

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VALTER KLEIN JUNIOR

**UM NOVO MODELO PARA GERAÇÃO DE TRÁFEGO MPEG**

CURITIBA

2012

VALTER KLEIN JUNIOR

## **UM NOVO MODELO PARA GERAÇÃO DE TRÁFEGO MPEG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração Sistemas de Comunicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso

CURITIBA

2012

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**VALTER KLEIN JUNIOR**

**UM NOVO MODELO PARA GERAÇÃO DE TRÁFEGO MPEG**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Ricardo Nabhen  
Escola Politécnica, PUCPR

Prof. Dr. Eduardo Parente Ribeiro  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Evelio M. García Fernández  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 31 de agosto de 2012

*Dedico este trabalho a minha esposa e a meu filho que nasceu durante esta fase de aprendizado.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a meus meus pais, pela vida. Agradeço o apoio incondicional da minha família que foi de suma importância para que esta dissertação fosse concluída. Não tenho palavras para agradecer e engrandecer o trabalho dos Professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, agradeço a chance de trabalhar com o Professor Doutor Carlos Marcelo Pedroso, que nos momentos de maior angústia e desnorsteio de minha parte demonstrava-me uma solução direta e objetiva para as minhas indagações.

## RESUMO

O estabelecimento de modelos para geração de tráfego tem grande importância para o estudo de desempenho de sistemas de transmissão de vídeo, como, por exemplo, o sistema IPTV (transmissão de televisão sobre IP). Modelos para geração sintética de tráfego são fundamentais para o teste e para simulação de sistemas de transmissão, permitindo a avaliação e previsão de desempenho. Esta dissertação apresenta um modelo para geração de fluxos de vídeo codificados com o codec MPEG, utilizando o tempo de duração da cena e o tipo de quadro codificado. Os filmes em estudo foram separados em cenas e foi verificado que tempo de duração das cenas não apresenta dependência temporal significativa. Como o tempo de duração das cenas não tem dependência temporal significativa esta grandeza foi relacionada a uma variável aleatória que respeita uma distribuição estatística Lognormal. As cenas foram separadas por tipos de quadro e foi verificado que o primeiro quadro de cada cena não apresenta dependência temporal, o que possibilitou a caracterização desta variável com distribuições de probabilidade. Para gerar os demais quadros tipo P e B que formam o filme codificado em MPEG foi utilizado a relação linear observada entre os quadros I, P e B. A caracterização das variáveis foi realizada através da análise de 16 vídeos com *traces* disponíveis publicamente. A verificação do modelo foi realizada através de simulações computacionais. Os resultados foram comparados com os *traces* reais e com outros modelos disponíveis na literatura para geração de tráfego sintético. Os resultados indicam que o modelo proposto imita corretamente as características do tráfego real, com baixa complexidade computacional, e melhor ou igual desempenho se comparado com os outros modelos disponíveis. Além disso, o modelo proposto fornece uma explicação sobre as causas da auto similaridade do tráfego de vídeo e pode ser aplicado para prever o tráfego de rede após uma adaptação de conteúdo de vídeo.

Palavras-chave: MPEG. Lognormal. Auto Similaridade.

## ABSTRACT

The models for workload generation are important to performance evaluation of video transmission systems, for example, the system IPTV (Television over IP). The models for generating synthetic traffic are employed for testing and simulation of transmission systems, allowing the evaluation and prediction of performance. This dissertation presents a model for workload generation of video streams encoded with the MPEG using the scene length and type of encoded frame. The films under study were divided into scenes. It was found that the scene length shows no significant time dependence. As the duration of the scenes have no significant time dependence it was possible to model this variable with the Lognormal probability distribution. The scenes were separated by frame types and was observed that the first frame of each scene has no time dependence. The first frame of a scene was modeled by a random variable with Normal probability distribution. In order to generate the P and B frames was employed a linear relationship between the I, P and B frames. The characterization of the variables was performed by analyzing sixteen publicly available traces. The model verification was performed by computer simulations. The synthetic trace generated by proposed model were compared with the real traces and with other models available in the literature. The results indicate that the proposed model mimics properly the characteristics of real traffic, with low computational complexity, and better or equal performance if compared with the other available models. Additionally, the proposed model provides an explanation on the causes of video traffic self-similarity and can be applied to foresee the network traffic after a video content adaptation.

Key words: MPEG. Lognormal. Self-Similarity.

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Tipos de Quadros MPEG. . . . .	20
2.2	Sequência de Transmissão dos quadros MPEG. . . . .	22
2.3	Sequência de Apresentação dos quadros MPEG. . . . .	22
4.1	Tamanho dos Quadros do Vídeo Akiko. . . . .	34
4.2	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros do vídeo Akiko. . .	35
4.3	Função de autocorrelação dos intervalo entre chegadas dos quadros do vídeo Akiko. . . . .	35
4.4	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o vídeo Akiko.	36
4.5	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros P para o vídeo Akiko . . . . .	37
4.6	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros B para o vídeo Akiko . . . . .	37
4.7	Modelo proposto. . . . .	39
4.8	Função de autocorrelação do tempo de duração da cena para o filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . . .	41
4.9	Distribuição do Tempo de Duração da Cena. . . . .	41
4.10	Teste de aderência QQPlot para o tempo de duração da cena para o filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . . .	42
4.11	Distribuição empírica de probabilidade para $\phi_I(s, 1)$ do filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . . .	44
4.12	Função de autocorrelação de $\phi_I(s, 1)$ do filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> .	45
4.13	QQplot entre distribuição Normal Teórica e Normal gerada por $\phi_I(s, 1)$ do filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . . .	46
4.14	QQplot entre distribuição Normal Teórica e Normal gerada por $\phi_I(s, 1)$ da Animação <i>Robin Hood</i> . . . . .	46
4.15	Densidade de probabilidade do tamanho dos quadros I de diversas cenas do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> , após aplicado o operador $\nabla^1$ (linhas pontilhadas), comparado com a distribuição Normal (linhas contínuas) . . . . .	48
4.16	Primeira imagem da Cena 59 do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . .	49
4.17	Primeira imagem da Cena 67 do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . .	49
4.18	Primeira imagem da Cena 131 do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . .	49

