}^{K} n p_n - \sum_{n=0}^{m-1} n p_n - m \sum_{n=m}^{K} p_n \tag{2.110}$$

$$N_q = N - \sum_{n=0}^{m-1} n p_n - m \left(1 - \sum_{n=0}^{m-1} p_n \right) \tag{2.111}$$

$$N_q = N - \sum_{n=0}^{m-1} (n-m) p_n - m \tag{2.112}$$

Então:

$$N = N_q + m - \sum_{n=0}^{m-1} (m-n)\, p_n \tag{2.113}$$

Substituindo-se p_n, tem-se então como número esperado de mensagens no sistema:

$$N = N_q + m - p_0 \sum_{n=0}^{m-1} \frac{(m-n)(\rho m)^n}{n!} \tag{2.114}$$

Os valores para os tempos esperados gastos no sistema podem ser facilmente encontrados usando-se a fórmula de Little. Tem-se então, o tempo médio que uma mensagem gasta no sistema dado por:

$$T = \frac{N}{\lambda_a} \tag{2.115}$$

onde λ_a é a taxa média de mensagens entrando no sistema, conforme visto em (2.87):

$$\lambda_a = \lambda (1 - p_K) \tag{2.116}$$

e, o tempo médio que uma chamada gasta na fila é dado por:

$$T_q = T - \frac{1}{\mu} \tag{2.117}$$

ou

$$T_q = \frac{N_q}{\lambda_a} \tag{2.118}$$

A probabilidade de bloqueio para sistemas de fila M/M/m/K pode ser calculada por:

$$p_B = p\{m \text{ troncos e } K \text{ posições ocupadas}\} = p_{m+K} \tag{2.119}$$

então, de (2.95), temos que:

$$p_B = \frac{A^{m+K}}{m!\, m^K}\, p_0 \tag{2.120}$$

2.5.12 Sistemas de fila M/M/m

Nesta seção é apresentada uma análise dos sistemas que podem ser modelados através da fila M/M/m, que possui um *buffer* infinito, uma taxa de chegada de usuários (chamadas ou mensagens) constante e um número de servidores finito e igual a m.

Nesta análise da teoria das filas, o processo de chegada de usuários é modelado matematicamente através do modelo exponencial de Poisson e o processo de atendimento dos usuários pelos servidores tem também uma distribuição exponencial. Este modelo tem *m* servidores atendendo a fila de entrada (*buffer*), conforme ilustrado na Figura 2.20 abaixo.

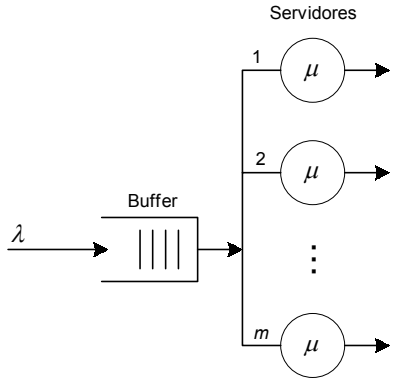

Figura 2.20 Representação esquemática da fila M/M/m.

Todos os *m* servidores possuem o mesmo destino. Cita-se como exemplo prático, o caso de um tronco com vários canais conectando dois nós da rede, qualquer canal pode ser tomado para transmitir a mensagem ao nó vizinho. Aqui novamente assume-se que a taxa de chegada para qualquer estado *n* é constante e igual a λ. Todos os servidores são idênticos, tendo a mesma capacidade de processamento *C*. Para a taxa de serviço, tem-se:

$$\mu_n = n\mu, \qquad 0 \le n \le m \tag{2.121}$$

e

$$\mu_n = m\mu, \qquad n \ge m \tag{2.122}$$

O diagrama de transição de estados da fila M/M/m é mostrado na Figura 2.21, para o qual após *m* usuários, o usuário *m* + 1 se coloca na fila de espera (*buffer*).

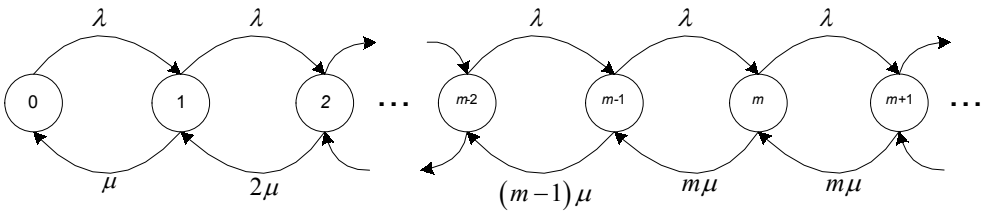

Figura 2.21 Diagrama de transição de estados para filas M/M/m.

Aqui deve-se separar a solução em duas partes, para $n < m$ e $n \geq m$, pois estas apresentam taxas de transição diferentes. Para $n < m$, tem-se:

$$(\lambda + n\mu)p_n = \lambda p_{n-1} + (n+1)\mu p_{n+1}, \qquad 1 \leq n < m \tag{2.123}$$

ou, dividindo-se cada termo por μ:

$$(A + n)p_n = Ap_{n-1} + (n+1)p_{n+1} \tag{2.124}$$

De maneira análoga à derivação feita nas equações (2.31) e (2.32), resolvendo-se a equação (2.124) acima de forma recursiva, obtém-se:

$$p_n = \frac{A^n}{n!}p_0, \qquad 1 \leq n < m \tag{2.125}$$

De maneira similar, para $n \geq m$ tem-se a seguinte equação no equilíbrio estatístico:

$$(\lambda + m\mu)p_n = \lambda p_{n-1} + m\mu p_{n+1} \tag{2.126}$$

ou, dividindo-se todos os termos por μ:

$$(A + m)p_n = Ap_{n-1} + mp_{n+1}, \qquad n \geq m \tag{2.127}$$

Novamente, resolvendo-se recursivamente a equação (2.127) acima tem-se:

$$p_n = \frac{A^n p_0}{m!m^{n-m}}, \qquad n \geq m \tag{2.128}$$

Para se determinar p_0 emprega-se a restrição fundamental da probabilidade, cuja soma deve ser igual a um. Junto com as equações (2.125) e (2.126) obtém-se:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1}\frac{A^n}{n!} + \sum_{n=m}^{\infty}\frac{A^n}{m!m^{n-m}}} \tag{2.129}$$

ou

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1}\frac{A^n}{n!} + \frac{A^m}{m!}\frac{1}{\left(1-\frac{A}{m}\right)}} \tag{2.130}$$

onde empregou-se as relações de somas das séries geométricas[6].

Em seguida, determinam-se as quatro medidas principais de desempenho do sistema: N_q, T_q, T e N. O tamanho da fila é determinado considerando-se $n \geq m$, pois a fila só se forma após todos os m servidores estiverem ocupados. Assim:

$$N_q = E\left[\tilde{N}_q\right] = \sum_{n=m}^{\infty} (n-m)\, p_n \tag{2.131}$$

Como a média corresponde ao centróide (centro de gravidade) da distribuição de probabilidade e a soma é feita de m a infinito, deve-se deslocar n de m para o cálculo da mesma. Fazendo-se a mudança de variável $k = n - m$:

$$N_q = \sum_{k=0}^{\infty} k p_{m+k} \tag{2.132}$$

Usando-se a equação (2.128) tem-se:

$$N_q = \sum_{k=0}^{\infty} k \frac{A^{k+m} p_0}{m! m^k} \tag{2.133}$$

Chega-se então à seguinte equação[7]:

$$N_q = \frac{p_0}{\left(1 - \frac{A}{m}\right)^2} \frac{A}{m} \frac{A^m}{m!} \tag{2.134}$$

Uma vez determinado N_q, tem-se usando a fórmula de Little:

$$T_q = \frac{N_q}{\lambda} \tag{2.135}$$

e

$$N = T\lambda \tag{2.136}$$

onde

---

[6] $\sum_{n=0}^{\infty} x^n = \frac{1}{1-x}, \quad |x| < 1 \quad$ e $\quad \sum_{k=1}^{j} a x^{k-1} = \frac{a(x^j - 1)}{x - 1}, \quad x \neq 1$.

[7] $\sum_{n=0}^{\infty} n x^n = \frac{x}{(1-x)^2}$, se $|x| < 1$.

$$T = T_q + T_s = T_q + E[S] = T_q + \frac{1}{\mu} \tag{2.137}$$

dado que o tempo médio de processamento da mensagem é dado por:

$$E[S] = \frac{1}{\mu} \tag{2.138}$$

2.5.12.1 Fórmula C de Erlang

Como resultado final de interesse em sistemas que podem ser modelados através da fila M/M/m, tem-se o cálculo da probabilidade de que todos os *m* servidores estejam ocupados, de forma que uma nova mensagem entra na fila de espera. Assim, a probabilidade P_e de espera, ou seja, a probabilidade de que todos os *m* servidores estejam ocupados é dada por:

$$P_e = \sum_{n=m}^{\infty} p_n \tag{2.139}$$

Substituindo-se (2.128) em (2.139) obtém-se:

$$P_e = \sum_{n=m}^{\infty} p_0 \frac{A^n}{m! m^{n-m}} \tag{2.140}$$

Re-arranjando a equação (2.140) tem-se:

$$P_e = \frac{p_0}{m! m^{-m}} \sum_{n=m}^{\infty} \left(\frac{A}{m}\right)^n \tag{2.141}$$

ou

$$P_e = \frac{p_0}{m! m^{-m}} \frac{\left(\frac{A}{m}\right)^m}{1 - \frac{A}{m}} \tag{2.142}$$

Por fim, substituindo-se a expressão de p_0 dada por (2.130), chega-se a:

$$P_e = \frac{\frac{A^m}{m!} \frac{1}{1 - \frac{A}{m}}}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{A^n}{n!} + \frac{A^m}{m!} \frac{1}{1 - \frac{A}{m}}} \tag{2.143}$$

ou

$$P_e = \frac{\dfrac{m}{m-A}\dfrac{A^m}{m!}}{\displaystyle\sum_{n=0}^{m-1}\frac{A^n}{n!} + \frac{m}{m-A}\frac{A^m}{m!}} = C = p\left(>0\right) \tag{2.144}$$

As expressões (2.143) e (2.144) são conhecidas como *fórmula C de Erlang* ou *fórmula de atraso de Erlang* ou ainda *fórmula de Erlang de segunda espécie*. Em telefonia, ela nos fornece a probabilidade de ocupação de todos os servidores, ou seja, a probabilidade de que nenhum serviço ou recurso esteja disponível para uma chamada que esteja entrando no sistema com *m* servidores ou recursos. Sendo assim, esta nova chamada ficará alocada no *buffer* à espera de um servidor para ser atendida até um limite máximo pré-estabelecido (*timeout*).

O gráfico da Figura 2.22 ilustra a relação existente entre a probabilidade de espera, isto é, a porcentagem das chamadas oferecidas que precisam aguardar para serem completadas, e a intensidade de tráfego *A*. São apresentadas quatro curvas distintas conforme o número *m* de canais.

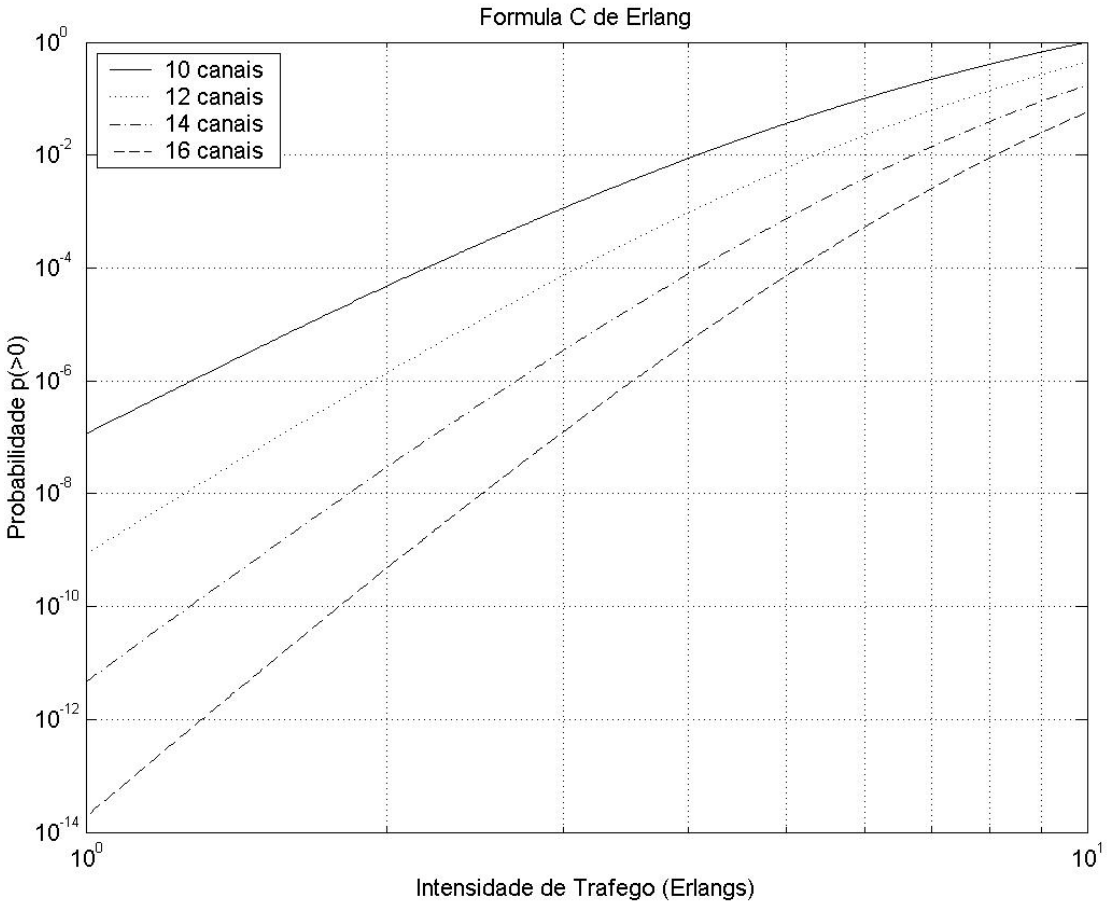

Figura 2.22 Gráfico da probabilidade de espera $p(>0)$ pela intensidade de tráfego.

A probabilidade de que uma chamada fique em espera por mais que um determinado tempo t até se completar a ligação é dada por [4][48]:

$$p(>t) = p(>0)\, e^{-\frac{t}{t_m}(m-A)} \tag{2.145}$$

onde $p(>0)$ é a probabilidade de espera definida pela equação (2.144);

t é o tempo de espera para o atendimento;

t_m é o tempo médio de chamadas;

m é o número de canais ou troncos e

A é a intensidade de tráfego.

A expressão (2.145) fornece a probabilidade $p(>t)$ da espera exceder um certo tempo t, também pode ser definida como a porcentagem das chamadas oferecidas que precisam esperar mais

do que o tempo de duração *t* pelo início do atendimento, ou como a *probabilidade de "excesso de demora"* [48].

O gráfico da Figura 2.23 ilustra a relação existente entre a probabilidade $p(>t)$ que um certo tempo de espera *t* seja excedido, e a razão de tempos t/t_m. São apresentadas quatro curvas distintas para $m = 12$ canais conforme o valor da intensidade de tráfego *A*.

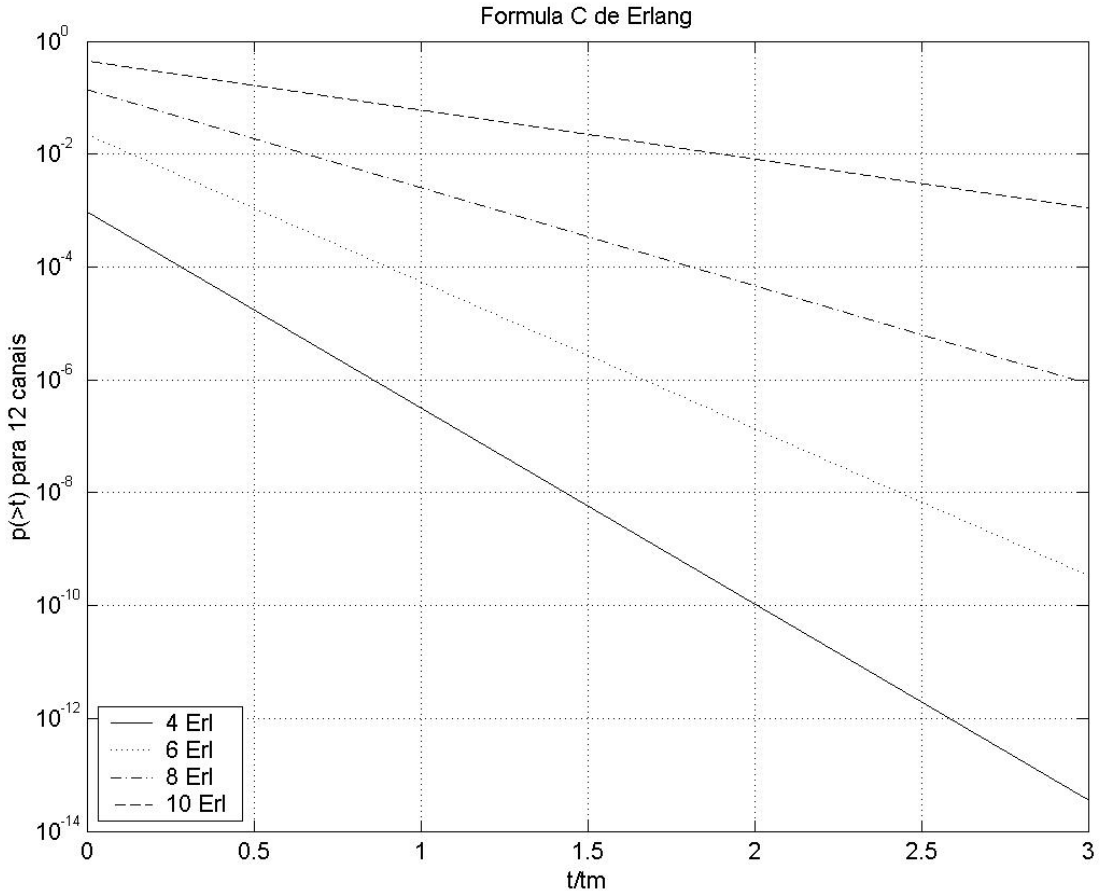

Figura 2.23 Gráfico da probabilidade $p(>t)$ versus t/t_m.

2.6 Retorno de chamadas perdidas

No modo de análise apresentado na seção 2.5.9 (CPE), em que as chamadas perdidas são eliminadas, assume-se que as chamadas perdidas não atendidas nunca retornam. Este modo de análise é razoável quando as chamadas não atendidas transbordam por uma rota alternativa e são normalmente atendidas por outros recursos. Contudo, o modo de análise CPE é também usado em casos onde as chamadas bloqueadas não são atendidas por outros recursos. Em muitos destes casos,

as chamadas bloqueadas ou eliminadas, tendem a retornar ao sistema na forma de uma nova tentativa de chamada.

Na análise de retorno de chamadas perdidas descrita nesta seção, assumem-se três condições fundamentais da natureza das chamadas retornadas:

- toda chamada bloqueada retorna ao sistema e eventualmente são atendidas, mesmo que várias tentativas sejam necessárias;
- os instantes decorridos entre as ocorrências de bloqueio de chamadas e as tentativas de re-chamadas são aleatórios e independentes uns dos outros;
- os tempos de esperas típicos antes que as re-chamadas ocorram é maior do que o tempo de retenção médio das conexões. Esta condição é necessária para que o sistema estabeleça um equilíbrio estatístico, antes que as tentativas de re-chamadas ocorram. Obviamente, se a tentativa ocorrer muito rapidamente, é muito provável que será bloqueada novamente, uma vez que o sistema não teve a chance de se acomodar.

Considerando-se um sistema com taxa média de primeiras tentativas de chamada igual à λ. Se uma porcentagem B das chamadas é bloqueada, então B vezes λ novas tentativas irão ocorrer no futuro. Destas novas tentativas, entretanto, uma porcentagem B estará novamente bloqueada. Continuando desta maneira, a taxa de chegada total λ', após o sistema ter entrado em equilíbrio estatístico, pode ser determinada por meio de uma série infinita [4]:

$$\lambda' = \lambda + B\lambda + B^2\lambda + B^3\lambda + \cdots \tag{2.146}$$

o que corresponde à série geométrica que converge para:

$$\lambda' = \frac{\lambda}{(1-B)} \tag{2.147}$$

dado que B é a probabilidade de bloqueio calculada pela fórmula B de Erlang (2.70) na análise da seção 2.5.9.

O resultado desejado deve ser obtido de forma interativa. Primeiro determine um valor estimado para B usando λ, por meio da fórmula B de Erlang (2.70). Em seguida calcule o valor de λ'. Usando λ', obtenha um novo valor de B e uma atualização de λ'. Continue desta maneira de forma interativa até os valores de λ' e de B sejam obtidos.

2.7 Fontes finitas

Como mencionado nas seções 2.5.2 e 2.5.9, assumem-se distribuições de chegada de Poisson e que as chegadas das chamadas são independentes do número de usuários ativos do sistema. Esta condição pode ser justificada somente quando o número de fontes é muito maior do que o número de servidores. Entretanto, nesta seção são apresentadas algumas relações fundamentais para se determinar as probabilidades de bloqueio nos sistemas onde as chamadas perdidas são eliminadas, porém o número de fontes não é muito maior do que o número de servidores.

2.7.1 Congestionamento temporal

As probabilidades de bloqueio no caso de fontes finitas são sempre menores do que aqueles da análise de sistemas de fontes infinitas vista nos capítulos anteriores, pois a taxa de chagada diminui conforme o número de troncos ou canais ocupados aumenta. Quando consideramos sistemas de fontes finitas, é novamente introduzido o conceito de congestionamento temporal, visto no item 2.5.9.3, que pode ser definido como a porcentagem de tempo em que todos os circuitos em um sistema estejam ocupados. O congestionamento temporal não é necessariamente igual à porcentagem de bloqueio. Antes que o bloqueio ocorra, é necessária uma nova chegada de chamada. Porém, em um sistema com fontes infinitas, estas probabilidades são idênticas.

2.7.2 Caso em que o número de fontes é um pouco maior ao número de servidores

Nesta condição de análise, o número de fontes é maior ao número de servidores, mas não tão maior onde se pode supor que a intensidade de tráfego seja constante. Um modelo diferente deve ser usado, uma vez que não se pode assumir que a intensidade de tráfego seja independente do número de chamadas em progresso, como foi feito nas análises de sistemas com fontes infinitas. O modelo a ser derivado, deve levar em consideração o número de fontes. O modo mais simples de se levar em consideração o estado do sistema é relacionando-se o tráfego oferecido por fonte livre com o número de fontes livres disponíveis. Tem-se então a taxa média de chamadas chegando ao sistema [14]:

$$\lambda_i = \frac{(M-i)\alpha}{t_m} \tag{2.148}$$

onde α é o tráfego por fonte livre;

M é o número total de fontes;

i é o número de chamadas em progresso;

(M - i) é o número de fontes livres e

t_m é o tempo médio de chamadas.

Aplicando-se a condição de equilíbrio estatístico vista em (2.57):

$$\lambda_{i-1} p_{i-1} = \mu_i p_i \tag{2.149}$$

A taxa média de chamadas que deixam o sistema é dada por (2.59):

$$\mu_i = \frac{i}{t_m} \tag{2.150}$$

Calculando-se λ_{i-1} pela equação (2.148) e substituindo-se em (2.149), tem-se:

$$(M - i + 1) p_{i-1} \frac{\alpha}{t_m} = \frac{i}{t_m} p_i \tag{2.151}$$

ou

$$p_i = \frac{M - i + 1}{i} \alpha p_{i-1} \tag{2.152}$$

onde p_i é a probabilidade de que o sistema esteja no estado i. Esta equação permite explicitar:

$$\begin{aligned} p_1 &= M \alpha p_0 \\ p_2 &= \frac{M(M-1)\alpha^2}{2} p_0 \\ &\vdots \end{aligned} \tag{2.153}$$

A seqüência de equações (2.153) pode ser representada de forma genérica como:

$$p_i = \binom{M}{i} \alpha^i p_0 \tag{2.154}$$

onde $\binom{M}{i}$ é a combinação de M objetos dentre i.

Somando-se p_i para todos os estados $0 \leq i \leq N$, onde N são todos os estados possíveis do sistema, e aplicando-se a restrição fundamental de probabilidade cuja soma sobre todos os N estados possíveis deve ser igual a 1:

$$\sum_{i=0}^{N}\binom{M}{i}\alpha^i p_0 = 1 \tag{2.155}$$

ou seja:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{v=0}^{N}\binom{M}{v}\alpha^v} \tag{2.156}$$

onde se substituiu a variável *i* para tornar claro o equacionamento subseqüente.

2.7.2.1 Distribuição de Engset ou distribuição de Bernoulli truncada

Inserindo-se (2.156) em (2.154), tem-se que a probabilidade de que *i* servidores estejam ocupados num sistema com *M* fontes e *N* servidores é dada por:

$$p_i = \frac{\binom{M}{i}\alpha^i}{\sum_{v=0}^{N}\binom{M}{v}\alpha^v} \tag{2.157}$$

A fórmula acima é conhecida como *distribuição de Engest* ou *distribuição Bernoulli truncada*.

A taxa de chamada por fonte livre é dada por:

$$\lambda' = \frac{\lambda_i}{M - i} \tag{2.158}$$

onde, da equação (2.148) tem-se que:

$$\alpha = \lambda' t_m \tag{2.159}$$

Pode-se então reescrever a equação (2.157) onde a probabilidade p_i de que *i* servidores estejam ocupados é dada por:

$$p_i = \frac{\binom{M}{i}(\lambda' t_m)^i}{\sum_{v=0}^{N}\binom{M}{v}(\lambda' t_m)^v} \tag{2.160}$$

onde λ' é a taxa de chamada por fonte livre;

M é o número de fontes e

t_m é o tempo médio de chamadas.

Fazendo-se $i = N$, tem-se a probabilidade de congestionamento temporal, dada por:

$$p_N = \frac{\binom{M}{N}(\lambda' t_m)^N}{\sum_{v=0}^{N}\binom{M}{v}(\lambda' t_m)^v} \tag{2.161}$$

Conforme o conceito apresentado em 2.7.1, para que o bloqueio ocorra é necessário mais uma chamada. A probabilidade de bloqueio em sistemas com chamadas perdidas eliminadas com fontes finitas pode ser calculada a partir de (2.161) para $(M - 1)$ fontes:

$$B = \frac{\binom{M-1}{N}(\lambda' t_m)^N}{\sum_{v=0}^{N}\binom{M-1}{v}(\lambda' t_m)^v} \tag{2.162}$$

Devido à dependência destes termos, é necessário algum tipo de interação semelhante à vista na seção 2.6. Designando-se a atividade média da fonte quando nenhum tráfego é eliminado por $A = \lambda t_m$, que também é conhecido como fator de atividade de fonte não bloqueada; o valor $\lambda' t_m$ pode ser determinado como:

$$\lambda' t_m = \frac{A}{1 - A(1 - B)} \tag{2.163}$$

onde B é a *probabilidade de bloqueio* apresentada pela equação (2.162). Se o tráfego total oferecido é $A_t = MA$, o tráfego efetivamente conduzido é dado por [4]:

$$A_c = MA(1 - B) \tag{2.164}$$

2.7.3 Caso em que o número de fontes é menor ou igual ao número de servidores

Se o número de fontes é menor ou igual do que o número de servidores, um modelo diferente de análise de tráfego deve ser usado porque não se pode supor a intensidade de tráfego independente do número de chamadas em progresso. O modelo agora a ser desenvolvido deve levar em consideração o número de fontes de tráfego do sistema, seguindo-se as mesmas considerações vistas no item 2.7.2. A taxa média de chamadas chegando ao sistema é dada por:

$$\lambda_i = \frac{(M-i)\alpha}{t_m} \tag{2.165}$$

onde α é o tráfego por fonte livre;

i é o número de chamadas em progresso;

M é o número de fontes;

(M - i) é o número de fontes livres e

t_m é o tempo de médio de retenção.

Aplicando-se a condição de equilíbrio estatístico (2.57):

$$\lambda_{i-1} p_{i-1} = \mu_i p_i \tag{2.166}$$

onde a taxa média de chamadas que deixam o sistema é dada por:

$$\mu_i = \frac{i}{t_m} \tag{2.167}$$

Calculando-se λ_{i-1} pela equação (2.165) e substituindo-se em (2.166), tem-se:

$$(M-i+1) p_{i-1} \frac{\alpha}{t_m} = \frac{i}{t_m} p_i \tag{2.168}$$

ou

$$p_i = \frac{M-i+1}{i} \alpha p_{i-1} \tag{2.169}$$

onde p_i é a probabilidade de que o sistema esteja no estado i. Esta equação permite explicitar:

$$\begin{aligned} p_1 &= M\alpha p_0 \\ p_2 &= \frac{M(M-1)\alpha^2}{2} p_0 \\ &\vdots \end{aligned} \tag{2.170}$$

A seqüência das equações acima pode ser representada de forma genérica como:

$$p_i = \binom{M}{i} \alpha^i p_0 \tag{2.171}$$

Somando-se p_i para todos os estados $0 \le i \le M$, uma vez que $M \le N$ são todos os possíveis estados do sistema, e aplicando-se novamente a restrição fundamental de probabilidade de cuja soma sobre todos os N estados possíveis é igual a um, tem-se:

$$\sum_{i=0}^{M}\binom{M}{i}\alpha^i p_0 = 1 \tag{2.172}$$

ou

$$\left[1 + M\alpha + \frac{M(M-1)\alpha^2}{2} + \frac{M(M-1)(M-2)\alpha^3}{3!} + \cdots + \alpha^M\right] p_0 = 1 \tag{2.173}$$

Isolando-se p_0 obtém-se:

$$p_0 = \frac{1}{1 + M\alpha + M(M-1)\frac{\alpha^2}{2!} + M(M-1)(M-2)\frac{\alpha^3}{3!} + \cdots + \alpha^M} \tag{2.174}$$

onde, o denominador da equação (2.174) acima pode ser simplificado pela série matemática, resultando em:

$$p_0 = \frac{1}{(1+\alpha)^M} \tag{2.175}$$

Substituindo-se (2.175) em (2.171), tem-se:

$$p_i = \binom{M}{i}\alpha^i \frac{1}{(1+\alpha)^M} \tag{2.176}$$

Rearranjando-se a equação (2.176) acima, tem-se:

$$p_i = \binom{M}{i}\left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^i \left(1 - \frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^{M-i} \tag{2.177}$$

2.7.3.1 Distribuição de Bernoulli

Pode-se reescrever a equação (2.177) como:

$$p_i = \binom{M}{i} a^i (1-a)^{M-i} \tag{2.178}$$

onde

$$a = \frac{\alpha}{1+\alpha} \tag{2.179}$$

A equação (2.178) acima é conhecida com *fórmula da distribuição de Bernoulli*. Se $M < N$ então não haverá congestionamento temporal uma vez que o estado de N servidores ou troncos

ocupados nunca será atingido, ficando sempre $N - M$ servidores ou troncos livres. Se $M = N$ então o congestionamento temporal é dado por:

$$p_N = a^N = a^M \tag{2.180}$$

Um ponto interessante de se observar é que o congestionamento de chamadas será zero porque não existirá nenhuma chamada chegando quando a rede estiver no estado N, uma vez que todas as fontes estarão ocupadas. A quantidade a expressa pela equação (2.179) é conhecida como o tráfego conduzido por tronco ou servidor.

2.8 Sumário

Neste capítulo é feita uma breve introdução à Rede de Telefonia Pública Comutada e à Rede Digital de Serviços Integrados. Em seguida, faz-se uma introdução à engenharia de tráfego a luz da teoria de filas. Tem-se então as demonstrações da fórmulas B e C de Erlang e suas aplicações na engenharia de tráfego. No próximo capítulo, descreve-se o programa de ensino que utiliza a Internet como meio. Faz-se uma descrição do ambiente de simulação que utiliza o programa Matlab para geração de dinâmica de tabelas e gráficos. Descreve-se os passos para a construção do sistema de simulações via Internet.

Capítulo 3
PROGRAMA DE ENSINO PELA INTERNET

3.1 Introdução

Este capítulo descreve em detalhes o programa de ensino pela Internet, objeto do tema de pesquisa deste trabalho, a ser empregado em aulas de telefonia para o curso de engenharia elétrica ou afins. O projeto compreende duas etapas, na primeira desenvolveu-se um programa de estudo da engenharia de tráfego telefônico, em formato HTML (*HyperText Markup Language*) acessível pela Internet. Numa segunda etapa, desenvolveu-se um *site* interativo para cálculos de sistemas de tráfego telefônico, com geração de gráficos e tabelas.

O ensino e a aprendizagem da engenharia de tráfego é, muitas vezes, difícil de ser conduzido, por tratar de tópicos envolvendo cálculos estatísticos com certo grau de complexidade. Este programa foi desenvolvido visando tornar o assunto mais fácil de ser ministrado e entendido. Ele pode ser usado no estudo de sistemas de tráfego telefônico em aulas pela Internet ou como auxílio em aulas presenciais de telefonia ou afins. Outra possibilidade de utilização do programa encontra-se entre os profissionais que necessitam de cálculos diversos para dimensionamentos em engenharia de tráfego, oferecendo flexibilidade de cálculos, tabelas e gráficos.

3.2 Arquitetura geral

O programa de ensino pela Internet, objeto do tema de pesquisa deste trabalho, é nada mais que a primeira etapa de um projeto maior de EAD a ser implementado. Uma ilustração da arquitetura global deste projeto de EAD pode ser vista na Figura 3.1, onde se destaca a figura de um gerenciador central para conteúdos de EAD. Neste caso particular, citou-se o programa WebCT bem como poder-se-ia utilizar qualquer pacote de software para gerenciamento de cursos a distância pela Internet, tais como Aulanet, TelEduc, etc., conforme visto no item 1.2.1. Este gerenciador faz a administração dos módulos da matéria que será ministrada. Tem-se então:

- Módulo de conteúdo. Aqui se disponibiliza todo o conteúdo didático do curso a ser ministrado. Como o tema das nossas pesquisas foi o ensino da engenharia de tráfego, foi

desenvolvido todo um conteúdo HTML para ser aplicado neste módulo. Também poderiam ser inseridos neste módulo os conteúdos de áudio e vídeo pertinentes ao curso.

- Módulo de avaliação. Neste módulo deve-se implementar os conteúdos dos exercícios, testes e provas, assim como o calendário para suas respectivas aplicações. Aqui estuda-se o desenvolvimento de programas para o traçado do perfil cognitivo do aluno, visando a disponibilização de conteúdos de acordo com o grau de aprendizado.
- Módulo de simulação. Neste módulo são introduzidos os programas de simulações, cálculos, gerações de gráficos e tabelas, assim como programas de animações gráficas bidimensionais e tridimensionais. Como ferramenta básica para a criação dos programas deste módulo têm-se os pacotes matemáticos, tais como o Matlab, o Mathematica, etc., e os pacotes de software para animações e realidade virtual. A nossa maior contribuição para esta arquitetura de EAD foi justamente a implementação do programa calculador de tráfego telefônico, conforme é detalhado nos item subseqüentes.
- Módulo de comunicação. Aqui tem-se todos os sistemas de comunicações disponíveis, tais como o *e-mail*, salas de *chats*, vídeo conferência, etc.

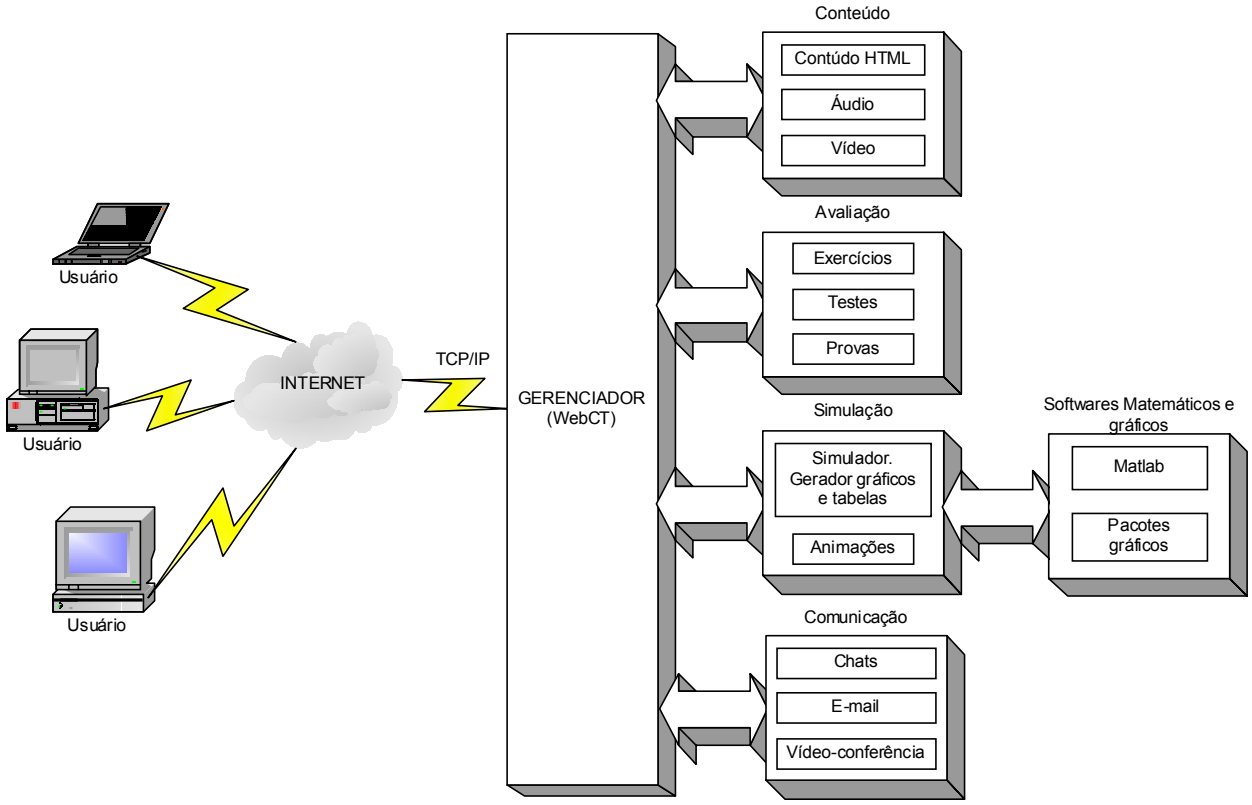

Figura 3.1 Arquitetura global de um projeto de EAD

3.3 O projeto

Este trabalho foi desenvolvido visando enfatizar os aspectos didáticos, muitas vezes em detrimento de um tratamento matemático rigoroso, utilizando-se das tecnologias da Internet para sua implementação. O estudo do tráfego telefônico exige cálculos matemáticos de relativa complexidade e/ou pesquisas em tabelas e gráficos para se obter os resultados procurados. Desenvolveu-se um *site* interativo onde o aluno pode resolver os cálculos necessários auxiliado por gráficos gerados e tabelas pertinentes. Ele busca facilitar a assimilação do conteúdo e dos cálculos necessários à matéria.