4.19	Primeira imagem da Cena 208 do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . .	49
5.1	SAVI algoritmo para geração de tráfego MPEG. . . . .	57
5.2	Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . . .	58
5.3	Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme <i>O Silencio dos Inocentes</i> . . . . .	59
5.4	Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . . .	59
5.5	Função de autocorrelação com a dependência de longa duração filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009). . . . .	60
5.6	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o filme <i>A Dama e o Vagabundo</i> . . . . .	62
5.7	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . . .	62
5.8	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do <i>Noticiário</i> . . . .	63
5.9	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme <i>Robin Hood</i> . . . . .	63
5.10	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . . .	64
5.11	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme <i>O Silêncio dos Inocentes</i> . . . . .	64
5.12	Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme <i>Competição de SKI</i> . . . . .	65
5.13	Função de autocorrelação com três desvios padrões gerados pelo SAVI	66
5.14	Cenário de simulação do NS2 . . . . .	67
5.15	Função de Autocorrelação da Fila do filme <i>A Dama e o Vagabundo</i> . . . .	68
5.16	Função de Autocorrelação da Fila do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . .	68
5.17	Função de Autocorrelação da Fila do filme <i>Robin Hood</i> . . . . .	69
5.18	Função de Autocorrelação da Fila do filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . .	69
5.19	Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme <i>A Dama e o Vagabundo</i> . . . . .	70
5.20	Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme <i>O Parque dos Dinossauros</i> . . . . .	70
5.21	Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme <i>Robin Hood</i> . . . . .	71
5.22	Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme <i>Guerra nas Estrelas Ep. IV</i> . . . . .	71

## LISTA DE TABELAS

4.1 Vídeos de Curta Duração Disponíveis Publicamente . . . . .	33
4.2 Filmes Analisados . . . . .	38
4.3 Caracterização do tempo de duração da cena . . . . .	43
4.4 Caracterização do tamanho do primeiro quadro I de uma cena . . . . .	47
4.5 Caracterização dos demais quadros I de uma cena . . . . .	47
4.6 Correlação entre os quadros I e primeiro quadro P dos filmes em estudo	52
4.7 Desvio Padrão dos primeiros quadros P . . . . .	52
4.8 Parâmetros da Distribuição Gamma $\alpha_P$ . . . . .	53
4.9 Correlação entre os quadros P e B dos filmes em estudo . . . . .	54
4.10 Desvio Padrão dos primeiros quadros B . . . . .	54
4.11 Parâmetros da Distribuição Gamma $\alpha_B$ . . . . .	55
5.1 Parâmetros do Modelo proposto por (GARRETT; WILLINGER, 1994). .	60
5.2 Parâmetros do Modelo proposto por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997). . . . .	61

## LISTA DE SIGLAS

ATM	Asynchronous Transfer Mode
Blu-ray	Blue Ray
CIF	Common Intermediate Format
codec	Encoder and Decoder
DCT	Discrete Cosine Transform
DVD	Digital Video Disc
FARIMA	Fractional Auto-regressive Integrated Moving Average
GOP	Group of Pictures
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ITU-T	International Telecommunication Union
MPEG	Moving Picture Experts Group
NTSC	National Television System Committee
NS2	Network Simulator version 2
PAL	Phase Alternating Line
QCIF	Quarter CIF
QQPlot	Quantile Quantile Plot
RGB	Red, Green, Blue
VoD	video on demand
YUV	Digital video format without compression

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\delta_s$	Tempo de duração da cena
$s$	Número da cena
$g$	Número de sequência do GOP
$\phi_I(s, g)$	Tamanho do quadro I no GOP $g$ da cena $s$
$\phi_P(s, g, i)$	Tamanho do quadro P com índice $i$ no GOP $g$ da cena $s$
$\phi_B(s, g, j)$	Tamanho do quadro B com índice $j$ no GOP $g$ da cena $s$
$\mu$	Média
$\sigma$	Desvio padrão
$H_0$	Hipótese
$\nabla^d$	Operador diferencial Nabla
$N(0, \sigma_{sg})$	Distribuição normal com média 0 e desvio padrão $sg$
$\rho$	Correlação
$\alpha$	Distribuição Gamma
$MAX_S$	Quantidade Cenas
$MAX_P$	Quantidade de Quadros P por GOP
$MAX_B$	Quantidade de Quadros B por GOP
$MAX_{GOP}(s)$	Quantidade de Quadros de um GOP



# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2 O PADRÃO MPEG</b>	<b>16</b>
2.1 Conceitos Básicos . . . . .	16
2.2 Padrão MPEG . . . . .	17
2.3 MPEG-4 . . . . .	19
2.3.1 Amostragem . . . . .	19
2.3.2 Quantização . . . . .	20
2.3.3 Tipos de Quadros . . . . .	20
2.3.4 Quadros I . . . . .	20
2.3.5 Quadros P . . . . .	21
2.3.6 Quadros B . . . . .	21
2.3.7 Grupo de Figuras . . . . .	21
<b>3 MODELOS DE TRÁFEGO PARA VÍDEO MPEG</b>	<b>24</b>

3.1	Modelo de Garret e Willinger . . . . .	24
3.2	Modelo de Krunz e Hughes . . . . .	25
3.3	Modelo de Krunz e Tripathi . . . . .	26
3.4	Classificação por categoria . . . . .	27
3.5	O Modelo de Dai, Zhang e Loguinov . . . . .	28
3.6	Tipos de Modelo de tráfego . . . . .	29
3.7	Cadeias de Markov com Memória . . . . .	30
3.8	Vídeos disponíveis publicamente . . . . .	31
<b>4</b>	<b>MODELO PROPOSTO</b>	<b>33</b>
4.1	Variáveis do modelo proposto . . . . .	38
4.2	Tempo de duração da cena . . . . .	39
4.3	Modelagem do tamanho do quadro I . . . . .	43
4.3.1	Modelagem do tamanho do primeiro quadro I da cena . . . . .	43
4.4	Modelagem dos demais quadros I da cena . . . . .	45
4.5	Modelagem do tamanho do quadro P . . . . .	50
4.6	Modelagem do tamanho do quadro B . . . . .	51
<b>5</b>	<b>GERAÇÃO DE CARGA SINTÉTICA</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>78</b>
<b>A</b>	<b>CÓDIGO FONTE DO SIMULADOR</b>	<b>79</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Na década de 50, a televisão tornou-se o sistema de massificação de informação mais abrangente do mundo, desde então vem sofrendo alterações provocadas por avanços tecnológicos que proporcionaram aos aparelhos de TV diminuir de tamanho e as emissoras, que no início somente transmitiam imagens em preto e branco, passaram a transmitir imagens coloridas e de alta definição, além de aumentar significativamente o número de canais providos para a população.

Com o advento da rede mundial de computadores, popularmente conhecida como Internet, a demanda por aplicações multimídia foi crescendo e criando novos serviços ao longo dos anos. Um dos serviços em expansão no Brasil é o IPTV, que consiste basicamente na utilização do protocolo IP (*Internet Protocol*) para a transmissão de vídeo. Conforme (CHA et al., 2008) para as operadoras de telecomunicações o IPTV é mais um atrativo para a manutenção da carteira de clientes e uma fonte de receita nova utilizando a estrutura já implantada para o serviço de acesso à Internet.

Para suportar a transmissão de sistemas IPTV, as redes de telecomunicações e o desempenho de seus componentes devem ser dimensionados para suportar a transferência de uma grande quantidade de informações continuamente. O conteúdo transportado por uma rede IPTV, conforme ilustrado por (SIMPSON, 2006), é vasto e agrega os serviços de voz, dados e vídeo. Este último pode ser do tipo *Broadcasting*, que permite a vários usuários assistirem a uma mesma programação, ou ainda vídeo sob demanda (*VoD Video On Demand*), onde cada usuário solicita um conteúdo específico para assistir. Esta diversidade implica em que os dados transportados dependem diretamente dos serviços que estão sendo solicitados. Os vídeos devem ser codificados para serem transportados por uma rede IP. O MPEG (*Moving Pictures Ex-*

perts Group) é o algoritmo codificador e decodificador (*codec*) utilizado para os filmes disponíveis em DVD (*Digital Video Disc*), para os atuais discos de Blu-ray (*Disco óptico de alta capacidade*) e também para a televisão de alta definição. O *codec* tem como função principal transformar as imagens de um vídeo em um conjunto de bits a serem transportados em uma rede de dados do provedor de serviço ao usuário final.

Para a realização do dimensionamento do sistema de transmissão para prover vídeo a arquitetura da rede e o conhecimento das características do tráfego são elementos essenciais. O transporte de vídeo com qualidade depende do correto dimensionamento de recursos da rede. Para isto, se faz necessário estudar o comportamento de certas medidas de interesse, através de ferramentas analíticas ou de simulação. Em ambos os casos, é necessário estabelecer um modelo que represente o sistema em estudo. De acordo com (FREITAS, 2008), a modelagem de sistemas pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Usualmente essa descrição toma forma de relações matemáticas, que no seu conjunto, constituem o que se denomina de modelo. Um bom modelo deve representar o comportamento dinâmico e estocástico do sistema real. O tráfego de vídeo apresenta frequentemente características auto similares conforme demonstrado por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009), (KRUNZ; TRIPATHI, 1997), (GARRETT; WILLINGER, 1994) entre outros. Um bom modelo para geração de tráfego de vídeo deve capturar este tipo de comportamento de dependência temporal, possibilitando assim ao projetista ou operador do sistema fazer previsões de desempenho, determinando os limites de operação, ou ainda testar um cenário em fase de projeto sem a necessidade de interferir em uma rede em funcionamento. Para desenvolver um modelo de tráfego dos vídeos que são transportados por uma rede de IPTV, é necessário analisar as características impostas pelo *codec*. O processo de codificação MPEG, utiliza a redundância temporal e espacial observada nas imagens a fim de diminuir a quantidade de bits para representá-las. Os modelos mais recentes para geração de tráfego de vídeo disponíveis utilizam séries

auto similares.

O objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo para geração de tráfego de vídeos codificados em MPEG, baseado no tempo de duração da cena e na estrutura de transmissão imposta pelo *codec*. O modelo proposto é denominado de SAVI (*Scene Aware Video Workload Generation Model*). No processo de modelagem foram utilizados os vídeos codificados em MPEG-4 disponibilizados por (FITZEK; REISSELEIN, 2001). Os vídeos foram separados buscando-se por características invariantes que possam ser vinculadas com fenômenos observáveis apresentando maior facilidade de uso em comparação a modelos utilizados atualmente. Os vídeos também foram separados em cenas e os dados de cada cena foram analisados. A comprovação da eficiência do SAVI foi realizada confrontando os dados do comportamento dos vídeos reais com os dados gerados por simulações computacionais. Estas análises foram realizadas com o apoio do programa estatístico R (R Development Core Team, 2011). Os resultados obtidos foram comparados com os modelos disponíveis na literatura.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 2 estão descritos os conceitos básicos para a compreensão do funcionamento do *codec* MPEG-4. No Capítulo 3 estão descritos os principais modelos para análise e geração de tráfego MPEG disponíveis na literatura. No Capítulo 4 está descrito o processo de análise dos vídeos codificados em MPEG-4 e apresentado um novo modelo para geração de tráfego MPEG, demonstrando as variáveis utilizadas no modelo além dos testes de aderência, também é apresentado em detalhes o algoritmo que descreve o funcionamento do SAVI. No Capítulo 5 são apresentados os resultados e a comparação com o modelo apresentado por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009). Esta comparação utiliza a função de autocorrelação para verificar o comportamento do tráfego gerado sinteticamente em comparação com o tráfego real. No Capítulo 6 são discutidos os resultados e são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### O PADRÃO MPEG

#### 2.1 Conceitos Básicos

Um vídeo é composto por uma sequência de imagens ou quadros que são gerados a uma taxa constante suficientemente alta para dar ilusão de movimento ao olho humano. Tipicamente os filmes nas salas de cinema utilizam 24 quadros por segundo e a programação televisiva utiliza uma taxa de 30 quadros por segundo. O olho humano, ao receber as imagens estáticas sequenciais a uma taxa alta, é submetido a um processo ilusório proporcionando a sensação de movimento. Conforme (SIMPSON, 2006), o olho possui três tipos de células específicas para a recepção de cores, chamadas de cones. Devido a este fato biológico, é possível representar uma cor utilizando três componentes numéricos. Cada componente numérico representa um espaço tridimensional composto pela intensidade e tonalidade da cor, os receptores apresentam sensibilidades para cada cor do espectro visível.