Na implementação dos cálculos interativos, o software matemático Matlab foi integrado, associando-se desta maneira todo o poder computacional deste software com a acessibilidade da Internet. O ambiente visual interativo permite disponibilizar a maior variedade de resultados possíveis, na forma de resultados numéricos, gráficos ilustrativos e tabelas. As páginas de cálculo são chamadas através de *hyperlinks* inseridos de maneira estratégica dentro dos tópicos respectivos

do curso. Estas chamadas podem ser feitas em módulos de exercícios, auxiliando na resolução dos problemas propostos.

O sistema, acessível via Internet, pode ser utilizado em aulas a distância ou semipresenciais, assim como ferramenta de auxílio ao professor em aulas de telefonia presenciais.

3.4 A estrutura sistêmica

Na implementação do projeto foi utilizada a arquitetura cliente-servidor, permitindo que o conteúdo das páginas do curso estivesse disponível na Internet. A página para aquisição dos dados, carregada no *browser* do cliente, foi programada em HTML. Os dados são enviados ao servidor HTTP que utiliza o padrão CGI (*Common Gateway Interface*) para que esses dados sejam recebidos e processados pelo Matlab. O Matlab, por sua vez, gera os resultados numéricos, tabelas e gráficos que são estruturados e enviados ao cliente em formato de página HTML, conforme ilustrado na Figura 3.2. O sistema utiliza o protocolo TCP/IP, permitindo o acesso numa rede privada ou Internet.

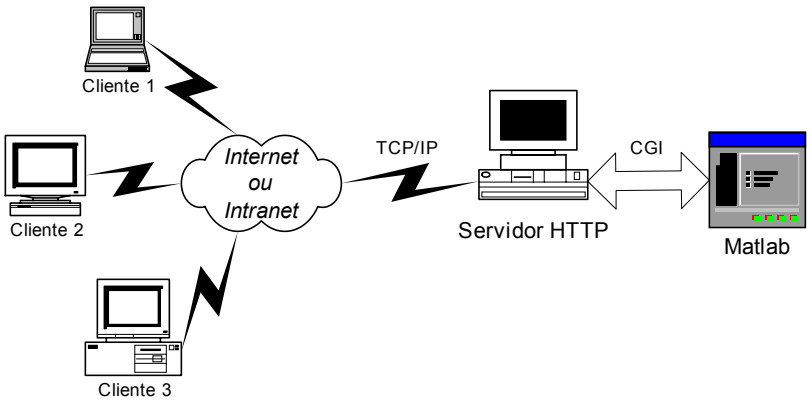

Figura 3.2 Estrutura do projeto.

3.5 O ambiente Matlab Web Server

A estrutura do sistema Matlab Web Server permite que certas aplicações criadas no Matlab utilizem como meio a Internet para o envio de dados para serem processados no Matlab e que o resultado de interesse seja retornado ao usuário. A máquina hospedeira do Matlab Web Server empregada neste projeto é um Pentium 4 de 1,5 GHz de relógio do processador, memória RAM de 256 MB e placa de rede Ethernet de 100Mbps. O sistema operacional utilizado foi o Windows 2000 Server.

Numa configuração simplificada, o servidor HTTP, o programa Matlab Web Server (matlabserver) e o programa Web *server daemon* (httpd) estão instalados todos na mesma máquina, conforme ilustrado na Figura 3.3. O programa Web *server deamon* é carregado automaticamente quando se faz o *boot* no sistema e permanece em *background*, invisível ao usuário. Ele gerencia tarefas referentes aos serviços da Internet, tais como *e-mail*, serviços de rede, protocolo HTTP, etc. Para que o cliente acesse o sistema, deve ter instalado no seu equipamento um software para Web *browser*.

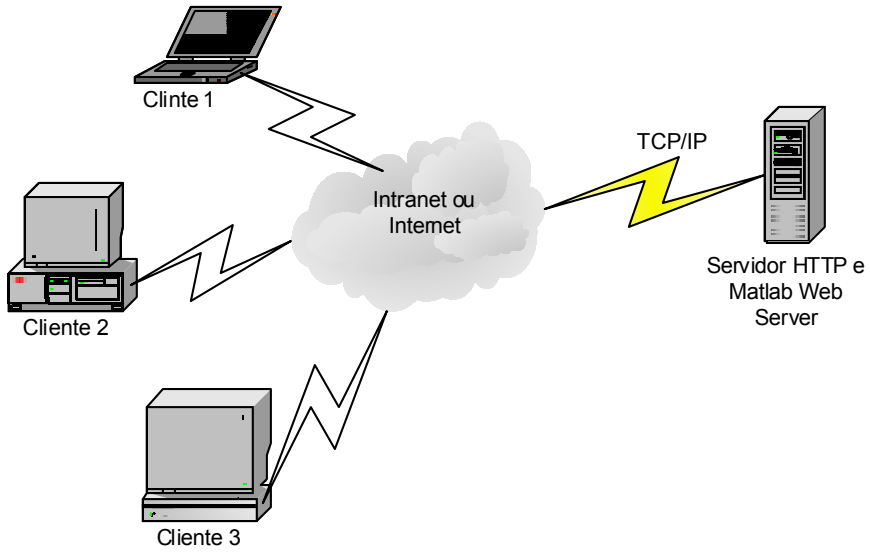

Figura 3.3 Ilustração do sistema operando com um servidor.

Em redes mais complexas, onde se exige maior esforço computacional do servidor HTTP, o programa Matlab e o programa servidor Matlab Web Server podem operar em máquinas separadas, conforme ilustrado na Figura 3.4.

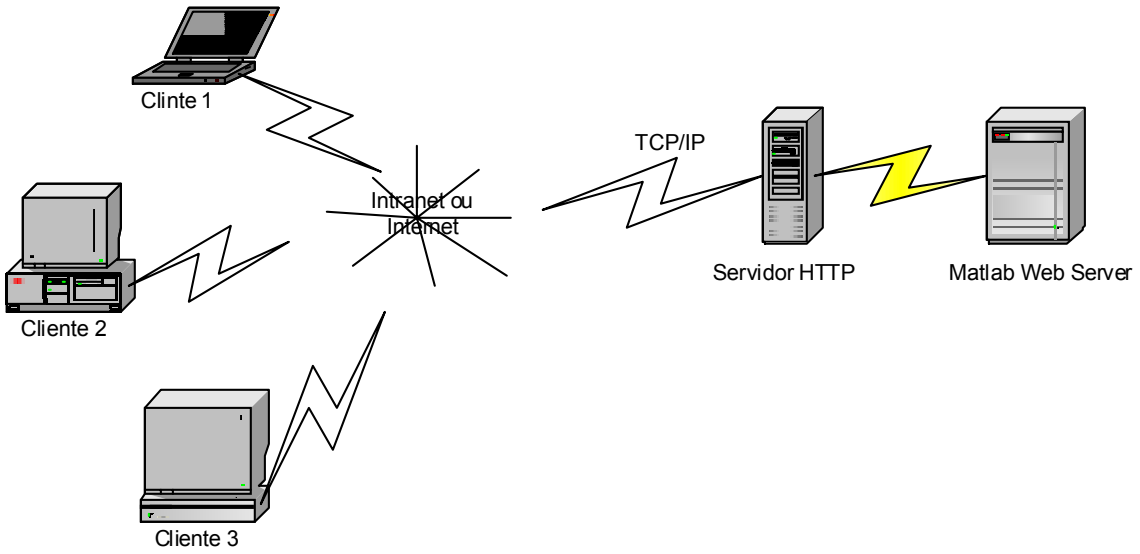

Figura 3.4 Ilustração do sistema operando com servidores independentes.

3.5.1 Componentes do projeto

O sistema projetado utiliza a estrutura do Matlab Web Server, conforme ilustrado na Figura 3.5, que consiste de um conjunto de programas que permitem a criação de aplicativos para acesso via Internet. Esta estrutura pode ser detalhada em termos dos componentes:

- *matlabserver.exe* é um servidor *multithread* TCP/IP. Gerencia a comunicação entre a aplicação Web e o Matlab. Chama o programa *matweb.m* que executa a função *M-file* especificada no campo oculto da página HTML de entrada. Pode ser configurado para atender somente portas TCP/IP previamente especificadas através do arquivo de configuração *matlabserver.conf,* onde também pode ser especificado o número máximo de acessos simultâneos ao sistema;
- *matweb.exe* é um cliente TCP/IP do *matlabserver*. Este programa utiliza uma CGI para extrair dados da página HTML e transferir ao *matlabserver*;
- *matweb.m* chama a função *M-file* que será executada na aplicação Web;
- *matweb.conf* é um arquivo de configurações das aplicações que são necessárias para que o *matweb* se comunique como *matlabserver*. As aplicações devem estar listadas neste arquivo;
- *hosts.conf* provê uma lista de máquinas que estão autorizadas a se conectarem ao Matlab Web Server.

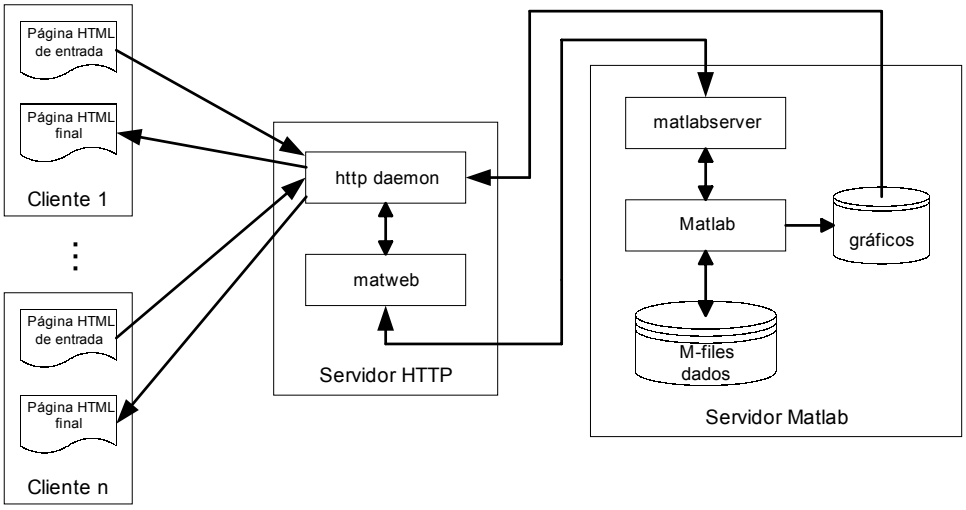

Figura 3.5 Componentes do Matlab Web Server.

3.5.1.1 O arquivo *matlabserver.conf*

Quando o programa *matlabserver* é inicializado, ele procura no arquivo *matlabserver.conf* pelos dados de inicialização. No sistema operacional Windows NT este arquivo de configuração se encontra alocado no subdiretório <matlab>/webserver, onde <matlab> significa o diretório de instalação do programa Matlab. Apresentam-se abaixo as opções básicas para os comandos de inicialização do programa *matlabserver* que devem estar contidas nas primeiras linhas do arquivo *matlabserver.conf*. Os valores *defaut* foram utilizados na aplicação.

- Número da porta (comando –p [n]). Seleciona a porta em que o programa *matlabserver* deve operar. O *default* para este comando é a porta 8888.
- Número máximo de acesso ao Matlab (comando –m [n]). Define o número máximo de usuários que terão acesso simultâneo ao sistema. O *default* para este comando é 1.
- Tempo de espera (comando –o *timeout*). Define o tempo máximo de espera, em segundos, para que sejam executados os cálculos pelo Matlab e seja enviada a página HTML de saída. O *default* para este comando é 300. O valor do *timeout* pode variar de 1 até 32000s.

3.5.1.2 O programa *matweb*

O programa *matweb* é um cliente do programa *matlabserver* que utiliza uma CGI para extrair os dados das páginas HTML de entrada. Ele transfere as informações ao programa *matlabserver*,

que executa as aplicações programadas nas funções *M-files*. O programa *matweb* deve ser executado num servidor Web em que já esteja instalado o programa HTTPD.

3.5.1.3 O arquivo *matweb.conf*

Para a conexão com o programa *matlabserver*, o programa *matweb* necessita das informações de configuração que estão armazenadas no arquivo *matweb.conf*. Cada variável de inicialização deve aparecer em linha separada, seguida pelo símbolo igual (=) e pelo valor da variável. Os aplicativos são delineados por colchetes. Citam-se abaixo os parâmetros mais utilizados:

- Nome do aplicativo (parâmetro [*application*]). Nome do aplicativo que é executado pelo programa Matlab.
- Diretório de trabalho (parâmetro *mldir*). Especifica o diretório onde o programa Matlab, lê e escreve os arquivos de entrada de dados e saída de dados, respectivamente.
- Arquivo de relatório (parâmetro *mllog*). Especifica um arquivo de relatório onde são armazenados todos os dados relativos aos acessos pelos usuários no sistema. São armazenados a identificação do usuário, data e hora do acesso, arquivos utilizados, arquivos gerados, etc.
- Nome do servidor (parâmetro *mlserver*). Especifica o nome do servidor que executa o programa *matlabserver*.
- Número da porta (parâmetro *mlport*). Seleciona a porta em que o programa *matlabserver* deve operar. O *default* para este comando é a porta 8888. Este valor deve corresponder ao número da porta selecionada no arquivo *matlabserver.conf*.
- Tempo de espera (parâmetro *mltimeout*). Define o tempo máximo de espera, em segundos, por uma resposta do programa *matlabserver*. O valor *default* para este parâmetro é 180s.

3.6 Passos para a construção do aplicativo

Conforme já citado, o projeto objeto deste trabalho utiliza a estrutura do Matlab Web Server para a criação do programa calculador de tráfego telefônico. Foram implementadas funções *M-files* do Matlab e programação em HTML, tudo isto combinado com a geração de gráficos e tabelas. O processo de desenvolvimento das aplicações pode ser dividido nos passos:

1) Criação de um documento HTML para aquisição dos dados dos usuários e para apresentação da página com os resultados obtidos.
2) Listagem do nome da aplicação e os dados associados de configuração no arquivo *matweb.conf*.
3) Implementação de funções *M-files* do Matlab que executem os seguintes procedimentos:
    a) receber os dados de entrada no formato enviado pelas páginas HTML;
    b) analisar e processar os dados de entrada gerando os resultados numéricos, tabelas e gráficos pertinentes;
    c) colocar os dados de saída dentro dos padrões da estrutura do Matlab e
    d) chamar a função *htmlrep* para alocar os dados de saída no documento HTML de apresentação dos resultados.

3.7 Criação do aplicativo Web Server

O processo de criação dos aplicativos descritos neste trabalho envolve a criação de:

- um documento HTML para aquisição dos dados e envio dos mesmos ao programa Matlab no servidor;
- um documento HTML de saída para que sejam mostrados os resultados numéricos, as tabelas e os gráficos que eventualmente possam ser criados e
- funções *M-file* do programa Matlab que devem ser implementadas de modo a receberem os dados de entrada provenientes da página HTML inicial, e realizar os cálculos necessários.

3.7.1 Criação da página HTML de entrada

São apresentados a seguir os passos de programação necessários para a implementação das páginas HTML de entrada de dados. Para a criação, elaboração e edição das páginas em HTML utilizaram-se os programas Microsoft FrontPage e Macromedia Dreamweaver UltraDev 4. Quando necessário, utilizou-se de um editor de texto puro para a programação em HTML.

A descrição dos passos de programação é feita de uma maneira genérica podendo ser adaptada a diversos cursos interativos que utilizam simuladores de cálculos. No caso particular deste projeto, foram criados dois modelos de página HTML de entrada diferentes para os sistemas de perda e de atraso, conforme será visto nos itens 4.2.1 e 4.2.2. A Listagem 3.1 apresenta a descrição

dos passos de programação necessários para o implementação da página HTML de entrada de dados.

```
<html>
<body>

<!-- PASSO 1
Escolha do sistema operacional para trabalhar como servidor Web. Neste caso
utilizou-se o Windows 2000 server. Utilizou-se o tag form para a definição deste
parâmetro:
-->

<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">

<!-- PASSO 2
Criação de um campo oculto onde deve ser informado o nome da função Matlab M-file
que irá tratar os dados de entrada. Como exemplo, utilizou-se aqui o nome genérico
"funcao_m" para representar a função M-file.
-->

<input type="hidden" name="funcao_m">

<!-- PASSO 3
Adição do corpo da página HTML. Deve-se introduzir a variáveis para aquisição dos
dados. Como exemplo ilustrativo, temos o seguinte trecho de código:
-->

...
<td>
      <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
            <input type="text" size="8" value="0" name="N">Canais
      <p>Fonte de Tr$aacute;fego(<b>A</b>):
            <input type="text" size="8" value="0.0" name="A">Erlangs
      <p>Probabilidade de Bloqueio(<b>B</b>):
            <input type="text" size="12" value="0" name="B">%<br>
</td>
...

<!-- PASSO 4
Como passo final, após a montagem de todo o corpo da página, inseriu-se um tag
```

```
"submit", que é apresentado ao usuário em forma de um botão, para que sejam
enviados os dados ao servidor.
-->

<p><input type="submit" name="Submit" value="Submeter"></p>
</form>
</body>
</html>
```

Listagem 3.1 Passos de programação necessários para criação da página HTML de entrada

3.7.2 Criação da função M-file

Apresentam-se na Listagem 3.2 a seguir as etapas necessárias para implementação das funções *M-file* do Matlab. Estas funções têm como objetivo receber os dados enviados pela página HTML através do *browser* do usuário, tratar estes dados e retornar os resultados para o documento HTML de saída, que depois será retornado ao *browser* do usuário via protocolo TCP/IP.