Um quadro é definido por um conjunto de bits que representa uma imagem, normalmente utilizando um conjunto de *pixels*. O *pixel* é o menor elemento utilizado para representar uma imagem digital. O *pixel* é representado através das informações de luminância e cromaticidade. A luminância é a grandeza associada ao brilho, a cromaticidade, é a grandeza responsável por diferenciar as imagens monocromáticas das imagens coloridas. No entanto, por causa da maior sensibilidade do olho humano à luminância, os sinais que representam as cores primárias, vermelho, verde e azul, devem ser combinadas em proporções diferentes para permitir a reprodução de uma grande gama de cores perceptíveis. Para um único *pixel* de uma imagem é necessário uma representação binária para as informações de posição, brilho e cor, acarretando

diversos bits necessários.

As imagens de vídeo normalmente possuem dois níveis de redundâncias: espacial e temporal. A redundância espacial faz referência à semelhanças entre partes de um mesmo quadro, por exemplo, uma imagem do céu azul possui muitos *pixels* semelhantes. A redundância temporal faz referência as semelhanças entre imagens subsequentes. Normalmente, os algoritmos de codificação utilizam estas características para reduzir a quantidade de informação necessária para representar um vídeo. A compressão ideal deve atender os preceitos de qualidade da imagem e quantidade de informações resultante após o processo de codificação. Conforme (KUROSE; ROSS, 2006) e (SIMPSON; GREENFIELD, 2009), existem vários codificadores de vídeo disponíveis, alguns proprietários, como por exemplo o *QuickTime da Apple*, e outros definidos por padronizações, como o MPEG (*Moving Picture Experts Group*) da ISO (ITU, 2003), que é um grupo de especificações para codificação de vídeo e áudio. Segundo (SIMPSON, 2006) o padrão MPEG é um dos sistemas de codificação mais utilizados no mundo.

## 2.2 Padrão MPEG

Entre as especificações existe o MPEG-1 conforme descrito por (SIMPSON; GREENFIELD, 2009) e por (SEELING; REISSLEIN; KULAPALA, 2004), desenvolvido em meados dos anos 90. Este padrão possibilita a transferência de dados com taxa de transmissão de 1Mbps. Apesar de existirem muitas aplicações desenvolvidas para computadores pessoais, câmeras de baixo custo e câmeras para vídeo conferência via Internet, este padrão não tem capacidade para suportar o modo entrelaçado de vídeo que é utilizado pelos sistemas de transmissão PAL (*Phase Alternating Line*), NTSC (*National Television System Committee*) e vídeos em alta definição que podem ser do tipo 720p (1240x720) ou ainda 1080i (1920x1080) (SIMPSON, 2006). O MPEG-2 foi desenvolvido tendo como base o MPEG-1. O MPEG-4, introduzido em 1998 e apro-

vado em 2000, apresenta melhorias sobre o MPEG-2, exigindo comparativamente menores taxas de transmissão possibilitando assim uma redução em torno de cinquenta por cento na largura de banda utilizada. Este padrão que atualmente é conhecido como MPEG-4 parte 14, descrito em (ITU, 2003), diferencia-se do padrão MPEG-2 pela facilidade de codificar a imagem considerando-a como sendo objetos distintos. Por exemplo, em uma transmissão esportiva em que existe a necessidade de informar o placar e algumas propagandas, que são informações distintas, quando se utiliza o MPEG-2, todas estas informações devem ser adicionadas a uma imagem e codificadas em conjunto para serem fornecidas ao telespectador. Isto obriga a realização de um pré processamento que para transmissões em tempo real, pode acarretar em um atraso do sinal. No entanto quando se faz uso do MPEG-4, a imagem esportiva, o placar e a propaganda são objetos que são processados e codificados separadamente e entregues ao decodificador que monta a imagem conforme indicado pelo responsável da transmissão. Com esta facilidade é possível transportar propagandas locais em uma transmissão ao vivo sem interromper ou afetar o fluxo de dados.

Antes de explorar o funcionamento do codec MPEG-4, é necessário compreender o sistema de codificação de cores, que já é bastante utilizado em sistemas de televisão colorida convencional, aparelhos de DVD e no próprio aparelho de reproduzidor de vídeos *broadcasting*. Este sistema é conhecido como RGB (SEELING; REISSLEIN; KULAPALA, 2004), que trabalha através de combinações das três cores primárias: Vermelho (R *Red*), Verde (G *Green*) e Azul (B *Blue*). Para transportar menos informações é necessário transformar o espaço de cor RGB em um espaço de cor composto que utiliza a luminância como referência e tem como símbolo a letra (Y). As outras cores são chamadas de sinais de diferença de cor, pois as cores azul e vermelha são removidas da luminância. A diferença de cor luminância azul é conhecida como croma azul simbolizada por (Cb) e a diferença de cor luminância vermelho é conhecida como croma vermelha e simbolizada por (Cr), fornecendo assim o sinal de vídeo analógico YCrCb. Este sinal é digitalizado bloco a bloco com configurações diferentes, dependendo da aplicação e da utilização do sinal de vídeo.



O codec MPEG faz uso de um processo hierárquico que utiliza a redundância temporal e espacial para reduzir a quantidade de bits para representar um quadro. A redundância temporal leva em consideração as informações contidas em quadros sucessivos em função do tempo, fazendo uso da estimação e compensação de movimento. A redundância espacial leva em consideração as informações contidas em um mesmo quadro .

## 2.3 MPEG-4

O padrão MPEG (ITU, 2003), assim como o padrão JPEG, é baseado em codificação por blocos.

O macro bloco, conforme descrito por (SEELING; REISSLEIN; KULAPALA, 2004), é a junção de quatro blocos de  $8 \times 8$  *pixels*. O macro bloco é utilizado para a codificação dentro da mesma imagem para realizar a compensação de movimento através do vetor de movimento. A função do vetor de movimento é informar as modificações ocorridas usando como referência uma imagem passada.