Para a criação e a edição dos *scripts M-files* do Matlab utilizou-se o editor de texto puro fornecido pelo próprio programa Matlab. A apresentação será feita de uma maneira reduzida e genérica, uma vez que para cada sistema (de perda ou de atraso) os dados são tratados de maneira diferente pela função do Matlab.

```
function retorna_string = funcao_m(dados_enviados)
% PASSO 1
% Inicialização da string de retorno.
retorna_string = char(' ');

% PASSO 2
% Definição do diretório de trabalho para armazenamento dos
% arquivos de gráficos e outros que se fizerem necessários.
cd(dados_enviados.mldir);

% PASSO 3
% Definição de um identificador único para a geração dos
% arquivos gráficos no formato JPEG.
mlid = getfild(dados_enviados.mlid);

% PASSO 4
% Eliminação dos arquivos JPEG com mais de uma hora de criação.
```

```
wscleanup('ml*tra.jpeg', 1);

% PASSO 5
% Recuperação dos valores das variáveis enviadas pela página HTML.
N = str2double(dados_enviados.N);
A = str2double(dados_enviados.A);
B = str2double(dados_enviados.B);

% PASSO 6
% Aqui são feitos os cálculos computacionais necessários,
% geração de gráficos e tabelas e chamadas às subrotinas
% para cálculos de valores pertinentes referentes às formulas
% de tráfego de telefonia.
...
blo = BL(N, A);
saida.vars1 = BL(N, A) *100;
...
saida.vars2 = CAN(B, A);
...
saida.vars3 = TRA(B, N);
...

% PASSO 7
% Estruturação das variáveis de saída, que serão apresentadas
% na página HTML de retorno ao usuário.
...
saida.can = N;
saida.tra = A;
saida.tipo1 = 'A probabilidade de bloqueio';
saida.tipo2 = '%';
...

% PASSO 8
% Gravação dos gráficos gerados em formato JPEG, que é um
% dos padrões MATLAB® para a geração de imagens, nos diretórios
% pré-estabelecidos.
drawnow;
saida.Grafico1 = sprintf('%stra.jpeg', mlid);
wsprintjpeg(f, saida.Grafico1);
saida.Grafico1 = sprintf('/icons/%stra.jpeg', mlid);
...
```

```
% PASSO 9
% Neste passo final, chama-se a função htmlrep para salvar as
% variáveis no arquivo HTML de saída.
templatefile = which('arquivo_saida.html');
retorna_string = htmlrep(saida, templatefile);
```

Listagem 3.2 Passos para implementação das funções Matlab *M-file*.

3.7.3 Criação da página HTML de saída

Na Listagem 3.3 a seguir, é feita uma descrição genérica da programação da página HTML de saída que é apresentada ao usuário contendo o resultado dos cálculos numéricos, as tabelas e os gráficos.

```
<html>
<body>
<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">
<!-- PASSO 1
Introdução das linhas de código gerais com a adição de eventuais figuras, quadros,
caracteres, e demais itens que se fizerem necessário para a visualização da página.
-->
...
<td width="11%">
      <div align="right">
            <img src="logo_unicamp.jpg" width="60" height="68">
      </div>
</td>
...

<!-- PASSO 2
Introdução das variáveis que serão calculadas pelo MATLAB® e retornadas à esta
página.
-->
...
<td>
      <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
            <input type="text" size="8" value="$can$" name="N">Canais
      <p>Fonte de Tr&aacute;fego(<b>A</b>):
            <input type="text" size="8" value="$tra$" name="A">Erlangs
      <p>Probabilidade de Bloqueio(<b>B</b>):
```

```
                <input type="text" size="12" value="$b1$" name="B">%<br>
    </td>
    ...

    <!-- PASSO 3
    Introdução dos gráficos e tabelas gerados pelo MATLAB®.
    -->
    ...
    <p align="center">
          <img border=0 src="$Grafico1$">
    </p>
    …
    </form>
    </body>
    </html>
```

Listagem 3.3 Passos necessários para criação da página HTML de retorno de dados

3.8 Sumário

Este capítulo descreve o programa de ensino desenvolvido para a Internet como meio. Faz-se uma descrição do ambiente de simulação que utiliza o programa Matlab para geração dinâmica de tabelas e gráficos. Descrevem-se os passos para a construção do sistema de simulações via Internet. O próximo capítulo descreve a interface do programa de ensino com o usuário. Ilustra-se, através de exercícios propostos, a utilização do programa para simulações, geração de gráficos e tabelas.

Capítulo 4
UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA DE ENSINO

4.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se, como exemplos ilustrativos, situações práticas do uso do programa de ensino de engenharia de tráfego e resoluções através do programa calculador de tráfego telefônico, acessível pela página da Internet citada na referência [37].

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa foi a implementação de um programa computacional para realizar cálculos, gerar gráficos e tabelas, utilizando de softwares matemáticos existentes, tudo isto *on-line* e inserido dentro de um contexto de um curso a distância via Internet. Embora existem alguns *sites* comerciais na Internet [59] que disponibilizam calculadores de tráfego com base nas fórmulas de Erlang, estes não são adequados ao escopo do EAD.

4.2 Funções e interface visual

O programa calculador de tráfego telefônico possui dois módulos básicos. O primeiro módulo é utilizado em sistemas de perdas ou bloqueio e o segundo é utilizado em sistemas de espera ou de atraso. Apresenta-se na Figura 4.1 a página HTML com os *links* que acessam o programa calculador de tráfego telefônico. Nesta página propõem-se exercícios práticos ao aluno que poderá fazer uso do programa calculador de tráfego telefônico para as resoluções.

Figura 4.1 Página HTML com os *links* de acesso ao programa calculador de tráfego telefônico.

4.2.1 Sistemas de bloqueio ou perda

A Figura 4.2 ilustra a página Web inicial para sistemas de bloqueio ou perda, onde se emprega a fórmula B de Erlang, definida no item 2.5.9.3. A página permite a aquisição de dados, o aluno fornece duas variáveis dentre as três possíveis: número de canais (*N*), fonte de tráfego (*A*) e probabilidade de bloqueio (*B*), e escolhe a incógnita que será calculada pelo sistema.

Figura 4.2 Página Web inicial para aquisição de dados nos sistemas de perda.

Para que seja ilustrado o potencial da utilização do programa para a resolução dos problemas envolvendo a engenharia de tráfego, apresentam-se a seguir, alguns exercícios propostos e suas respectivas resoluções.

4.2.1.1 Exercício 1: Cálculo do número de canais

Neste caso particular, toma-se como exemplo o primeiro exercício proposto na página HTML ilustrada pela Figura 4.1. O exercício propõe o cálculo do número de canais ou troncos, uma vez fornecidas a fonte de tráfego A = 33 Erlangs e a probabilidade de bloqueio B = 0,005. O usuário deve então completar os campos de entrada de dados, conforme ilustrado na Figura 4.2 e escolher a incógnita, no caso o número de canais (N).

A Figura 4.3 ilustra a página Web de retorno ao usuário, contendo o resultado numérico da incógnita escolhida, que neste caso particular fornece o valor do número de canais ou troncos (N = 47), inclusive probabilidade de bloqueio (B) pelo gráfico da intensidade de tráfego (A). Neste gráfico são traçadas quatro curvas distintas, com números distintos de canais ao redor do número de canais fornecido ou calculado. A implementação deste gráfico traz uma ajuda visual importante para o aluno, uma vez que somente o resultado numérico é insuficiente para situá-lo num universo grande de resultados estatísticos próximos possíveis. Neste exemplo, a visualização do gráfico fornece uma

ajuda valiosa para interpretação do comportamento do sistema proposto. Por exemplo, o comportamento do sistema para probabilidades de bloqueio maiores, mantendo-se os 47 canais calculados, nota-se que para 0,1 de probabilidade de bloqueio, tem-se aproximadamente uma intensidade de tráfego de 45 Erlangs; para 0,2 de probabilidade de bloqueio, tem-se aproximadamente 55 Erlangs de intensidade de tráfego; para 0,5 de probabilidade de bloqueio, tem-se aproximadamente 92 Erlangs de intensidade de tráfego. Pode-se, em contrapartida, analisar o comportamento do sistema mantendo-se a probabilidade de bloqueio fixa, em por exemplo 0,1, e variando-se o número de canais. Nota-se então, no gráfico da Figura 4.3 que para 47 canais, 56 canais, 65 canais e 74 canais, tem-se aproximadamente, 45 Erlangs, 56 Erlangs, 65 Erlangs, 75 Erlangs, respectivamente.

Figura 4.3 Página final para o sistema de perdas.

Vale ressaltar o alto grau de interatividade do sistema, uma vez que o usuário pode modificar os dados de entrada, obtendo tantos resultados quanto desejados. Na página de retorno ilustrada pela Figura 4.3, também é apresentada uma tabela da probabilidade de bloqueio por número de canais,

que fornece os valores da intensidade de tráfego medida em Erlang. A elaboração dinâmica desta tabela se enquadra dentro dos resultados numéricos colhidos pelo servidor. Ela facilita a consulta e dispõe vários resultados próximos visando facilitar a solução do problema. Vale observar que na tabela de tráfego que é mostrada no calculador de tráfego telefônico, na coluna de probabilidade B = 0,005 tem-se 32,5173 Erlangs para N = 46 canais e 33,3811 Erlangs para N = 47 canais. Assim para uma carga de 33 Erlangs escolhe-se um mínimo de 47 canais de serviço. Pode-se observar na tabela que, utilizando-se os 47 canais de serviço e mantendo-se a carga oferecida em 33 Erlangs, a probabilidade de bloqueio pode ser de até 0,006. Esta tabela ajuda o projetista nos cálculos sistêmicos fornecendo uma visualização dos resultados possíveis em torno do valor calculado inicialmente.

4.2.1.2 Exercício 2: Cálculo da probabilidade de bloqueio

Ilustra-se agora através da Figura 4.4 um exemplo onde o usuário deve calcular a probabilidade de bloqueio para um sistema com disponibilidade de 25 troncos e uma intensidade de tráfego de 22,5 Erlangs.

Figura 4.4 Página de entrada para cálculo da probabilidade bloqueio.

O programa Calculador de Tráfego Telefônico gera a página HTML de retorno, conforme ilustrado na Figura 4.5. O valor da probabilidade de bloqueio calculado é de 0,0935627. Qual seria o valor da probabilidade de bloqueio se aumentássemos o número de canais passando o valor da intensidade de tráfego para 40 Erlangs? Pode-se ter uma noção desta situação observando o gráfico apresentado na Figura 4.5. Nota-se que para 25 canais, 30 canais, 35 canais e 40 canais, tem-se aproximadamente 0,4; 0,3; 0,2 e 0,11 para os valores respectivos da probabilidade de bloqueio. Qual seria a máxima intensidade de tráfego possível se fosse aumentada para 0,15 a probabilidade de bloqueio mantendo-se o número de canais? Visualizando-se a tabela gerada pela página de retorno, fica fácil ao usuário encontrar a resposta. Nota-se que alterando-se a probabilidade de bloqueio para 0,15, o valor máximo da intensidade de tráfego passa a ser de aproximadamente 25,5 Erlangs. Para se calcular o valor exato para a intensidade tráfego (A = 25,2982 Erlangs), basta o usuário entrar com os valores e submeter um novo pedido de cálculo.

Observa-se a facilidade que o usuário tem na otimização sistêmica, através do uso de resultados numéricos, gráficos e tabelas geradas, evitando-se assim interpolações e cálculos necessários para se atingir os resultados esperados quando são utilizados os métodos tradicionais de projeto de engenharia de tráfego, onde normalmente são empregados diversas tabelas.

Figura 4.5 Página de retorno para o cálculo da probabilidade de bloqueio

4.2.2 Sistemas de atraso ou espera

A Figura 4.6 ilustra a página da Internet inicial para aquisição dos dados do módulo de simulação de sistemas de espera, onde se propõe ao aluno o cálculo da probabilidade de excesso de

demora $P(>t)$ com o tempo de aguardo para o atendimento t maior do que zero. Este módulo utiliza a fórmula C de Erlang definida no item 2.5.12.1 como base para os cálculos.

Figura 4.6 Página Web de aquisição de dados para sistemas de espera.

Na página apresentada ao usuário e ilustrada na Figura 4.6, deve-se fornecer os dados necessários para o processamento do cálculo, tais como: número de canais de saída (N), intensidade de tráfego (A), tempo de espera para o atendimento da chamada (t) e tempo médio de chamadas (t_m).

4.2.2.1 Exercício 3: Cálculo da probabilidade de excesso de demora

Ilustra-se agora um exemplo do uso do programa Calculador de Tráfego Telefônico para a resolução de um problema proposto para um sistema de espera. Toma-se como exemplo a Figura 4.6 onde são dados o número de canais (N = 125 canais), a intensidade de tráfego (A = 123 Erlangs), o tempo de espera para o atendimento da chamada (t = 3s) e o tempo médio de chamadas (t_m = 1s). Propõe-se que seja calculada a probabilidade de excesso de demora do sistema proposto.

Na página HTML de retorno ilustrada na Figura 4.7, apresenta-se o valor calculado da probabilidade de excesso de demora $P(>t)$ = 0,0019748, o que significa que, para este sistema em questão, 0,19% das chamadas devem aguardar mais do que 3s para seu atendimento. Alternando-se valores da intensidade de tráfego, como ficaria o valor da probabilidade $P(>t)$? Neste caso, o usuário

pode fazer uso do gráfico de $P(>t)$ versus t/t_m, com quatro diferentes curvas traçadas para diversos valores de intensidade de tráfego. Este gráfico é importante para que o projetista visualize tendências de valores ao redor do resultado calculado. Os gráficos mostram que conforme a fonte de tráfego diminui (para 75, 50 e 25 Erlangs) a probabilidade $P(>t)$ reduz drasticamente a zero. Fica claro ao projetista, quando visualiza o gráfico, que para valores de fonte de tráfego muito abaixo do valor do número de canais, a probabilidade $P(>t)$ tende a zero, flexibilizando visualmente a otimização dos resultados esperados. Qual seria o acréscimo na intensidade de tráfego se alterássemos o número de canais N para 135 e $P(>t)$ para 0,005? Para auxiliar o usuário na resolução deste problema, exibe-se também uma tabela da intensidade de tráfego que o ajuda a situar-se entre valores numéricos que podem ser interessantes aos cálculos. Observando-se a tabela da Figura 4.7 tem-se que o valor da intensidade de tráfego passaria a ser de 133,29 Erlangs.

Figura 4.7 Página de retorno com os dados para $t > 0$.

4.2.2.2 Exercício 4: Cálculo da probabilidade de espera

Assume-se agora o caso particular em que $t = 0$, o que fornece o tempo de espera para o atendimento igual a zero segundos. Nesta condição, o programa retorna o cálculo da probabilidade das chamadas oferecidas que precisam aguardar para serem completadas. Propõe-se ao aluno o cálculo da probabilidade de espera $P(>0)$ para o caso de 85 canais e 70 Erlangs de intensidade de tráfego, conforme ilustrado na Figura 4.8. O sistema responderá com o valor da probabilidade de espera $P(>0) = 0{,}0539601$, mais dois gráficos simulando curvas nas faixas de valores próximos aos dados de entrada. O primeiro gráfico fornece a curva da probabilidade $P(>t)$ versus t/t_m, calculada para os números de canais de entrada, resultando em quatro curvas de intensidade de tráfego. O segundo gráfico fornece a curva da probabilidade $P(>0)$ versus a intensidade de tráfego, apresentando quatro curvas para números diferentes de canais de entrada.

Alterando-se a intensidade de tráfego para 60 Erlangs, qual seriam os valores da probabilidade de espera para 85 canais, 102 canais e 119 canais? Observando-se o segundo gráfico apresentado na Figura 4.8, tem-se para 85 canais, 102 canais e 119 canais os seguintes valores aproximados para $P(>0)$ de 10^{-3}, 10^{-7} e 10^{-11} respectivamente.

Figura 4.8 Página de retorno para os sistemas de espera com $t = 0$.

4.3 Sumário

Este capítulo descreve a interface do programa de ensino com o usuário. Ilustra-se, através de exercícios propostos, a utilização do programa para as simulações, geração de gráficos e tabelas. Ilustra-se a utilização do programa nos sistemas de bloqueio e de espera. O próximo capítulo apresenta uma conclusão deste trabalho com as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 5
CONCLUSÃO

O ensino a distância via Internet vem trazer um novo paradigma pedagógico que deve ser estudado mais a fundo, independentemente da área de ensino. Surge como uma modalidade de ensino/aprendizado com potencial para se instalar e até revolucionar os meios acadêmicos. A evolução da rede Internet e o aprimoramento de ferramentas computacionais modernas voltadas à Web pavimentam o caminho deste novo modelo de ensino. Neste sentido, esta dissertação descreve uma contribuição para a utilização dos meios que a Internet nos oferece para a atuação na área do ensino a distância, com uma abordagem de interesse ao ensino/aprendizado da engenharia de tráfego.

No capítulo 1 faz-se uma introdução resumida a respeito do ensino a distância. Abordam-se temas como as ferramentas mais comumente utilizadas na preparação de materiais didáticos a serem utilizados via Internet. Faz-se uma ligeira análise de como anda o ensino a distância via Internet pelo mundo e especificamente no Brasil. Abordam-se algumas vantagens e desvantagens na implementação de cursos a distância via Internet e justificativas para a nossa decisão da escolha da preparação do curso pela Web. Citam-se também alguns requisitos mínimos necessários, por parte dos tutores e dos alunos, para implantação de cursos a distância.

No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica a respeito da teoria envolvendo a engenharia de tráfego. Começa-se com uma introdução aos sistemas de telefonia existentes para situar o leitor no contexto do tema da engenharia de tráfego. Tem-se então uma introdução às definições de intensidade de tráfego e estatísticas de Poisson. Estuda-se uma introdução às teorias de filas, uma vez que os sistemas de telefonia podem ser modelados matematicamente pela teoria de filas. Procura-se introduzir de uma maneira clara e didática as fórmulas de Erlang. Dá-se ênfase à fórmula B de Erlang, utilizada para o modelamento de sistemas de perda, e à fórmula C de Erlang, utilizada nos sistemas de espera. Apresentam-se também as distribuições de Engset e de Bernoulli, utilizadas quando não se pode supor o número de fontes de tráfego infinito.

No capítulo 3 faz-se uma apresentação do sistema desenvolvido. Apresenta-se a estrutura sistêmica do projeto. Aborda-se os passos para a criação do programa de ensino via Internet. Mostra-se a programação HTML feita onde através de *hyperlinks* são ativados os módulos do Calculador de Tráfego Telefônico. Mostra-se a utilização do programa matemático Matlab como suporte necessário aos cálculos matemáticos, geração de tabelas e gráficos. Descreve-se a programação necessária das funções do Matlab e das páginas HTML de coleta dos dados e da apresentação dos resultados.

No capítulo 4 apresentam-se exemplos de utilização prática do programa Calculador de Tráfego Telefônico. Tem-se uma descrição de como o aluno utilizará o programa para os cálculos nos sistemas de perda, o que utiliza a fórmula B de Erlang para o cálculo da probabilidade de bloqueio, do número de canais ou da intensidade de tráfego. Descreve-se também a apresentação e o uso dos gráficos e tabelas. Enfim, apresentam-se os sistemas de espera, onde se utiliza a fórmula C de Erlang para os cálculos pertinentes.

Como conclusões deste trabalho, observou-se que a integração de um software matemático, tal como o Matlab, nos sistemas de EAD facilita o desenvolvimento de simuladores específicos ao tema de estudo, facilita a geração de gráficos e tabelas. Pacotes matemáticos deste tipo disponibilizam um grande acervo de funções matemáticas genéricas e específicas para diversas áreas de conhecimento. Observa-se também que a elaboração do material didático, como o desenvolvido neste trabalho, demanda muito tempo e dedicação, exigindo maior esforço quando comparado a elaboração de um livro didático tradicional.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Esta seção apresenta algumas sugestões para continuidade do trabalho:

- A preparação e implementação do material didático em módulos HTML e a preparação do programa Calculador de Tráfego Telefônico demandou grande parte do tempo disponível do programa de mestrado. Não foi possível assim, pela falta de tempo, a utilização do programa num ambiente real, com seu uso por alunos e aprendizes, o que é de fundamental importância para que sejam colhidas opiniões a respeito do sistema e assim introduzir modificações necessárias para o aperfeiçoamento do ponto de vista pedagógico. Fica então como sugestão, talvez até como outro trabalho de mestrado, a

continuação destes estudos com a aplicação prática do sistema, criando-se assim condições positivas para avaliação do programa junto aos alunos.

- Outra sugestão seria a implementação de módulos de avaliação junto aos módulos de exercícios no Calculador de Tráfego Telefônico. Seriam então introduzidos exercícios específicos, que poderiam ser do tipo objetivo, onde se poderiam avaliar respostas em testes de múltiplas escolhas. Destarte, se estaria enriquecendo ainda mais o programa, estimulando o aluno à utilização do mesmo para a resposta aos exercícios, que inclusive poderiam estar relacionados com a teoria abordada nos módulos teóricos.
- Outra sugestão seria o aperfeiçoamento da interface visual com o usuário. Poder-se-ia utilizar ferramentas computacionais voltadas à programação para Internet, tais como JAVA, PHP, C#, FLASH, etc., para a criação de uma interface gráfica com o usuário, onde um ambiente de interação gráfico poderia trazer um maior estímulo na apresentação dos conceitos, tornando o sistema mais agradável de ser utilizado.
- Outra sugestão seria a utilização de ferramentas computacionais para a implementação de simulações interativas, onde se poderia utilizar da realidade virtual, que abriria as portas de um ambiente com potencialidades surpreendentes.
- Outra sugestão seria nos aprofundarmos no assunto engenharia de tráfego, estudando-se as demais expressões da engenharia de tráfego, bem como suas aplicações às comunicações móveis e aos sistemas de redes de computadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AulaNet. Disponível em <http://anauel.cead.puc-rio.br/aulanet/index.html>. Acesso em: 13 jan. 2002.

[2] BARCELLOS, G. C.; BARANAUSKAS, M. C. C. "Interfaces para Comunicação Eletrônica e o Contexto da Criança", Anais do XIX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação, vol. 01, pp. 770-785, jul., 1999.

[3] BARKER, P.; MANJI, K. "Computer-based Training: An Institutional Approach", Education & Computing, vol. 8, pp. 229-237, 1992.

[4] BELLAMY, J. "Digital Telephony", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

[5] BENETAZZO, L. et al. "A Web-Based Distributed Virtual Educational Laboratory", IEEE Transactions on Instrumentation and Measuremente, vol. 49, no. 2, pp. 349-356, Abr., 2000.

[6] BOUCHER, B. R. "Traffic System Design Handbook: Timesaving Telecommunication Traffic Tables and Programs", IEEE Communications Society, IEEE Press, 1993.

[7] CARLSON, P. A. "New Metaphors for Electronic Text", 1991.

[8] CASTRO, M. A. S. "Pesquisa científica e os novos ambientes eletrônicos", Catálogo eletrônico da 48ª reunião anual da SBPC, PUC-SP, jul., 1996.

[9] CASTRO, M. A. S. et al. "Infra-estrutura de Suporte à Editoração de Material Didático Utilizando Multimídia", Departamento de Ciências de Computação e Estatística – ICMSC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

[10] CHAIBEN, H. "Hipermídia na Educação", Universidade Federal do Paraná, 1997. Disponível em <http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/hed/hed.htm>. Acesso em 20 ago. 2001.

[11] CHAVES, E. O. C. "Tecnologia na Educação, Ensino a Distância, e Aprendizagem Mediada pela Tecnologia: Conceituação Básica". Disponível em <http://www.edutecnet.com.br/Textos/Self/EDTECH/EAD.htm>. Acesso em 15 mar. 2002.

[12] CHU, K. C. "The Development of a Web-Based Teaching System for Engineering Education", Engineering Science and Education Journal, pp. 115-118, jun., 1999.

[13] CLARK, M. P. "Networks and Telecommunications: Design and Operation", John Wiley & Sons Ltd., 1991.

[14] DUNLOP, J.; SMITH, D. G. "Telecommunications Engineering", Second Edition, Van Nostrand Reinhold, 1989.

[15] EKLUND, J. "Cognitive Models for Structuring Hypermedia and Implications for Learning from de World-Wide Web", 1995. Disponível em <http://elmo.scu.edu.au/sponsored/ausweb/ausweb95/papers/hypertext/eklund/index.html> Acesso em 15 jan. 2001.

[16] FELLER, W. "An Introduction to Probability Theory and Its Applications", Wiley, New York, 1968.

[17] FIDERIO, J. "A Grand Vision – Hypertext Mimics the Brain's Ability to Access Information Quickly and Intuitively by Reference", Byte Magazine, vol. 13, no. 10, pp. 237-244, out., 1988.

[18] GROSS, D.; HARRIS, C. M. "Fundamentals of Queueing Theory", Second Edition, John Wiley & sons, 1985.

[19] HECK, B. S.; POINDEXTER, S. E.; GARCIA, R. C. "Integrating the Web into Tradicional Teaching Methods", Proceedings of the American Control Conference AACC, pp. 3444-3448, jun., 2000.

[20] JONASSEN, D. H. "Designing Structured Hypertext and Structuring Access to Hypertext", Educational Technology, pp. 13-16, nov., 1988.

[21] JUSTIFINIANI, A. M. "La Educacion a Distancia, uma Estrategia para los Paises em Vias de Desarrollo: el Modelo Cubano", INED, vol. 3, no. 6, pp. 14-18, nov., 1994.

[22] KEARSLEY, G. "A Guide to Online Education", Fischler Center for the Advancemente of Education, Nova Southeastern University. Disponível em <http://www.fcae.edu/~kearsley/online.html>. Acesso em: 23 set. 2001.

[23] KEISER, G. E. "Local Area Networks", Mc Gran-Hill, 1989.

[24] KENDALL, D. G. "Some Problems in the Theory of Queues", J. Roy. Statis. Soc., series B, vol. 13, pp. 151-185, 1951.

[25] KERCKHOVE, D. "Inteligencias en Conexión: Hacia una Sociedade de la Web", Gedisa Editorial, 1999.

[26] KLEINROCK, L. "Queueing Systems", vol. I Theory, John Wiley & Sons, 1975.

[27] LANDIM, C. "Conceitos Sobre Educação Aberta Continuada e à Distância". Disponível em <http://www.cciencia.ufrj.br/educnet/conceitd.htm>. Acesso em: 12 mar. 2002.

[28] Learning Space. Disponível em <http://www.lotus.com/home.nsf/tabs/learnspace>. Acesso em: 03 fev. 2001.

[29] LEITE, L. S. "Temas e Questões Estratégicas para o Desenvolvimento da EAD". Disponível em <http://www.intelecto.net/desenvolvimento_ead.htm>. Acesso em: 02 abr. 2002.

[30] LEVY, P. "O que é Virtual?", Editora 34, 1996.

[31] LEVY, P. "A Máquina Universo: Criação, Cognição e Cultrua Informática", Editora Artmed, 1998.

[32] LEVY, P. "A Inteligência Coletiva: Por uma Antropologia do Ciberespaço", Edições Loyola, 1998.

[33] LEVY, P. "Cibercultura", Editora 34, 1999.

[34] LITTLE, J. D. C. "A Proof of the Queueing Formula L = λW", Operation Research, vol. 9, pp. 383-387, 1961.

[35] The MathWorks, Inc., "Matlab Web Server", set., 2000.

[36] MAYES, J. T.; KIBBY, M.; ANDERSON, T. "Learning About Learning from Hypertext", Jonassen & Mandl, 1992.

[37] MELO, L. F.; MELONI, L. G. P. "Programa Calculador de Tráfego Telefônico". Disponível em <http://www. decom.fee.unicamp.br/~meloni/educat/telephony.htm>.

[38] MELO, L. F.; MELONI, L. G. P. "Ensino de Engenharia de Tráfego Através da Internet". Colabora - Revista Digital da CVA-RICESU, vol. 1, Nr. 04, 6 págs. <http://www.ricesu.com.br/colabora/>. set. 2002.

[39] MICHAELIS, "Moderno Dicionário da Língua Portuguesa". Disponível em <http://www.uol.com.br/michaelis>. Acesso em 15 fev. 2002.

[40] MINA, R. R. "Introduction to Teletraffic Engineering", Telephony Publising Corporation, 1974.

[41] MINOLI, D. "Broadband Network Analysis and Design", Artech House, Inc., 1993.

[42] NAVES, C. H. T. "Educação Continuada e a Distância de Profissionais da Ciência da Informação no Brasil via Internet", Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.

[43] NOLL, A. M. "Introduction to Telephones & Telephone Systems", Second Edition, Artech House, Inc., 1991.

[44] NORMAN, A. D.; SPOHRER, J. C. "Learner-centred education", Communications of the ACM, 39 (4), 24-27, 1996.

[45] PERRITT JR., H. H. "The Internet Revolution in Law: Teaching in New Ways", IEEE IT Pro, pp. 40-44, dez., 2000.

[46] SCHWARTZ, M. "Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis", Addison-Wesley Publishing Company, 1987.

[47] SEPE, R. B.; SHORT, N. "Web-Based Virtual Engineering Laboratory (VE-LAB) for Collaborative Experimentation on a Hybrid Electric Vehicle Starter/Alternator", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, no. 4, pp. 1143-1150, ago., 2000.

[48] Siemens A. G. "Teoria do Tráfego Telefônico: Tabelas e Gráficos", vol. 1, Edgard Blucher, 1975.

[49] SILVA, M. "Sala de Aula Interativa", Editora Quartet, 2000.

[50] SILVEIRA, J. G.; VIEIRA, A.; BALBINOT, R. "A Modular System Tool for the Distance Learning", IEEE, pp. 502-505, 2001.

[51] SKILLICORN, D. B. "Using distributed hypermedia for collaborative learning in universities", The Computer Journal, 39, pp. 471-482, 1996.

[52] TANENBAUM, A. S. "Redes de Computadores", Editora Campus, 1997.

[53] TEIXEIRA, J. F. "Mentes e Máquinas: Uma Introdução à Ciência Cognitiva", Editora Artes médicas, 1998.

[54] TelEduc. Disponível em <http://www.nied.unicamp.br/tele_educ>. Acesso em: 22 mai. 2001.

[55] TESSAROLLO, M. R. M. “Ambiente de Autoria de Cursos a Distância (AutorWeb)”, Dissertação de Mestrado, Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, 2000.

[56] TRINTA, F. A. M. et al. “Co-autoria Distribuída de Cursos na Internet”, Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp. 256-263, nov., 1999.

[57] TRIVEDI, K. S. “Probability and Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications, 2nd Edition”, John Wiley & Sons, out., 2001.

[58] Web Couse Tool – WebCT. Disponível em <http://www.webct.com>. Acesso em: 20 set. 2000.

[59] Westbay Engineers Limited. Telecom Traffic Online. Disponível em <http://www.erlang.com>. Acesso em 29 set. 2002.

APÊNDICE A

A seguir, apresenta-se o artigo referente ao assunto deste trabalho submetido e aceito para publicação.

A.1 Revista digital Colabora

Artigo submetido e aceito para publicação na 4ª. edição (setembro de 2002) da revista eletrônica digital Colabora, editada pela CVA-RICESU (Comunidade Virtual de Aprendizagem da Rede das Instituições Católicas do Ensino Superior), ISSN 1519-8529, localizada no endereço eletrônico: http://www.ricesu.com.br/colabora/ [38]. A revista é dedicada preferencialmente às áreas de educação à distância, aprendizagem colaborativa, comunidades virtuais de aprendizagem e à educação mediada pelas tecnologias de comunicação e informação, tratadas sob enfoque multidisciplinar.

ENSINO DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO ATRAVÉS DA INTERNET

Leonimer Flávio de Melo
DECOM – Departamento de Comunicações
FEEC – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
leonimer@decom.fee.unicamp.br

Luís Geraldo P. Meloni
DECOM – Departamento de Comunicações
FEEC – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
meloni@decom.fee.unicamp.br

Resumo

Este trabalho descreve um ambiente de aprendizagem a ser empregado em aulas de Telefonia no curso de Engenharia Elétrica ou afins, onde se utiliza o computador e a Internet como ferramentas de auxílio em aulas presenciais e a distância. O sistema trabalha numa arquitetura cliente-servidor, onde se integra o pacote matemático MATLAB, permitindo a concepção de simuladores que oferecem ao aluno um alto grau de interatividade. Neste trabalho, o sistema foi empregado para cálculos de engenharia de tráfego, apresentado resultados numéricos na forma de gráficos e tabelas.

Abstract

This paper describes a learning environment for use on Telephony courses in Electrical Engineering and others, where computers and Internet are meant to be used as facilitating tools for distance learning and attendance ones. The system uses client-server architecture, with the Matlab server integrated, allowing the conception of simulators and also offering high interactivity for students. This paper focuses on the system application for traffic engineering, showing the numerical results by means of graphics and tables.

Palavras-Chave: Telefonia, Engenharia de Tráfego, EAD, ambientes de aprendizagem apoiados por computador, Informática na Educação.

1. Introdução

Nos últimos anos tem havido um interesse crescente em programas educacionais realizadas através das redes de comunicações. O uso da Internet tem sido adotado como

auxílio na educação e como ferramenta para o incremento do ensino e do aprendizado. A concepção de cursos via Internet não é uma tarefa fácil de se executar, trata-se de um novo paradigma pedagógico, que deve ser pesquisado em profundidade.

Conforme afirma Pierre Levy [Levy, 1999], "Torna-se necessária a adaptação dos dispositivos e do espírito do aprendizado aberto e a distância (AAD) no cotidiano e no ordinário da educação. É verdade que o AAD explora certas técnicas do ensino a distância, inclusive a hipermídia, as redes interativas de comunicação e todas as tecnologias intelectuais da cibercultura. O essencial, porém, reside num novo estilo de pedagogia que favoreça, ao mesmo tempo, os aprendizados personalizados e o aprendizado cooperativo em rede".

O ensino e a aprendizagem da engenharia de tráfego é, muitas vezes, difícil de ser conduzido, por tratar de tópicos envolvendo cálculos estatísticos com certo grau de complexidade. Este programa foi desenvolvido visando auxiliar a compreensão do tema de forma mais fácil por parte dos alunos, tanto em aulas pela Internet quanto presenciais. Ele pode ser empregado em cálculos profissionais de Engenharia de Tráfego, substituindo com vantagens o emprego de tabelas e gráficos.

2. O Programa

O programa apresenta tópicos de um curso de engenharia de tráfego e utiliza tecnologias da Internet em sua concepção. O estudo do tráfego telefônico exige cálculos matemáticos de relativa complexidade, bem como pesquisas em tabelas e gráficos para se obter os resultados procurados. As páginas *html* são interativas, o aluno pode resolver os cálculos necessários auxiliado por simuladores que geram resultados, gráficos e tabelas pertinentes. O programa busca facilitar a assimilação do conteúdo e dos cálculos necessários à matéria.

Na implementação dos simuladores, o *software* matemático Matlab foi integrado, associando-se desta maneira todo o poder computacional deste *software* com a acessibilidade da Internet. Na criação do ambiente visual interativo, procurou-se disponibilizar a maior variedade de resultados possíveis, tornando-se rápida a apresentação dos resultados numéricos, gráficos ilustrativos e tabelas. As páginas de cálculo são chamadas através de *hyperlinks* inseridos de maneira estratégica dentro dos tópicos respectivos do curso. Estas chamadas podem ser feitas em módulos de exercícios, auxiliando na resolução dos problemas propostos.

O sistema, acessível pela Internet, pode ser utilizado em aulas a distância ou semipresenciais, assim como ferramenta de auxílio ao professor em aulas de telefonia presenciais. Em aplicações no mercado corporativo, o sistema oferece maior flexibilidade de cálculos e acesso mais fácil a tabelas e gráficos.

2.1 A Estrutura sistêmica

O sistema utiliza o paradigma cliente-servidor, disponibilizando as páginas do curso pela Internet. As páginas de aquisição dos dados, carregadas no *browser* do cliente, são programadas em *html*. Os dados são enviados ao servidor *http*, que utiliza o padrão CGI (*Common Gateway Interface*), para que esses dados sejam processados pelo Matlab. O Matlab, por sua vez, gera os resultados numéricos, tabelas e gráficos que são

estruturados e enviados ao cliente em formato de página *html*, conforme ilustração da Figura 1. O sistema utiliza o protocolo TCP/IP, permitindo o acesso numa rede privada, Intranet ou Internet.

Figura 1 – Estrutura do projeto

2.2 Componentes do projeto

O sistema utiliza a estrutura do Matlab Web Server, conforme ilustrado na Figura 2, que pode ser detalhada em termos dos componentes:

- *Matlabserver* é um servidor *multithreaded* TCP/IP. Gerencia a comunicação entre a aplicação Web e o Matlab,
- *Matweb* é um cliente TCP/IP do *matlabserver*. Usa uma CGI para extrair dados da página *html* e transferir ao *matlabserver*;
- *Matweb.m* chama a função m-file que será executada na aplicação Web;
- *Matweb.conf* é um arquivo de configurações das aplicações que são necessárias para que o *matweb* se comunique como *matlabserver*;
- *Hosts.conf* provê uma lista de máquinas que estão autorizadas a se conectarem ao Matlab Web Server.

Figura 2 – Componentes do Matlab Web Server

3. Análise de Tráfego

A quantidade de equipamentos e órgãos de comutação é normalmente dimensionada de modo que, durante as horas de maior movimento, apenas uma porcentagem muito pequena de ligações solicitadas não são estabelecidas. Isto permite a redução dos custos dos equipamentos de comutação e o compartilhamento dos mesmos com um grande número de usuários.

A solução teórica da tarefa de dimensionamento destes sistemas é tratada pela teoria de tráfego, seguindo métodos desenvolvidos por Erlang no início do século XX. Entretanto, na elaboração de projetos práticos e na solução de problemas de engenharia de tráfego relacionados ao planejamento e desenvolvimento de sistemas telefônicos, uma gama enorme de tabelas, gráficos e cálculos variados é imprescindível. O programa desenvolvido permite o acesso fácil a estes dados e auxilia na solução do problema.

A teoria de tráfego telefônico pode ser encontrada em vários livros-texto [Bellamy, 1991], [Siemens, 1975], [Dunlop, 1989], etc; bem como na página *html* em referência desenvolvida neste trabalho. Algumas fórmulas empregadas na teoria são revisadas a seguir.

3.1 Sistema de Perdas

Num sistema com perdas, as chamadas que excedem o número máximo de comutações possíveis da central são descartadas ou bloqueadas. Erlang usou a distribuição estatística de Poisson para chegar ao cálculo da probabilidade de bloqueio. Um dos resultados de seus estudos é sintetizado pela *fórmula B de Erlang*, ou *fórmula de perda de Erlang*:

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^{N} \frac{A^i}{i!}} \qquad (1)$$

3.2 Sistemas de Espera ou com Atraso

Uma segunda abordagem na análise de tráfego telefônico trata dos sistemas de fila de espera dos serviços, pois estes não podem ser oferecidos imediatamente. Estes sistemas são conhecidos como sistemas de atraso, sistemas de espera de chamada ou sistemas de fila. Neste caso, Erlang usou a teoria de filas para chegar a sua segunda fórmula, que é conhecida como *fórmula C de Erlang* ou *fórmula de atraso de Erlang*:

$$P(>0) = \frac{\dfrac{N}{N-A}\dfrac{A^N}{N!}}{\displaystyle\sum_{i=0}^{N-1}\frac{A^i}{i!} + \frac{N}{N-A}\frac{A^N}{N!}} \tag{2}$$

A probabilidade que uma chamada fique em espera mais que um determinado tempo *t* até se completar a ligação, emprega a fórmula C de Erlang, e é prevista pela equação:

$$P(>t) = P(>0)\, e^{-\frac{t}{t_m}(N-A)} \tag{3}$$

4. Funções e interface visual

O programa calculador de tráfego telefônico possui dois módulos básicos. O primeiro módulo é utilizado em sistemas de perdas ou bloqueio e o segundo é utilizado em sistemas de espera ou de atraso.