### 2.3.1 Amostragem

No processo de amostragem 4:2:0, quatro *pixels* serão utilizados para representar uma amostra de luminância e duas amostras de croma, sendo uma de croma Cr e outra de croma Cb. Na configuração 4:2:2 dois *pixels* serão utilizados para retirar uma amostra de luminância e duas amostras de croma: uma croma Cr e croma Cb. Na configuração 4:4:4 para cada *pixel* será retirada uma amostra de luminância e duas amostras de croma: uma de croma Cr e outra de croma Cb. Após aplicado ao processo de amostragem é aplicado o algoritmo de DCT (*Discrete Cosine Transform*), de forma a identificar a redundância espacial entre os blocos. Este processo transforma as informações retiradas na amostragem em coeficientes de frequências

que são ordenados em uma tabela de forma a agrupar as frequências de valores mais baixos na parte superior esquerda de uma matriz de 8x8.

### 2.3.2 Quantização

O processo de quantização tem o intuito reduzir a quantidade de dados fornecidos ao codificador. A quantização é um processo de compactação que impacta diretamente nas características visuais da imagem com influência direta na qualidade: quanto maior for a compactação imposta pelo processo menor será a qualidade final da imagem.

### 2.3.3 Tipos de Quadros

Para aproveitar as características de redundância temporal, o MPEG utiliza três tipos de quadros para representar uma imagem. A Figura 2.1 ilustra os quadros utilizados para fazer a codificação e decodificação.

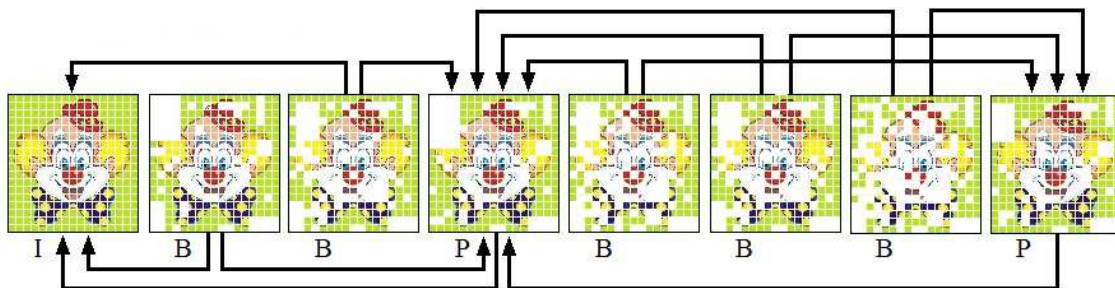


Figura 2.1: Tipos de Quadros MPEG.

### 2.3.4 Quadros I

Conforme mostrado por (SIMPSON, 2006), o quadro I (*intra frame*) é de suma importância para a decodificação da imagem, pois é o único quadro que pode ser decodificado sem ter referência dos outros quadros transmitidos. Portanto, conforme

(BEGEN; GLAZEBROOK; STEEG, 2009), o receptor ficará sem informação enquanto não receber um quadro do tipo I intacto.

### 2.3.5 Quadros P

Estes quadros são do tipo preditivos, são representados pela letra P que vem do inglês (*predicted frame*). Para a sua codificação é necessário utilizar a informação do quadro atual e a informação de um quadro P ou quadro I anterior. Os quadros P fazem uso da compensação de movimento, que são baseados nas informações contidas nos quadros P e I anteriores.

### 2.3.6 Quadros B

Estes quadros são do tipo interpolados, são representados pela letra B que vem do inglês (*bidirectional*). Para a sua codificação, é necessária a informação do quadro atual e informações de quadros I e P posteriores ou anteriores.

### 2.3.7 Grupo de Figuras

O Grupo de Figuras GOP (*Group of Pictures*) é definido pela sequência de quadros iniciada por um quadro I. O tamanho do GOP influencia diretamente na taxa de bits necessária e na qualidade do vídeo a ser entregue ao receptor. Conforme (SIMPSON, 2006), quanto maior o tamanho do GOP, menor será a tolerância aos erros de transmissão e quanto menor for o tamanho do GOP, maior a taxa de bits por segundo necessária. Isso ocorre porque o processo de codificação aumentará a quantidade de quadros do tipo I. Para o bom desempenho de uma rede que transporta vídeo é primordial a escolha do tamanho do GOP. Os vídeos analisados neste trabalho utilizam o tamanho do GOP com 12 quadros.

Por causa de características impostas pelo *codec* estes quadros são enviados para

o receptor com uma sequência diferente da sequência utilizada para a codificação. A Figura 2.2 demonstra a sequência de transmissão para o decodificador. A sequência de apresentação e montagem dos quadros está exemplificada na Figura 2.3. Segundo (SEELING; REISSLEIN; KULAPALA, 2004) esta diferença existe para que o decodificador inicie o processo de apresentação do filme, já que o quadro P é codificado tendo como referência o quadro I anterior ou o quadro P antecessor. Para o processo de codificação do quadro o mesmo utiliza o quadro I ou o quadro P anterior, caso a sequência de transmissão não seja alterada o decodificador não terá as informações necessárias para montar o vídeo já que os quadros P e B são referenciados ao quadro I anterior e não contém informações suficientes para serem decodificados sem referências anteriores. Portanto, a sequência de codificação é a mesma sequência de apresentação do vídeo e a sequência de transmissão é distinta.

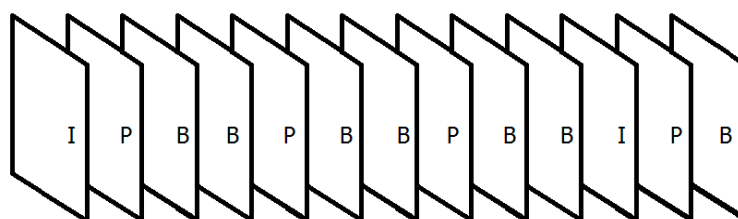


Figura 2.2: Sequência de Transmissão dos quadros MPEG.

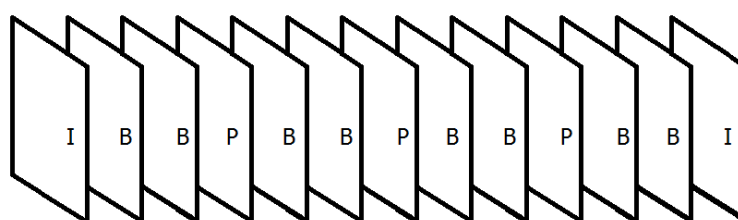


Figura 2.3: Sequência de Apresentação dos quadros MPEG.