4.1 Sistemas de bloqueio

A Figura 3 ilustra a página para sistemas de bloqueio, onde se emprega a fórmula B de Erlang. A página permite a aquisição de dados, o aluno fornece duas variáveis dentre três possíveis: número de canais (*N*), fonte de tráfego (*A*) e probabilidade de bloqueio (*B*), e escolhe a incógnita que será calculada pelo sistema.

Figura 3 – Entrada de dados para sistema de perdas

A Figura 4 ilustra a página *html* final de retorno ao usuário, contendo o resultado numérico da incógnita escolhida, inclusive o gráfico da intensidade de tráfego (*A*) pela probabilidade de bloqueio (*B*). Neste gráfico são traçadas quatro curvas distintas, com números distintos de canais ao redor do número de canais fornecido ou calculado. A implementação deste gráfico traz uma ajuda visual importante para o aluno, facilitando sobremaneira a observação de comportamento dos resultados tabulados.

Figura 4 – Página final para o sistema de perdas

Vale ressaltar o alto grau de interatividade do sistema, uma vez que o usuário pode modificar os dados de entrada, obtendo tantos resultados quanto necessários. Na página de retorno também é apresentada uma tabela da probabilidade de bloqueio por número de canais, que fornece os valores da intensidade de tráfego medida em Erlang. A elaboração dinâmica desta tabela se enquadra dentro dos resultados numéricos passados

ao servidor, ela facilita a consulta e dispõe vários resultados próximos visando facilitar a solução do problema.

4.2 Sistemas de espera

A Figura 5 ilustra o módulo de simulação de sistemas de espera que utiliza a fórmula C de Erlang como base.

Figura 5 – Página de entrada para sistemas de espera

Na página apresentada ao usuário, ilustrada na Figura 5, deve-se fornecer os dados necessários para o processamento do cálculo, tais como: número de canais de saída (N), intensidade de tráfego (A), tempo de espera para o atendimento da chamada (t) e tempo médio de ocupação dos troncos de saída (t_m).

Como exemplo ilustrativo, vamos assumir o caso particular em que $t = 0$, o sistema responderá com o valor da probabilidade de $P(>0)$ mais dois gráficos simulando curvas nas faixas de valores próximos aos dados de entrada. O primeiro gráfico fornece as curvas de probabilidade $P(>t)$ versus t/t_m, calculadas para o número especificado de canais de entrada, resultando em quatro curvas de intensidade de tráfego. O segundo gráfico fornece as curvas de probabilidade $P(>0)$ versus a intensidade de tráfego, resultando em quatro curvas para diferentes números de canais de entrada, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Página de retorno para sistemas de espera com $t = 0$

5. Conclusão

O desenvolvimento de programas, voltados à Internet e associados a um software matemático poderoso, tal como o Matlab, traz uma solução surpreendentemente simples e completa para o ensino a distância da teoria de tráfego telefônico. Usando-se a linguagem HTML, fazendo-se os cálculos e simulações no ambiente Matlab, criou-se um sistema de fácil acesso via Internet ou Intranet. Esta poderosa ferramenta pode ser usada em EAD, como auxiliar do professor na sala de aula ou até mesmo em ambientes corporativos.

O acesso remoto através da rede tem as seguintes vantagens:

- A utilização remota pelos usuários (estudantes ou não) sem restrição de tempo ou limitações de distância;

- O uso de calculadores e/ou simuladores em que usuários podem não ter acesso em laboratórios tradicionais;
- A interface visual interativa traz ao aluno um novo modelo de aprendizado, libertando-o dos compêndios técnicos extensos pouco estimulantes.

Finalmente, vale ressaltar que por meio de uma programação relativamente simples em *html*, pode-se adaptar qualquer conteúdo de simulações feitas no Matlab para acesso via Internet, utilizando-se da mesma estrutura do projeto. O emprego destes simuladores permite uma maior grau de interatividade por parte do aluno, muito além dos livros-texto tradicionais. Além da aplicação em ensino, o sistema também pode ser empregado em projetos profissionais de engenharia de tráfego.

6. Referências

- www.decom.fee.unicamp.br/~meloni/educat/telephony.htm
- Avraam, E., Veglis, A. (2001), “Using the Web in Supplementary Teacher Education”, IEEE EAD*,* pp. 274-277.
- Bellamy, J. (1991), *Digital Telephony*, Second Ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Cervera, M., Gómez, F. J., & Martinez, J. (2000), “A World Wide Web Based Architecture for the Implementation of a Virtual Laboratory”, IEEE EAD, pp. 56-61.
- Clausen, A., Constantinou, A., Foutz, J., Spanias, A., Stylianou, G., Urban, S. & Zang, X. (2000), “Development and Evaluation of a Web-Based Signal and Speech Processing Laboratory for Distance Learning”, IEEE EAD*,* pp. 3534-3537.
- Dunlop, J., Smith, D. G. (1989), *Telecommunications Engineering*, second edition. Van Nostrand Reinhold.
- Levy, P. (1999), *Cibercultura*, Primeira Ed., Editora 34.
- *Matlab Web Server, the Language of Technical Computing* (2000), MathWorks, Inc.
- Mina, R. R. (1974). *Teletraffic Engineering,* Telephony Publishing Corporation.
- Siemens AG. (1975), *Teoria do Tráfego Telefônico: Tabelas e gráficos*.

APÊNDICE B

Apresentam-se a seguir os *scripts* desenvolvidos para o Matlab responsáveis pela geração das funções *M-file* que fazem os cálculos matemáticos computacionais e as gerações de tabelas e gráficos.

B.1 Função para tratamento dos dados para o sistema de perda

```
function rs = trafego(vr)
% função responsável pelo tratamento dos dados recebidos pela página HTML
% de entrada referente ao sistema de perda. Feito os cálculos necessários,
% gera-se as tabelas e os gráficos e coloca-se tudo na página HTML de saída.

% Inicializa a string de retorno.
rs = char('');

% Assume um identificador único.
mlid = getfield(vr, 'mlid');

% Seleciona um diretório para o armazenamento dos arquivos gráficos.
cd(vr.mldir);

% Apaga jpegs anteriores a 1 hora.
wscleanup('ml*tra.jpeg', 1);

% recupera os valores dos componentes.
N = str2double(vr.N);
B = str2double(vr.B);
A = str2double(vr.A);

if (length(N)~=1) | (fix(N) ~= N) | (N < 0)
  error('N deve ser um numero inteiro positivo!');
end
if (A < 0)
  error('A deve ser um numero real positivo!');
end
if (B < 0)
  error('B deve ser um numero real positivo!');
end

B = B/100;
% Cria o grafico.
f = figure('visible','off');
```

```
% recupera o modelo do grafico
if (isfield(vr, 'modelo'))
  model = getfield(vr, 'modelo');
  if strcmp(model, 'Bloqueio')
      blo = BL(N, A);
      saida.vars1 = BL(N, A)*100;
      saida.bl = saida.vars1;
      saida.can = N;
      saida.tra = A;
      saida.tipo1 = 'A Probabilidade de Bloqueio';
      saida.tipo2 = '%';
  elseif strcmp(model, 'Canais')
      saida.vars1 = CAN(B, A);
      blo = B;
      saida.bl = B*100;
      saida.can = saida.vars1;
      saida.tra = A;
      saida.tipo1 = 'O Numero Minimo de Canais de saida';
      saida.tipo2 = 'Canais';
  elseif strcmp(model, 'Trafego')
      saida.vars1 = TRA(B, N);
      blo = B;
      saida.bl = B*100;
      saida.can = N;
      saida.tra = saida.vars1;
      saida.tipo1 = 'A Fonte de Trafego';
      saida.tipo2 = 'Erlang';
  end
end

graf(saida.can);

pos = get(gcf, 'position');
pos(3) = 380;
pos(4) = 310;

set(gcf, 'Position', pos, 'PaperPosition', [.25 .25 5 5]);

%grava o grafico em forma de jpeg.
drawnow;
saida.Grafico1 = sprintf('%stra.jpeg', mlid);
wsprintjpeg(f, saida.Grafico1);
saida.Grafico1 = sprintf('/icons/%stra.jpeg', mlid);

close all;
```

```
blo = round(blo*10000)/10000;
if blo == 0
    blo = .0001;
end

pbl = blo;
pcan = saida.can;
mnc = round(pcan/5);
clear ptra;
if pbl > .5,
    pbl = .5;
end;
gp = pbl;
if (pbl < .01),
    so = .001;
elseif (pbl < .05) & (pbl >= .01)
    so = pbl/10;
elseif (pbl < .1) & (pbl >= .05)
    so = .01;
else
    so = .05;
end;

if (pcan < 100) & (pcan > 2),
    pcan = pcan - 2;
elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
    pcan = pcan - 4;
end;

gpn = pcan;
ptra(1,1) = 0;
I=1;
for J = 2:11,
        ptra(I,J) = pbl;
        pbl = pbl + so;
end
J = 1;
for I = 2:11,
        ptra(I,J) = pcan;
        if (pcan < 100),
            pcan = pcan + 1;
        elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
            pcan = pcan + 2;
        else
            pcan = pcan + mnc;
        end;
end
```

```
pbl = gp;
pcan = gpn;
for I = 2:11,
    for J = 2:11,
%        ptra(I,J) = I+J;
        ptra(I,J) = Aerlangb(pcan,pbl);
        pbl = pbl + so;
    end
    pbl = gp;
    if pcan < 100,
        pcan = pcan + 1;
    elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
        pcan = pcan + 2;
    else
        pcan = pcan + mnc;
    end;
end

% geração da tabela da intensidade de tráfego
saida.ms0101 = ptra(1,1);
saida.ms0102 = ptra(1,2);
saida.ms0103 = ptra(1,3);
saida.ms0104 = ptra(1,4);
saida.ms0105 = ptra(1,5);
saida.ms0106 = ptra(1,6);
saida.ms0107 = ptra(1,7);
saida.ms0108 = ptra(1,8);
saida.ms0109 = ptra(1,9);
saida.ms0110 = ptra(1,10);
saida.ms0111 = ptra(1,11);
saida.ms0201 = ptra(2,1);
saida.ms0202 = sprintf('%0.4f',ptra(2,2));
saida.ms0203 = sprintf('%0.4f',ptra(2,3));
saida.ms0204 = sprintf('%0.4f',ptra(2,4));
saida.ms0205 = sprintf('%0.4f',ptra(2,5));
saida.ms0206 = sprintf('%0.4f',ptra(2,6));
saida.ms0207 = sprintf('%0.4f',ptra(2,7));
saida.ms0208 = sprintf('%0.4f',ptra(2,8));
saida.ms0209 = sprintf('%0.4f',ptra(2,9));
saida.ms0210 = sprintf('%0.4f',ptra(2,10));
saida.ms0211 = sprintf('%0.4f',ptra(2,11));
saida.ms0301 = ptra(3,1);
saida.ms0302 = sprintf('%0.4f',ptra(3,2));
saida.ms0303 = sprintf('%0.4f',ptra(3,3));
saida.ms0304 = sprintf('%0.4f',ptra(3,4));
saida.ms0305 = sprintf('%0.4f',ptra(3,5));
saida.ms0306 = sprintf('%0.4f',ptra(3,6));
```

```
saida.ms0307 = sprintf('%0.4f',ptra(3,7));
saida.ms0308 = sprintf('%0.4f',ptra(3,8));
saida.ms0309 = sprintf('%0.4f',ptra(3,9));
saida.ms0310 = sprintf('%0.4f',ptra(3,10));
saida.ms0311 = sprintf('%0.4f',ptra(3,11));
saida.ms0401 = ptra(4,1);
saida.ms0402 = sprintf('%0.4f',ptra(4,2));
saida.ms0403 = sprintf('%0.4f',ptra(4,3));
saida.ms0404 = sprintf('%0.4f',ptra(4,4));
saida.ms0405 = sprintf('%0.4f',ptra(4,5));
saida.ms0406 = sprintf('%0.4f',ptra(4,6));
saida.ms0407 = sprintf('%0.4f',ptra(4,7));
saida.ms0408 = sprintf('%0.4f',ptra(4,8));
saida.ms0409 = sprintf('%0.4f',ptra(4,9));
saida.ms0410 = sprintf('%0.4f',ptra(4,10));
saida.ms0411 = sprintf('%0.4f',ptra(4,11));
saida.ms0501 = ptra(5,1);
saida.ms0502 = sprintf('%0.4f',ptra(5,2));
saida.ms0503 = sprintf('%0.4f',ptra(5,3));
saida.ms0504 = sprintf('%0.4f',ptra(5,4));
saida.ms0505 = sprintf('%0.4f',ptra(5,5));
saida.ms0506 = sprintf('%0.4f',ptra(5,6));
saida.ms0507 = sprintf('%0.4f',ptra(5,7));
saida.ms0508 = sprintf('%0.4f',ptra(5,8));
saida.ms0509 = sprintf('%0.4f',ptra(5,9));
saida.ms0510 = sprintf('%0.4f',ptra(5,10));
saida.ms0511 = sprintf('%0.4f',ptra(5,11));
saida.ms0601 = ptra(6,1);
saida.ms0602 = sprintf('%0.4f',ptra(6,2));
saida.ms0603 = sprintf('%0.4f',ptra(6,3));
saida.ms0604 = sprintf('%0.4f',ptra(6,4));
saida.ms0605 = sprintf('%0.4f',ptra(6,5));
saida.ms0606 = sprintf('%0.4f',ptra(6,6));
saida.ms0607 = sprintf('%0.4f',ptra(6,7));
saida.ms0608 = sprintf('%0.4f',ptra(6,8));
saida.ms0609 = sprintf('%0.4f',ptra(6,9));
saida.ms0610 = sprintf('%0.4f',ptra(6,10));
saida.ms0611 = sprintf('%0.4f',ptra(6,11));
saida.ms0701 = ptra(7,1);
saida.ms0702 = sprintf('%0.4f',ptra(7,2));
saida.ms0703 = sprintf('%0.4f',ptra(7,3));
saida.ms0704 = sprintf('%0.4f',ptra(7,4));
saida.ms0705 = sprintf('%0.4f',ptra(7,5));
saida.ms0706 = sprintf('%0.4f',ptra(7,6));
saida.ms0707 = sprintf('%0.4f',ptra(7,7));
saida.ms0708 = sprintf('%0.4f',ptra(7,8));
saida.ms0709 = sprintf('%0.4f',ptra(7,9));
```

```
saida.ms0710 = sprintf('%0.4f',ptra(7,10));
saida.ms0711 = sprintf('%0.4f',ptra(7,11));
saida.ms0801 = ptra(8,1);
saida.ms0802 = sprintf('%0.4f',ptra(8,2));
saida.ms0803 = sprintf('%0.4f',ptra(8,3));
saida.ms0804 = sprintf('%0.4f',ptra(8,4));
saida.ms0805 = sprintf('%0.4f',ptra(8,5));
saida.ms0806 = sprintf('%0.4f',ptra(8,6));
saida.ms0807 = sprintf('%0.4f',ptra(8,7));
saida.ms0808 = sprintf('%0.4f',ptra(8,8));
saida.ms0809 = sprintf('%0.4f',ptra(8,9));
saida.ms0810 = sprintf('%0.4f',ptra(8,10));
saida.ms0811 = sprintf('%0.4f',ptra(8,11));
saida.ms0901 = ptra(9,1);
saida.ms0902 = sprintf('%0.4f',ptra(9,2));
saida.ms0903 = sprintf('%0.4f',ptra(9,3));
saida.ms0904 = sprintf('%0.4f',ptra(9,4));
saida.ms0905 = sprintf('%0.4f',ptra(9,5));
saida.ms0906 = sprintf('%0.4f',ptra(9,6));
saida.ms0907 = sprintf('%0.4f',ptra(9,7));
saida.ms0908 = sprintf('%0.4f',ptra(9,8));
saida.ms0909 = sprintf('%0.4f',ptra(9,9));
saida.ms0910 = sprintf('%0.4f',ptra(9,10));
saida.ms0911 = sprintf('%0.4f',ptra(9,11));
saida.ms1001 = ptra(10,1);
saida.ms1002 = sprintf('%0.4f',ptra(10,2));
saida.ms1003 = sprintf('%0.4f',ptra(10,3));
saida.ms1004 = sprintf('%0.4f',ptra(10,4));
saida.ms1005 = sprintf('%0.4f',ptra(10,5));
saida.ms1006 = sprintf('%0.4f',ptra(10,6));
saida.ms1007 = sprintf('%0.4f',ptra(10,7));
saida.ms1008 = sprintf('%0.4f',ptra(10,8));
saida.ms1009 = sprintf('%0.4f',ptra(10,9));
saida.ms1010 = sprintf('%0.4f',ptra(10,10));
saida.ms1011 = sprintf('%0.4f',ptra(10,11));
saida.ms1101 = ptra(11,1);
saida.ms1102 = sprintf('%0.4f',ptra(11,2));
saida.ms1103 = sprintf('%0.4f',ptra(11,3));
saida.ms1104 = sprintf('%0.4f',ptra(11,4));
saida.ms1105 = sprintf('%0.4f',ptra(11,5));
saida.ms1106 = sprintf('%0.4f',ptra(11,6));
saida.ms1107 = sprintf('%0.4f',ptra(11,7));
saida.ms1108 = sprintf('%0.4f',ptra(11,8));
saida.ms1109 = sprintf('%0.4f',ptra(11,9));
saida.ms1110 = sprintf('%0.4f',ptra(11,10));
saida.ms1111 = sprintf('%0.4f',ptra(11,11));
saida.msquare = ptra;
```

```
% Salva as variaveis no arquivo HTML de saida.
templatefile = which('trafego_sai.html');
rs = htmlrep(saida, templatefile);


function p1 = BL(N, A)
p1 = erlangb(N, A);

function p2 = CAN(B, A)
p2 = Nerlangb(B, A);

function p3 = TRA(B, N)
p3 = Aerlangb(N, B);

function B1 = erlangb(N1, A1)
B1=1;
for k=1:N1,
  B1 = A1.*B1./(k+A1.*B1);
end;

function N1 = Nerlangb(p, A)
B1=1;
N1=1;
while (1 == 1),
  B1 = A.*B1./(N1+A.*B1);
  if (B1 <= p),
    return;
  end;
  N1 = N1 + 1;
end;

function A = Aerlangb(N, p)
A1=N;
B = erlangb(N, A1);
if (B > p),
    A2=N./10;
    B = erlangb(N, A2);
    if (B > p),
        A2 = A2./10;
    end;
elseif (B < p),
    A2=N.*10;
    B = erlangb(N, A2);
    if (B < p),
        A2 = A2.*10;
    end;
```

```
elseif (B == p),
    A=A2;
    return;
end;
%
% Loop, interacao ate (B-P) < erro minimo.
%
loop=0;
while (1 == 1),
  B = erlangb(N, A2);
  if (abs(B - p) < 0.000001),
    A=A2;
    %loop   % print loops
    return;
  end;
  loop=loop+1;
  if loop > 1000,
      error('Interaçao nao convergiu!');
  end;

  if (B > p),       % move para esquerda
      Aint=A2;
      A2=A2-abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B < p),   % move para direita
      Aint=A2;
      A2=A2+abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B == p),
      A=A2;
      %loop     % print loops
      return;
  end;
end;

function x1 = graf(N)
if (nargin == 0)
    n=4;
elseif (nargin == 1)
    n=N;
end

a=n/2:n/1000:2*n;
close all
s=round(n/5);
n1=n;
b = erlangb(n, a); % n de canais/troncos
```

```
plot(a, b, 'b')
hold on

n=n+s;
n2=n;
b = erlangb(n, a);
plot(a, b, 'g')

n=n+s;
n3=n;
b = erlangb(n, a);
plot(a, b, 'r')

n=n+s;
n4=n;
b = erlangb(n, a);
plot(a, b, 'k')

legend([num2str(n1) ' canais'], [num2str(n2) ' canais'], ...
    [num2str(n3) ' canais'], [num2str(n4) ' canais'], 2)
xlabel('Intensidade de Trafego (Erlangs)');
ylabel('Probabilidade de Bloqueio');
title('Grafico - Formula B de Erlang');
grid on;
```