A estrutura do GOP no MPEG pode ser representada por uma tupla  $(N,M)$ , onde  $N$  representa a quantidade de quadros do GOP e  $M$  representa a quantidade de quadros B consecutivos, por exemplo,  $(12,2)$  denota uma estrutura de quadros para um grupo de figuras formado pela sequência de quadros I-B-B-P-B-B-P-B-B-P-B-B, que será repetida continuamente ao longo da duração do vídeo.

Neste capítulo foram descritas as principais características do padrão MPEG. No próximo capítulo serão apresentados os principais modelos para geração de tráfego MPEG disponíveis na literatura atualmente.

## CAPÍTULO 3

### MODELOS DE TRÁFEGO PARA VÍDEO MPEG

Existem três maneiras distintas de estudar o tráfego de uma rede de dados: A primeira é através da análise do comportamento da rede em tempo real de acordo com a carga imposta por seus usuários. Esta técnica é muito utilizada para manutenção e ações corretivas. Normalmente esta análise é realizada em redes ativas. O segundo método é analisar os arquivos de registro (*trace*) dos eventos da rede. Nos *traces* são encontrados todas as solicitações dos usuários e as reações da rede, esta análise ocorre de maneira tardia após os acontecimentos impossibilitando uma ação corretiva antecipada. O terceiro método de estudo descrito na literatura atualmente é através dos modelos de tráfego que utilizam relações e equações matemáticas para representar o comportamento da rede. Os modelos de tráfego têm por finalidade auxiliar na alocação de recursos e possibilitar a realização de um projeto com maior eficiência. Neste capítulo serão apresentados os modelos de tráfego mais importantes para vídeo MPEG, disponíveis na literatura.

#### 3.1 Modelo de Garret e Willinger

No trabalho realizado por (GARRETT; WILLINGER, 1994), foi modelado o tráfego de um fluxo de vídeo para averiguar a largura de banda necessária para a sua transmissão. Para modelagem foi analisado o filme *Guerra nas Estrelas Episódio IV*. Segundo os autores, este filme foi escolhido porque contém uma diversidade de cenas que representam alguns gêneros de filmes, como ação, suspense e romance. A codificação utilizada foi a MPEG-1 com Transformada Discreta de Cossenos e compactada com o algoritmo de Huffman. Como o vídeo era considerado longo, foi es-

colhido trabalhar unicamente com os dados de luminância, gerando assim um vídeo monocromático com as seguintes características: duas horas de duração, 171.000 quadros, 24 quadros por segundo, com uma definição de 480x504 *pixels*. O modelo proposto utilizou um gerador de movimento Browniano Fracionário para o tamanho dos quadros a serem transmitidos em conjunto com um processo *FARIMA* (*Fractional Auto-regressive Integreted Moving Average*) para reproduzir o comportamento de dependência de longa duração. O modelo  $FARIMA(\phi, d, \theta)$  é descrito por (ADAS, 1997), onde  $d$  está relacionado com o parâmetro de Hurst, conforme descrito em (LIU et al., 1999). Neste trabalho os autores não levaram em consideração os diferentes tipos de quadro ou a divisão do GOP utilizada pelo MPEG.

### 3.2 Modelo de Krunz e Hughes

Um modelo que leva em consideração o tempo de duração da cena e o tipo do quadro MPEG para gerar uma sequência sintética foi proposto em (KRUNZ; HUGHES, 1995), motivado pelo fato de que até a sua execução os trabalhos realizados somente modelavam o comportamento dos quadros I, sem levar em consideração os quadros P e B. Para desenvolver o estudo foram utilizados 23 minutos do filme *O Mágico de Oz*, codificado em MPEG-1 com o GOP (15,2). Ao observar a taxa de transmissão instantânea, foi constatado que as maiores taxas representam a transmissão dos quadros I. Foi observado que o tamanho do quadro I tende a permanecer com uma mesma média dentro de uma cena, portanto a modificação do tamanho do quadro I é um forte indicativo de que ocorreu a troca de uma cena no filme. Para modelar o tempo de duração de uma cena foi utilizada a distribuição geométrica. Para modelar o comportamento do vídeo, o fluxo de dados foi separado de acordo com o tipo do quadro. O tamanho dos quadros I, P e B foi modelado utilizando distribuição Lognormal. O modelo desenvolvido gera o tempo de duração da cena utilizando uma distribuição geométrica, enquanto este tempo não for atingido são utilizadas três distribuições Lognormal para gerar independentemente os quadros I, P e B e formar o GOP. O modelo foi utilizado

para gerar vários fluxos MPEG para verificar o desempenho de redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) quando submetida a vários fluxos VBR. O modelo proposto não leva em consideração a existência de cenas menores que um segundo ou com mais de trinta segundos. Ao desprezar cenas com mais de 30 segundos para realizar a modelagem, os autores limitaram o tempo de duração das cenas. Em comparação, no modelo proposto nesta dissertação não foi estabelecido um limite superior para o tempo de duração da cena. Além disso, foram analisados 16 vídeos e em todos foi encontrada uma distribuição Lognormal para o tempo de duração da cena.

### 3.3 Modelo de Krunz e Tripathi

O modelo proposto em (KRUNZ; TRIPATHI, 1997) foi desenvolvido utilizando os *traces* dos filmes *Guerra nas Estrelas Episódio IV*, *O Mágico de Oz*, *O Silêncio dos Inocentes* e *O Homem do Dedo de Ouro da série James Bond*. Os autores identificaram a dependência de longa duração com relação aos tamanhos dos quadros I, P e B através da função de autocorrelação do tamanho dos quadros. Também foi evidenciado que a variação brusca do tamanho do quadro I denota a troca de uma cena. O método utilizado para identificar o momento da troca das cenas foi o mesmo descrito por (KRUNZ; HUGHES, 1995). Ao utilizar este procedimento, foi possível determinar uma distribuição estatística para reproduzir este comportamento. O tempo de duração da cena foi modelada utilizando uma distribuição geométrica, e os autores também desprezaram as cenas longas. Para modelar o tamanho dos quadros I, foi utilizada a soma de duas variáveis aleatórias: a primeira representa o nível de atividade da cena, este nível de atividade é dado pelo tamanho médio dos quadros I da cena, que foi modelado através de uma distribuição Lognormal. A segunda representa a diferença de tamanho dos quadros I da mesma cena, que foi modelada através de uma série autorregressiva do tipo AR(2). Para modelar os quadros P e B foram utilizadas distribuições do tipo Lognormal. Os autores consideraram que a modificação da cena altera somente o tamanho dos quadros I e não consideram as características de dependência



temporal entre os quadros do mesmo GOP.

No Capítulo 5 será mostrado que este modelo não é capaz de reproduzir adequadamente as características de dependência de longa duração observada no tráfego real. Isto ocorre principalmente em virtude da distribuição de probabilidade utilizada para identificar o tamanho de duração da cena, uma vez que os autores desprezaram as cenas longas no processo de modelagem. Nesta dissertação, será demonstrado que o tempo de duração da cena tem um papel fundamental na geração de tráfego de vídeo, sendo fator fundamental para a auto-similaridade do tráfego observado em sistemas reais.

### **3.4 Classificação por categoria**

(MANZONI; CREMONESI; SERAZZI, 1999) apresenta a análise de 20 diferentes tipos de *traces* codificados em MPEG-1, que foram divididos em quatro categorias distintas: filmes, esportes, programas de auditório e vídeo clipes musicais. Foi determinada esta divisão para analisar qual o efeito da categoria do filme no tráfego gerado dos dados quando transportados por uma rede ATM. Na análise inicial foi verificado que cada categoria de vídeo tem um comportamento distinto, de acordo com a cena, pois a cena é diretamente influenciada pela localidade física de onde acontece a ação. Por exemplo: as modificações de cenas ocorrem com mais intensidade em uma corrida de carros do que em um telejornal. O primeiro passo realizado foi identificar o momento da troca de enquadramentos, onde os autores afirmam que analisando os dados do trace é possível prever o comportamento da cena através de dados passados recentes. No entanto, as cenas identificadas não correspondem ao conjunto de imagens observadas pelo espectador mas sim um comportamento em comum de um bloco de quadros I que estão sendo transmitidos. Este comportamento em comum é média e o desvio padrão dentro de uma janela determinada, que tem valor alterado de acordo com a categoria. No trabalho realizado por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997), a afirmação é que uti-

lizando os limiares encontrados existe uma boa aproximação das cenas identificadas pelo algoritmo com relação as cenas vistas pelo espectador. Neste trabalho também só foram levados em consideração o tamanho dos quadros I para analisar o comportamento do vídeo e criar um gerador de tráfego sintético, sendo desconsiderada a correlação existente entre os demais quadros que fazem parte do *trace*. O modelo desenvolvido utiliza a análise estatística de oito variáveis distintas para cada filme. Estas variáveis são inseridas em uma matriz de decisão que fornece três comportamentos de tráfego, cada comportamento representa uma taxa de bits instantânea que foi utilizada para testar a capacidade de *buffer* e a alocação de células de um sistema ATM.

### 3.5 O Modelo de Dai, Zhang e Loguinov

No trabalho realizado por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009), os autores demonstram que, das diversas características encontradas no tráfego de vídeo, as que mais influenciam no transporte do mesmo são a distribuição de probabilidade do tamanho dos quadros e a função de autocorrelação entre os mesmos. A função de autocorrelação demonstra as dependências de longa e curta duração dos dados, e também é utilizada para comparar o comportamento dos dados teóricos com os dados gerados sinteticamente. Nos estudos realizados por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009) fica evidenciado que vários modelos utilizam distribuições de probabilidade para modelar o tamanho dos quadros a serem transportados. Em alguns casos são utilizadas distribuições de probabilidades simples como, por exemplo, a distribuição Lognormal, em outros são utilizados combinações entre duas distribuições de probabilidade, por exemplo, Gamma/Pareto. Outros modelos estão classificados como auto similares e utilizam um estimador de autosimilaridade conhecido como parâmetro de *Hurst*. A motivação para o desenvolvimento deste modelo é a observação que o tráfego MPEG apresenta dependência de curta e longa duração. Para o desenvolvimento do trabalho foram analisados 12 vídeos codificados em MPEG-4 e os resultados indicam que existe uma

relação linear entre os quadros I e os quadros P e B do mesmo GOP. Esta é a evidência da causa da dependência de curta duração. Para modelar o tamanho dos quadros I, foi utilizado um modelo auto similar que resulta em características de dependência de longa e curta duração. De posse do tamanho do quadro I e da correlação existente entre I e P estima-se o primeiro quadro P, de posse do primeiro quadro P e da correlação existente entre os quadros P e B estima-se o primeiro quadro B, os demais quadros P's e B's do mesmo GOP são gerados através da adição de um resíduo com distribuição Gamma. Para a geração dos quadros I, foi sugerido o uso de um modelo auto similar, identificando o parâmetro de Hurst através da transformada de *wavelet*, que captura a dependência de longa duração observada no tráfego real, sem especificar um modelo para trocas de cena.

### 3.6 Tipos de Modelo de tráfego

No trabalho realizado por (SARKAR; RAMAKRISHNAN; SARKAR, 2003) é demonstrada a existência de dois tipos de modelos de tráfego, o primeiro é classificado como modelo de transmissão de dados *Data Rate Models*, que tem por finalidade prever a taxa de chegada e o tamanho dos pacotes a serem entregues à rede. Estes modelos são muito utilizados para prever perdas na rede, porém não tem a capacidade de demonstrar qual a porcentagem dos quadros afetados de um vídeo. Uma pequena taxa de perdas nos quadros I afeta significativamente a qualidade do vídeo recebido, porém a mesma perda se imposta aos quadros B a qualidade do vídeo não é drasticamente afetada. Ao utilizar a modelagem que leva em consideração o tamanho e o tipo do quadro MPEG, é possível prever o impacto na qualidade do vídeo causado pelas perdas durante a transmissão, possibilitando um projeto de rede mais confiável. Porém existem poucos modelos que utilizam a modelagem individualizada por quadros. Um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento destes modelos são as distribuições estatísticas distintas que cada tipo de quadro impõe ao processo de modelagem. O modelo desenvolvido por (SARKAR; RAMAKRISHNAN; SARKAR, 2003)