B.2 Função para tratamento dos dados para o sistema de espera

```
function rs = trafego_c(vr)
% função responsável pelo tratamento dos dados recebidos pela página HTML
% de entrada referente ao sistema de espera. Feito os cálculos necessários,
% gera-se as tabelas e os gráficos e coloca-se tudo na página HTML de saída.

% Inicializa a string de retorno.
rs = char('');

% Assume um identificador único.
mlid = getfield(vr, 'mlid');

% Seleciona um diretório para o armazenamento dos arquivos gráficos.
cd(vr.mldir);

% Apaga jpegs anteriores a 1 hora.
wscleanup('ml*trac.jpeg', 1);
wscleanup('ml*trac2.jpeg', 1);

% recupera os valores dos componentes.
N = str2double(vr.N);
```

```
A = str2double(vr.A);
t = str2double(vr.t);
tm = str2double(vr.tm);

if (t==0) & (tm==0),
    t=0;
    tm=1;
end
if (tm <= 0)
  error('tm deve ser um numero real positivo maior que zero!');
end
if (t < 0)
  error('t deve ser um numero real positivo!');
end
if (length(N)~=1) | (fix(N) ~= N) | (N < 0)
  error('N deve ser um numero inteiro positivo!');
end
if (A < 0)
  error('A deve ser um numero real positivo!');
end

% Cria o grafico.
f = figure('visible','off');

% recupera o modelo do grafico
saida.pt = Terlangc(N, A, t, tm);
saida.can = N;
saida.tra = A;
saida.t = t;
saida.tm = tm;

graf(N, A);

pos = get(gcf, 'position');
pos(3) = 380;
pos(4) = 310;

set(gcf, 'Position', pos, 'PaperPosition', [.25 .25 5 5]);

%grava o grafico em forma de jpeg.
drawnow;
saida.Grafico1 = sprintf('%strac.jpeg', mlid);
wsprintjpeg(f, saida.Grafico1);
saida.Grafico1 = sprintf('/icons/%strac.jpeg', mlid);

close all;
saida.Grafico2 = 'temp.jpg';
```

```
if t == 0
    graf2(N, A);
    pos = get(gcf, 'position');
    pos(3) = 380;
    pos(4) = 310;
    set(gcf, 'Position', pos, 'PaperPosition', [.25 .25 5 5]);
    drawnow;
    saida.Grafico2 = sprintf('%strac2.jpeg', mlid);
    wsprintjpeg(f, saida.Grafico2);
    saida.Grafico2 = sprintf('/icons/%strac2.jpeg', mlid);
    close all;
end

blo = round(saida.pt*10000)/10000;
if blo == 0
    blo = .0001;
end
pbl = blo;
pcan = saida.can;
mnc = round(pcan/5);
clear ptra;
if pbl > .5,
    pbl = .5;
end;
gp = pbl;
if (pbl < .01),
    so = .001;
elseif (pbl < .05) & (pbl >= .01)
    so = pbl/10;
elseif (pbl < .1) & (pbl >= .05)
    so = .01;
else
    so = .05;
end;

if (pcan < 100) & (pcan > 2),
    pcan = pcan - 2;
elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
    pcan = pcan - 4;
end;

gpn = pcan;
ptra(1,1) = 0;
I=1;
for J = 2:11,
        ptra(I,J) = pbl;
        pbl = pbl + so;
```

```
end
J = 1;
for I = 2:11,
        ptra(I,J) = pcan;
        if (pcan < 100),
            pcan = pcan + 1;
        elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
            pcan = pcan + 2;
        else
            pcan = pcan + mnc;
        end;
end
pbl = gp;
pcan = gpn;
for I = 2:11,
    for J = 2:11,
        if t == 0,
            ptra(I,J) = Aerlangc(pcan,pbl);
        else
            ptra(I,J) = AerlangcT(pcan,pbl,t,tm);
        end;
        pbl = pbl + so;
    end
    pbl = gp;
    if pcan < 100,
        pcan = pcan + 1;
    elseif (pcan < 250) & (pcan >= 100)
        pcan = pcan + 2;
    else
        pcan = pcan + mnc;
    end;
end

% geração da tabela da intensidade de tráfego
saida.ms0101 = ptra(1,1);
saida.ms0102 = ptra(1,2);
saida.ms0103 = ptra(1,3);
saida.ms0104 = ptra(1,4);
saida.ms0105 = ptra(1,5);
saida.ms0106 = ptra(1,6);
saida.ms0107 = ptra(1,7);
saida.ms0108 = ptra(1,8);
saida.ms0109 = ptra(1,9);
saida.ms0110 = ptra(1,10);
saida.ms0111 = ptra(1,11);
saida.ms0201 = ptra(2,1);
saida.ms0202 = sprintf('%0.4f',ptra(2,2));
```

```
saida.ms0203 = sprintf('%0.4f',ptra(2,3));
saida.ms0204 = sprintf('%0.4f',ptra(2,4));
saida.ms0205 = sprintf('%0.4f',ptra(2,5));
saida.ms0206 = sprintf('%0.4f',ptra(2,6));
saida.ms0207 = sprintf('%0.4f',ptra(2,7));
saida.ms0208 = sprintf('%0.4f',ptra(2,8));
saida.ms0209 = sprintf('%0.4f',ptra(2,9));
saida.ms0210 = sprintf('%0.4f',ptra(2,10));
saida.ms0211 = sprintf('%0.4f',ptra(2,11));
saida.ms0301 = ptra(3,1);
saida.ms0302 = sprintf('%0.4f',ptra(3,2));
saida.ms0303 = sprintf('%0.4f',ptra(3,3));
saida.ms0304 = sprintf('%0.4f',ptra(3,4));
saida.ms0305 = sprintf('%0.4f',ptra(3,5));
saida.ms0306 = sprintf('%0.4f',ptra(3,6));
saida.ms0307 = sprintf('%0.4f',ptra(3,7));
saida.ms0308 = sprintf('%0.4f',ptra(3,8));
saida.ms0309 = sprintf('%0.4f',ptra(3,9));
saida.ms0310 = sprintf('%0.4f',ptra(3,10));
saida.ms0311 = sprintf('%0.4f',ptra(3,11));
saida.ms0401 = ptra(4,1);
saida.ms0402 = sprintf('%0.4f',ptra(4,2));
saida.ms0403 = sprintf('%0.4f',ptra(4,3));
saida.ms0404 = sprintf('%0.4f',ptra(4,4));
saida.ms0405 = sprintf('%0.4f',ptra(4,5));
saida.ms0406 = sprintf('%0.4f',ptra(4,6));
saida.ms0407 = sprintf('%0.4f',ptra(4,7));
saida.ms0408 = sprintf('%0.4f',ptra(4,8));
saida.ms0409 = sprintf('%0.4f',ptra(4,9));
saida.ms0410 = sprintf('%0.4f',ptra(4,10));
saida.ms0411 = sprintf('%0.4f',ptra(4,11));
saida.ms0501 = ptra(5,1);
saida.ms0502 = sprintf('%0.4f',ptra(5,2));
saida.ms0503 = sprintf('%0.4f',ptra(5,3));
saida.ms0504 = sprintf('%0.4f',ptra(5,4));
saida.ms0505 = sprintf('%0.4f',ptra(5,5));
saida.ms0506 = sprintf('%0.4f',ptra(5,6));
saida.ms0507 = sprintf('%0.4f',ptra(5,7));
saida.ms0508 = sprintf('%0.4f',ptra(5,8));
saida.ms0509 = sprintf('%0.4f',ptra(5,9));
saida.ms0510 = sprintf('%0.4f',ptra(5,10));
saida.ms0511 = sprintf('%0.4f',ptra(5,11));
saida.ms0601 = ptra(6,1);
saida.ms0602 = sprintf('%0.4f',ptra(6,2));
saida.ms0603 = sprintf('%0.4f',ptra(6,3));
saida.ms0604 = sprintf('%0.4f',ptra(6,4));
saida.ms0605 = sprintf('%0.4f',ptra(6,5));
```

```
saida.ms0606 = sprintf('%0.4f',ptra(6,6));
saida.ms0607 = sprintf('%0.4f',ptra(6,7));
saida.ms0608 = sprintf('%0.4f',ptra(6,8));
saida.ms0609 = sprintf('%0.4f',ptra(6,9));
saida.ms0610 = sprintf('%0.4f',ptra(6,10));
saida.ms0611 = sprintf('%0.4f',ptra(6,11));
saida.ms0701 = ptra(7,1);
saida.ms0702 = sprintf('%0.4f',ptra(7,2));
saida.ms0703 = sprintf('%0.4f',ptra(7,3));
saida.ms0704 = sprintf('%0.4f',ptra(7,4));
saida.ms0705 = sprintf('%0.4f',ptra(7,5));
saida.ms0706 = sprintf('%0.4f',ptra(7,6));
saida.ms0707 = sprintf('%0.4f',ptra(7,7));
saida.ms0708 = sprintf('%0.4f',ptra(7,8));
saida.ms0709 = sprintf('%0.4f',ptra(7,9));
saida.ms0710 = sprintf('%0.4f',ptra(7,10));
saida.ms0711 = sprintf('%0.4f',ptra(7,11));
saida.ms0801 = ptra(8,1);
saida.ms0802 = sprintf('%0.4f',ptra(8,2));
saida.ms0803 = sprintf('%0.4f',ptra(8,3));
saida.ms0804 = sprintf('%0.4f',ptra(8,4));
saida.ms0805 = sprintf('%0.4f',ptra(8,5));
saida.ms0806 = sprintf('%0.4f',ptra(8,6));
saida.ms0807 = sprintf('%0.4f',ptra(8,7));
saida.ms0808 = sprintf('%0.4f',ptra(8,8));
saida.ms0809 = sprintf('%0.4f',ptra(8,9));
saida.ms0810 = sprintf('%0.4f',ptra(8,10));
saida.ms0811 = sprintf('%0.4f',ptra(8,11));
saida.ms0901 = ptra(9,1);
saida.ms0902 = sprintf('%0.4f',ptra(9,2));
saida.ms0903 = sprintf('%0.4f',ptra(9,3));
saida.ms0904 = sprintf('%0.4f',ptra(9,4));
saida.ms0905 = sprintf('%0.4f',ptra(9,5));
saida.ms0906 = sprintf('%0.4f',ptra(9,6));
saida.ms0907 = sprintf('%0.4f',ptra(9,7));
saida.ms0908 = sprintf('%0.4f',ptra(9,8));
saida.ms0909 = sprintf('%0.4f',ptra(9,9));
saida.ms0910 = sprintf('%0.4f',ptra(9,10));
saida.ms0911 = sprintf('%0.4f',ptra(9,11));
saida.ms1001 = ptra(10,1);
saida.ms1002 = sprintf('%0.4f',ptra(10,2));
saida.ms1003 = sprintf('%0.4f',ptra(10,3));
saida.ms1004 = sprintf('%0.4f',ptra(10,4));
saida.ms1005 = sprintf('%0.4f',ptra(10,5));
saida.ms1006 = sprintf('%0.4f',ptra(10,6));
saida.ms1007 = sprintf('%0.4f',ptra(10,7));
saida.ms1008 = sprintf('%0.4f',ptra(10,8));
```

```
saida.ms1009 = sprintf('%0.4f',ptra(10,9));
saida.ms1010 = sprintf('%0.4f',ptra(10,10));
saida.ms1011 = sprintf('%0.4f',ptra(10,11));
saida.ms1101 = ptra(11,1);
saida.ms1102 = sprintf('%0.4f',ptra(11,2));
saida.ms1103 = sprintf('%0.4f',ptra(11,3));
saida.ms1104 = sprintf('%0.4f',ptra(11,4));
saida.ms1105 = sprintf('%0.4f',ptra(11,5));
saida.ms1106 = sprintf('%0.4f',ptra(11,6));
saida.ms1107 = sprintf('%0.4f',ptra(11,7));
saida.ms1108 = sprintf('%0.4f',ptra(11,8));
saida.ms1109 = sprintf('%0.4f',ptra(11,9));
saida.ms1110 = sprintf('%0.4f',ptra(11,10));
saida.ms1111 = sprintf('%0.4f',ptra(11,11));
saida.msquare = ptra;


% Salva as variaveis no arquivo HTML de saida.
templatefile = which('trafego_c_sai1.html');
rs = htmlrep(saida, templatefile);

function p1 = Terlangc(N, A, t, tm)
p1 = erlangc(N, A).*exp(-(t./tm).*(N-A));

function B1 = erlangc(N, A)
B1 = erlangb(N, A)./(1-(A.*(1-erlangb(N, A))./N));

function B2 = erlangb(N, A)
B2=1;
for k=1:N,
  B2 = A.*B2./(k+A.*B2);
end;

function x1 = graf(N, A)
if (nargin == 0)
    n=12;
    a=8;
elseif (nargin == 1)
    n=N;
    a=N;
elseif (nargin == 2)
   n=N;
   a=A;
end
close all
if a > 3
    s=round(a/5);
```

```
else
    s=a;
end
af=a;
tm=1;
a=a/2;
a1=a;
t=.001:.001:3;
pt=Terlangc(n,a1,t,tm);
semilogy(t, pt, 'b')

hold on
a=af;
a2=a;
pt=Terlangc(n,a,t,tm);
semilogy(t, pt, 'g')

a=a+s;
a3=a;
pt=Terlangc(n,a,t,tm);
semilogy(t, pt, 'r')

a=a+s;
a4=a;
pt=Terlangc(n,a,t,tm);
semilogy(t, pt, 'k')

legend([num2str(a1) ' Erl'], [num2str(a2) ' Erl'], ...
    [num2str(a3) ' Erl'], [num2str(a4) ' Erl'], 3)
xlabel('t/tm');
ylabel(['p(>t) para ' num2str(n) ' canais']);
title('Grafico - Formula C de Erlang');
grid on;

function x2 = graf2(N, A)
if (nargin == 0)
    n=4;
    a=.1:.005:10;
elseif (nargin == 1)
    n=N;
    a=n/10:n/1000:2*n;
elseif (nargin == 2)
    n=N;
    a=A/10:A/1000:A;
end

close all
```

```
if n > 3
    s=round(n/5);
else
    s=n;
end

n1=n;
pt=erlangc(n,a);
loglog(a, pt, 'b')

hold on
n=n+s;
n2=n;
pt=erlangc(n,a);
loglog(a, pt, 'g')

n=n+s;
n3=n;
pt=erlangc(n,a);
loglog(a, pt, 'r')

n=n+s;
n4=n;
pt=erlangc(n,a);
loglog(a, pt, 'k')

legend([num2str(n1) ' canais'], [num2str(n2) ' canais'], ...
    [num2str(n3) ' canais'], [num2str(n4) ' canais'], 2)
xlabel('Intensidade de Trafego (Erlangs)');
ylabel(['Probabilidade p(>0)']);
title('Grafico - Formula C de Erlang');
grid on;


function A=Aerlangc(N, p)
A1=N;
B = erlangc(N, A1);
if (B > p),
    A2=N./10;
    B = erlangc(N, A2);
    if (B > p),
        A2 = A2./10;
    end;
elseif (B < p),
    A2=N.*10;
    B = erlangc(N, A2);
    if (B < p),
```

```
        A2 = A2.*10;
    end;
elseif (B == p),
    A=A2;
    return;
end;
%
% Loop, interacao ate (B-P) < erro minimo.
%
loop=0;
while (1 == 1),
  B = erlangc(N, A2);
  if (abs(B - p) < 0.0000001),
    A=A2;
    %loop   % print loops
    return;
  end;
  %loop=loop+1;
  if loop > 1000,
      error('Interaçao nao convergiu!');
%      return;
  end;
  if (B > p),       % ando para esquerda
      Aint=A2;
      A2=A2-abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B < p),   % ando para direita
      Aint=A2;
      A2=A2+abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B == p),
      A=A2;
      %loop     % print loops
      return;
  end;
end;

function A=AerlangcT(N, p, t, tm)
A1=N;
B = Terlangc(N, A1, t, tm);
if (B > p),
    A2=N./10;
    B = Terlangc(N, A2, t, tm);
    if (B > p),
        A2 = A2./10;
    end;
elseif (B < p),
```

```
    A2=N.*10;
    B = Terlangc(N, A2, t, tm);
    if (B < p),
        A2 = A2.*10;
    end;
elseif (B == p),
    A=A2;
    return;
end;
%
% Loop, interacao ate (B-P) < erro minimo.
%
loop=0;
while (1 == 1),
  B = Terlangc(N, A2, t, tm);
  if (abs(B - p) < p/1000000),
    A=A2;
    %loop   % print loops
    return;
  end;
  loop=loop+1;
  if loop > 1000,
      error('Interaçao nao convergiu!');
%      return;
  end;
  if (B > p),       % ando para esquerda
      Aint=A2;
      A2=A2-abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B < p),   % ando para direita
      Aint=A2;
      A2=A2+abs((A1-A2)./2);
      A1=Aint;
  elseif (B == p),
      A=A2;
      %loop     % print loops
      return;
  end;
end;
```

APÊNDICE C

Apresenta-se a seguir os programas em HTML que foram utilizados para as gerações das páginas HTML de apresentação, coleta de dados e retorno ao usuário.

C.1 Página HTML de entrada de dados para o sistema de perda

```
<html><title>SimTel - Entrada de Dados Sistema de Perda</title>
<body bgcolor="#FFFFFF">

<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">
  <div align="center">

      <input type="hidden" name="mlmfile" value="trafego">
    <table width="94%" border="0" height="110">
      <tr>
        <td width="89%">
          <div align="center"><img src="calculador.jpg" width="665" height="89"
usemap="#MapMap" border="0">
            <map name="MapMap">
              <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
              <area shape="rect" coords="1,70,157,88" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="157,71,412,90" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="412,69,665,86" href="trafego_c_ent1.html">
            </map>
          </div>
        </td>
        <td width="11%">
          <div align="right"><img src="logo_unicamp.jpg" width="60" height="68"></div>
        </td>
      </tr>
    </table>
    <map name="Map">
      <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
      <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
      <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
    </map>
  </div>
  <center>
    <h3>Sistema de Perda - Fórmula B de Erlang</h3>

<table border=0>
```

```
    <tr>

<td>
        <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
          <input type="text" size = "8" value="0" name="N">
          Canais<p>Fonte de Tr&aacute;fego(<b>A</b>):
          <input type="text" size = "8" value="0.0" name="A">
          Erlangs<p>Probabilidade de Bloqueio(<b>B</b>):
          <input type="text" size = "12" value="0" name="B">
          %<br>
      </td>

<td width=25>
<br>
</td>

<td bgcolor=#DDDDDD valign=top>

<b>Escolha a incógnita</b><br>
<p><input type="radio" name="modelo" value="Canais">Canais(<b>N</b>)</p>
<p><input type="radio" name="modelo" value="Trafego">Tráfego(<b>A</b>)</p>
<p><input type="radio" value="Bloqueio" checked name="modelo">Bloqueio(<b>B</b>)</p>

</td>

<td width=25>
<br>
</td>

<td valign=center>
<img src="/icons/formula_B2.jpg">
</td>

</tr>
</table>
  <p>
    <input type="submit" name="Submit" value="Submeter">

</center></form>

<p>B = Probabilidade de bloqueio, ou seja, porcentagem de tempo para a qual
todas as N saídas estarão ocupadas simultaneamente.<br>
N = Numero de troncos de saída (canais).<br>
A = intensidade de trafego ou carga oferecida (em Erlang).</p>
<p>Fórmula a ser usada no caso de:<br>
- As chamadas perdidas são eliminadas, assumindo tempo de espera igual a zero;<br>
- Número infinito de fontes de tráfego;<br>
```

```
- Acessibilidade plena;<br>
- Número de canais (troncos) é limitado;</p>
<p><font color="#0000FF" size="1" face="Arial">©2002 DECOM, FEEC, UNICAMP.</font></p>

</body>
</html>
```

C.2 Página HTML de retorno de dados para o sistema de perda

```
<html><title>SimTel - Sistema de Perda</title>
<body bgcolor="#FFFFFF">

<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">
  <div align="center">
    <input type="hidden" name="mlmfile" value="trafego">
    <table width="94%" border="0" height="110">
      <tr>
        <td width="89%">
          <div align="center"><img src="calculador.jpg" width="665" height="89"
usemap="#MapMap" border="0">
            <map name="MapMap">
              <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
              <area shape="rect" coords="1,70,157,88" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="157,71,412,90" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="412,70,665,87" href="trafego_c_ent1.html">
            </map>
          </div>
        </td>
        <td width="11%">
          <div align="right"><img src="logo_unicamp.jpg" width="60" height="68"></div>
        </td>
      </tr>
    </table>
    <map name="Map">
      <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
      <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
      <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
    </map>
  </div>
  <center>
    <h3>Sistema de Perda - Fórmula B de Erlang</h3>
  </center>
  <center>
    <table border=0>
<tr>
```

```
<td>
        <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
          <input type="text" size = "8" value="$can$" name="N">
          Canais<p>Fonte de Tr&aacute;fego(<b>A</b>):
          <input type="text" size = "8" value="$tra$" name="A">
          Erlangs<p>Probabilidade de Bloqueio(<b>B</b>):
          <input type="text" size = "12" value="$bl$" name="B">
          %<br>
      </td>

<td width=25>
<br>
</td>

<td bgcolor=#DDDDDD valign=top>

<b>Escolha a incógnita</b><br>
<p><input type="radio" name="modelo" value="Canais">Canais(<b>N</b>)</p>
<p><input type="radio" name="modelo" value="Trafego">Tráfego(<b>A</b>)</p>
<p><input type="radio" value="Bloqueio" checked name="modelo">Bloqueio(<b>B</b>)</p>

</td>
<td width=25>
<br>
</td>

<td valign=center>
<img src="/icons/formula_B2.jpg">
</td>

</tr>
</table>
  <p>
    <input type="submit" name="Submit" value="Submeter">

</center></form>



<p align="center">
<img border=0 src="$Grafico1$">
</p>
<center>

<table border="1" cellspacing="1">
  <tr>
```

```
  <td align="center"> </td>
  <td align="center"><b>$ms0102$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0103$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0104$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0105$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0106$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0107$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0108$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0109$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0110$</b></td>
  <td align="center"><b>$ms0111$</b></td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0201$</b></td>
  <td align="right">$ms0202$</td>
  <td align="right">$ms0203$</td>
  <td align="right">$ms0204$</td>
  <td align="right">$ms0205$</td>
  <td align="right">$ms0206$</td>
  <td align="right">$ms0207$</td>
  <td align="right">$ms0208$</td>
  <td align="right">$ms0209$</td>
  <td align="right">$ms0210$</td>
  <td align="right">$ms0211$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0301$</b></td>
  <td align="right">$ms0302$</td>
  <td align="right">$ms0303$</td>
  <td align="right">$ms0304$</td>
  <td align="right">$ms0305$</td>
  <td align="right">$ms0306$</td>
  <td align="right">$ms0307$</td>
  <td align="right">$ms0308$</td>
  <td align="right">$ms0309$</td>
  <td align="right">$ms0310$</td>
  <td align="right">$ms0311$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0401$</b></td>
  <td align="right">$ms0402$</td>
  <td align="right">$ms0403$</td>
  <td align="right">$ms0404$</td>
  <td align="right">$ms0405$</td>
  <td align="right">$ms0406$</td>
  <td align="right">$ms0407$</td>
  <td align="right">$ms0408$</td>
```

```
  <td align="right">$ms0409$</td>
  <td align="right">$ms0410$</td>
  <td align="right">$ms0411$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0501$</b></td>
  <td align="right">$ms0502$</td>
  <td align="right">$ms0503$</td>
  <td align="right">$ms0504$</td>
  <td align="right">$ms0505$</td>
  <td align="right">$ms0506$</td>
  <td align="right">$ms0507$</td>
  <td align="right">$ms0508$</td>
  <td align="right">$ms0509$</td>
  <td align="right">$ms0510$</td>
  <td align="right">$ms0511$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0601$</b></td>
  <td align="right">$ms0602$</td>
  <td align="right">$ms0603$</td>
  <td align="right">$ms0604$</td>
  <td align="right">$ms0605$</td>
  <td align="right">$ms0606$</td>
  <td align="right">$ms0607$</td>
  <td align="right">$ms0608$</td>
  <td align="right">$ms0609$</td>
  <td align="right">$ms0610$</td>
  <td align="right">$ms0611$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0701$</b></td>
  <td align="right">$ms0702$</td>
  <td align="right">$ms0703$</td>
  <td align="right">$ms0704$</td>
  <td align="right">$ms0705$</td>
  <td align="right">$ms0706$</td>
  <td align="right">$ms0707$</td>
  <td align="right">$ms0708$</td>
  <td align="right">$ms0709$</td>
  <td align="right">$ms0710$</td>
  <td align="right">$ms0711$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0801$</b></td>
  <td align="right">$ms0802$</td>
  <td align="right">$ms0803$</td>
```

```
  <td align="right">$ms0804$</td>
  <td align="right">$ms0805$</td>
  <td align="right">$ms0806$</td>
  <td align="right">$ms0807$</td>
  <td align="right">$ms0808$</td>
  <td align="right">$ms0809$</td>
  <td align="right">$ms0810$</td>
  <td align="right">$ms0811$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0901$</b></td>
  <td align="right">$ms0902$</td>
  <td align="right">$ms0903$</td>
  <td align="right">$ms0904$</td>
  <td align="right">$ms0905$</td>
  <td align="right">$ms0906$</td>
  <td align="right">$ms0907$</td>
  <td align="right">$ms0908$</td>
  <td align="right">$ms0909$</td>
  <td align="right">$ms0910$</td>
  <td align="right">$ms0911$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms1001$</b></td>
  <td align="right">$ms1002$</td>
  <td align="right">$ms1003$</td>
  <td align="right">$ms1004$</td>
  <td align="right">$ms1005$</td>
  <td align="right">$ms1006$</td>
  <td align="right">$ms1007$</td>
  <td align="right">$ms1008$</td>
  <td align="right">$ms1009$</td>
  <td align="right">$ms1010$</td>
  <td align="right">$ms1011$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms1101$</b></td>
  <td align="right">$ms1102$</td>
  <td align="right">$ms1103$</td>
  <td align="right">$ms1104$</td>
  <td align="right">$ms1105$</td>
  <td align="right">$ms1106$</td>
  <td align="right">$ms1107$</td>
  <td align="right">$ms1108$</td>
  <td align="right">$ms1109$</td>
  <td align="right">$ms1110$</td>
  <td align="right">$ms1111$</td>
```

```
  </tr>
</table>

<font face="Arial" size="2">Tabela de Tráfego(Erlangs) - Probabilidade de Bloqueio 
X  Número de Canais<br>
 </font>
</center>
<p><font color="#0000FF" size="1" face="Arial">©2002 DECOM, FEEC, UNICAMP.</font></p>

</body>
</html>
```

C.3 Página HTML de entrada de dados para o sistema de espera

```
<html><title>SimTel - Entrada de Dados Sistema de Espera</title>
<body bgcolor="#FFFFFF">

<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">
  <div align="center">
    <input type="hidden" name="mlmfile" value="trafego_c">
    <table width="94%" border="0" height="110">
      <tr>
        <td width="89%">
          <div align="center"><img src="calculador.jpg" width="665" height="89" usemap="#Map"
border="0"></div>
        </td>
        <td width="11%">
          <div align="right"><img src="logo_unicamp.jpg" width="60" height="68"></div>
        </td>
      </tr>
    </table>
  </div>
  <center>
    <h3>Sistema de Espera - Fórmula C de Erlang</h3>
  </center>
  <center>
    <table border=0>
<tr>
         <td>
        <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
          <input type="text" size = "8" value="0" name="N">Canais</p>
          <p>Fonte de Tr&aacute;fego(<b>A</b>):
          <input type="text" size = "8" value="0.0" name="A">Erlang</p>
          <p>Tempo de Aguardo para o Atendimento(<b>t</b>):
          <input type="text" size = "10" value="0" name="t">seg</p>
          <p>Tempo Médio de Ocupação dos Canais(<b>t<sub>m</sub></b>):
          <input type="text" size = "10" value="0" name="tm">seg</p>
```

```
    </td>

      <td width=35>
      <br></td>

      <td valign=center>
      <img src="/icons/formula_C2.jpg">
      </td>
</tr>

</table>
<p><input type="submit" name="Submit" value="Submeter"></p>
</center></form>

<p>Formula C de Erlang <b>P(&gt;t)</b><br>
<br>
A fórmula C de Erlang nos fornece a probabilidade de excesso de demora <b>P(&gt;t)</b>;
probabilidade de um certo tempo de espera <b>t</b> ser excedido. Porcentagem das
chamadas oferecidas que precisam esperar mais do que o tempo de duração <b>t</b>,
pelo inicio do atendimento.</p>

<p>No caso particular em que <b>t = 0</b>, teremos então a fórmula C de Erlang
<b>P(&gt;0)</b>, que nos fornece então a probabilidade de espera, isto é, retorna a
porcentagem das chamadas oferecidas que precisam aguardar para serem
completadas.<br>
<br>
Formula a ser usada no caso de:<br>
- tempos de ocupação distribuídos de forma exponencial;<br>
- Atendimento das chamadas na seqüência da chegada;<br>
- Numero infinito de fontes de tráfego;<br>
- Acessibilidade plena;<br>
- A &lt; N;<br>
<br>
<b>N</b> = Numero de troncos de saída (canais).<br>
<b>A</b> = Intensidade de trafego ou carga oferecida (em Erlang).<br>
<b>t</b> = Tempo de aguardo para o atendimento da chamada.<br>
<b>tm</b> = Tempo médio de ocupação dos troncos de saída.</p>

<p><font color="#0000FF" size="1" face="Arial">©2002 DECOM, FEEC, UNICAMP.</font></p>

<map name="Map">
  <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
  <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
  <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
  <area shape="rect" coords="1,70,157,88" href="SimTel.html">
  <area shape="rect" coords="157,71,412,90" href="trafego_ent.html">
  <area shape="rect" coords="411,70,664,87" href="trafego_c_ent1.html">
```

```
</map>
</body>
</html>
```

C.4 Página HTML de retorno de dados para o sistema de espera

```
<html><title>SimTel - Sistema de Espera</title>
<body bgcolor="#FFFFFF">

<form action="/cgi-bin/matweb.exe" method="POST">
  <div align="center">
    <input type="hidden" name="mlmfile" value="trafego_c">
    <table width="94%" border="0" height="110">
      <tr>
        <td width="89%">
          <div align="center"><img src="calculador.jpg" width="665" height="89"
usemap="#MapMap" border="0">
            <map name="MapMap">
              <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="413,95,648,112" href="trafego_c_ent1.html">
              <area shape="rect" coords="1,70,157,88" href="SimTel.html">
              <area shape="rect" coords="157,71,412,90" href="trafego_ent.html">
              <area shape="rect" coords="413,70,666,87" href="trafego_c_ent1.html">
            </map>
          </div>
        </td>
        <td width="11%">
          <div align="right"><img src="logo_unicamp.jpg" width="60" height="68"></div>
        </td>
      </tr>
    </table>
    <map name="Map">
      <area shape="rect" coords="1,95,157,114" href="SimTel.html">
      <area shape="rect" coords="158,96,415,113" href="trafego_ent.html">
    </map>
  </div>
  <center>
    <h3>Sistema de Espera - Fórmula C de Erlang</h3>
  </center>
  <center><table border=0>
    <tr>
         <td>
          <p>N&uacute;mero de Canais(<b>N</b>):
          <input type="text" size = "8" value="$can$" name="N">Canais</p>
          <p>Fonte de Tr&aacute;fego(<b>A</b>):
          <input type="text" size = "8" value="$tra$" name="A">Erlang</p>
```

```
            <p>Tempo de Aguardo para o Atendimento(<b>t</b>):
            <input type="text" size = "10" value="$t$" name="t">seg</p>
            <p>Tempo Médio de Ocupação dos Canais(<b>t<sub>m</sub></b>):
            <input type="text" size = "10" value="$tm$" name="tm">seg</p>
      </td>

        <td width=35>
        <br></td>

        <td valign=center>
        <img src="/icons/formula_C2.jpg">
        </td>
</tr>
</table>
<p><input type="submit" name="Submit" value="Submeter">      
O valor da probabilidade de espera <b>P(&gt;t)</b> é: <b>$pt$</b></p>
</center></form>

<p align="center">
<img border=0 src="$Grafico1$">
<img border=0 src="$Grafico2$">
</p>

<center>

<table border="1" cellspacing="1">
  <tr>
    <td align="center"> </td>
    <td align="center"><b>$ms0102$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0103$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0104$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0105$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0106$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0107$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0108$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0109$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0110$</b></td>
    <td align="center"><b>$ms0111$</b></td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms0201$</b></td>
    <td align="right">$ms0202$</td>
    <td align="right">$ms0203$</td>
    <td align="right">$ms0204$</td>
    <td align="right">$ms0205$</td>
    <td align="right">$ms0206$</td>
    <td align="right">$ms0207$</td>
```

```
    <td align="right">$ms0208$</td>
    <td align="right">$ms0209$</td>
    <td align="right">$ms0210$</td>
    <td align="right">$ms0211$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms0301$</b></td>
    <td align="right">$ms0302$</td>
    <td align="right">$ms0303$</td>
    <td align="right">$ms0304$</td>
    <td align="right">$ms0305$</td>
    <td align="right">$ms0306$</td>
    <td align="right">$ms0307$</td>
    <td align="right">$ms0308$</td>
    <td align="right">$ms0309$</td>
    <td align="right">$ms0310$</td>
    <td align="right">$ms0311$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms0401$</b></td>
    <td align="right">$ms0402$</td>
    <td align="right">$ms0403$</td>
    <td align="right">$ms0404$</td>
    <td align="right">$ms0405$</td>
    <td align="right">$ms0406$</td>
    <td align="right">$ms0407$</td>
    <td align="right">$ms0408$</td>
    <td align="right">$ms0409$</td>
    <td align="right">$ms0410$</td>
    <td align="right">$ms0411$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms0501$</b></td>
    <td align="right">$ms0502$</td>
    <td align="right">$ms0503$</td>
    <td align="right">$ms0504$</td>
    <td align="right">$ms0505$</td>
    <td align="right">$ms0506$</td>
    <td align="right">$ms0507$</td>
    <td align="right">$ms0508$</td>
    <td align="right">$ms0509$</td>
    <td align="right">$ms0510$</td>
    <td align="right">$ms0511$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms0601$</b></td>
    <td align="right">$ms0602$</td>
```

```
  <td align="right">$ms0603$</td>
  <td align="right">$ms0604$</td>
  <td align="right">$ms0605$</td>
  <td align="right">$ms0606$</td>
  <td align="right">$ms0607$</td>
  <td align="right">$ms0608$</td>
  <td align="right">$ms0609$</td>
  <td align="right">$ms0610$</td>
  <td align="right">$ms0611$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0701$</b></td>
  <td align="right">$ms0702$</td>
  <td align="right">$ms0703$</td>
  <td align="right">$ms0704$</td>
  <td align="right">$ms0705$</td>
  <td align="right">$ms0706$</td>
  <td align="right">$ms0707$</td>
  <td align="right">$ms0708$</td>
  <td align="right">$ms0709$</td>
  <td align="right">$ms0710$</td>
  <td align="right">$ms0711$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0801$</b></td>
  <td align="right">$ms0802$</td>
  <td align="right">$ms0803$</td>
  <td align="right">$ms0804$</td>
  <td align="right">$ms0805$</td>
  <td align="right">$ms0806$</td>
  <td align="right">$ms0807$</td>
  <td align="right">$ms0808$</td>
  <td align="right">$ms0809$</td>
  <td align="right">$ms0810$</td>
  <td align="right">$ms0811$</td>
</tr>
<tr>
  <td align="center"><b>$ms0901$</b></td>
  <td align="right">$ms0902$</td>
  <td align="right">$ms0903$</td>
  <td align="right">$ms0904$</td>
  <td align="right">$ms0905$</td>
  <td align="right">$ms0906$</td>
  <td align="right">$ms0907$</td>
  <td align="right">$ms0908$</td>
  <td align="right">$ms0909$</td>
  <td align="right">$ms0910$</td>
```

```
    <td align="right">$ms0911$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms1001$</b></td>
    <td align="right">$ms1002$</td>
    <td align="right">$ms1003$</td>
    <td align="right">$ms1004$</td>
    <td align="right">$ms1005$</td>
    <td align="right">$ms1006$</td>
    <td align="right">$ms1007$</td>
    <td align="right">$ms1008$</td>
    <td align="right">$ms1009$</td>
    <td align="right">$ms1010$</td>
    <td align="right">$ms1011$</td>
  </tr>
  <tr>
    <td align="center"><b>$ms1101$</b></td>
    <td align="right">$ms1102$</td>
    <td align="right">$ms1103$</td>
    <td align="right">$ms1104$</td>
    <td align="right">$ms1105$</td>
    <td align="right">$ms1106$</td>
    <td align="right">$ms1107$</td>
    <td align="right">$ms1108$</td>
    <td align="right">$ms1109$</td>
    <td align="right">$ms1110$</td>
    <td align="right">$ms1111$</td>
  </tr>
</table>

<font face="Arial" size="2">Tabela de Tráfego(Erlangs) - Probabilidade de Espera 
X  Número de Canais<br>
 </font>
</center>

<p align="left"> <font color="#0000FF" size="1" face="Arial">©2002 DECOM, FEEC,
  UNICAMP.</font></p>

</body>
</html>
```