leva em consideração a estrutura do GOP e o tamanho dos quadros a serem transportados. Para modelar o comportamento de cada tipo de quadro foram utilizadas sete classes diferentes na cadeia de Markov dependendo do tamanho do quadro. Cada classe é modelada por uma distribuição Gamma. O modelo desenvolvido utiliza 21 distribuições Gamma distintas para gerar o tráfego sintético de um vídeo codificado em MPEG. Para realizar a modelagem o primeiro passo foi dividir o filme em *clips* semelhantes, onde *clip* (é o agrupamento dos GOPs com os tamanhos em bytes similares), para isso foi utilizado a média do tamanho dos GOPs. Após realizada a divisão por *clips*, os clips foram classificados em sete classes distintas. Cada classe foi subdividida de acordo com os tipos de quadro utilizados no MPEG (I, P e B). Este processo é necessário para identificar os parâmetros de forma e escala da distribuição Gamma. Para gerar o tráfego sintético o algoritmo utiliza um modelo Markoviano que determina qual a classe a ser utilizada e qual o tipo de quadro a ser gerado enquanto não for atingido o valor máximo de GOPs informado no início do algoritmo. Neste trabalho fica evidenciado que um modelo que leva em consideração a estrutura de quadros do MPEG pode ser melhor aproveitado para simulações de perdas em uma rede, possibilitando a simulação de perdas de somente um tipo de quadro MPEG.

### **3.7 Cadeias de Markov com Memória**

Em (ROSE, 1999) é apresentado um método para produzir tráfego de vídeo VBR utilizando cadeias de Markov com memória, de forma a imitar a estrutura de autocorrelação observada no tráfego real. A idéia é observar a taxa instantânea gerada pela transmissão do vídeo e produzir um estado na cadeia de Markov para cada taxa média tipicamente observada. Enquanto estiver em um determinado estado, o gerador irá produzir tráfego com uma determinada taxa média, que sofre uma variação modelada por uma distribuição de probabilidade. Após um determinado período de tempo, ocorre uma transição de estado e o sistema passa a gerar tráfego com outra taxa média. Cada estado é descrito por uma taxa média de geração de tráfego e um tempo

médio de permanência. O autor mostra que é possível imitar perfeitamente a estrutura de autocorrelação observada no tráfego real. No entanto, é muito difícil descobrir o número de estados necessários. É apresentado um algoritmo real heurístico capaz de descobrir o número de estados. O autor reconhece que ao final do processo, o número de estados necessários se aproxima do número de cenas do filme.

### 3.8 Vídeos disponíveis publicamente

(FITZEK; REISSLEIN, 2001) codificaram diversos vídeos em MPEG-4/H.264 e os disponibilizaram publicamente. Os vídeos disponibilizados são: *O Parque dos Dinossauros*, *O Silêncio dos Inocentes*, *Guerra nas Estrelas Episódio IV*, *Mister Bean*, *Jornada nas Estrelas O Primeiro Contato*, *A Firma*, *Fórmula 1*, *Liga dos Campeões Final de 1996*, *Telejornal Alemão*, *Programa de Auditório de Domingo*, *Programa de Auditório Noturno e Vídeos de uma Câmera Observando uma Pessoa em Frente a um Computador*. Todos estes vídeos estavam no formato de fitas de vídeo cassete e foram capturados com o formato YUV, sem compressão de dados. Os vídeos foram armazenados no formato QCIF *Quarter Common Intermediate Format*, com subamostragem de 4:1:1 e quantização de 8 bits. Para evitar problemas com o *hardware*, os vídeos de 60 minutos foram separados em sequências de 22.501 quadros (que equivalem a 15 minutos de vídeo), utilizando um espaço em disco de 855.398.016 bytes. Os arquivos em YUV foram utilizados como arquivos de entrada para os codificadores MPEG-4 e H.264. Para a codificação dos vídeos foram utilizados os seguintes parâmetros: somente um objeto, definição de 176x144, 8 bits por pixel e 25 quadros por segundo. O GOP foi configurado para ser do tipo (12,2). Para produzir variações na qualidade do vídeo, foram modificados os parâmetros de quantização, gerando assim vídeos de baixa, média e alta qualidade.

Este capítulo apresentou os principais modelos disponíveis na literatura para geração de tráfego de vídeo. O próximo capítulo apresentará um novo modelo, que utiliza ca-

racterísticas apresentadas por outros autores e introduz algumas novidades, como uma nova abordagem na modelagem do tempo de duração da cena. O modelo proposto apresenta vantagens em relação aos modelos disponíveis, que serão detalhadas mais adiante.

## CAPÍTULO 4

### MODELO PROPOSTO

Neste capítulo será apresentado um novo modelo para geração de tráfego MPEG baseado na estrutura de cenas de um filme.

Para a análise do tráfego de vídeo, é necessário acompanhar o comportamento do fluxo de dados sendo transportado por uma rede e coletar os dados desta transmissão, ou seja, analisar os arquivos que contêm a estrutura dos dados transportados por uma rede em ambiente controlado, estes arquivos são chamados de *traces* gerados.

A análise do fluxo de dados em tempo real para a construção de um modelo deve ser realizada com cautela e com todas as etapas de transmissão com redundância para evitar perdas tornando assim esta análise em um processo dispendioso. A alternativa mais prática disponível para a confecção de um modelo é a análise de *traces* que estão disponibilizados publicamente por (FITZEK; REISSLEIN, 2001). Em um primeiro momento foram analisados os vídeos de (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003), descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Vídeos de Curta Duração Disponíveis Publicamente

Título	Duração (seg)	Tamanho em M(bytes)
Akiko	12	1,0
Bus	6	4,2
Coastguard	12	6,6
Conatiner	12	2,3
Football	3	1,5

Estes vídeos são de curta duração e foram utilizados em trabalhos anteriores descritos na literatura para o desenvolvimento de modelos de tráfego. Para analisar o tráfego gerado por estes vídeos foi necessário codificá-los no padrão MPEG-4 utilizando a ferramenta de codificação disponível em (NIEDERMAYER, 2012). Os vídeos

estão disponíveis no formato YUV, que é o formato de vídeo analógico de referência para entrada do codificador. Após a codificação, foi realizada a transmissão com a ferramenta de transmissão MP4trace disponível em (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2012), utilizando uma rede contendo um servidor de vídeo e um usuário, ambos com conexão direta ao roteador. A coleta de dados foi realizada na saída do servidor de vídeo, com o intuito de verificar o intervalo de chegada dos pacotes. Na Figura 4.1 é apresentada a série formada pelos tamanhos de todos os quadros sucessivos da sequência de apresentação do vídeo *Akiko*.

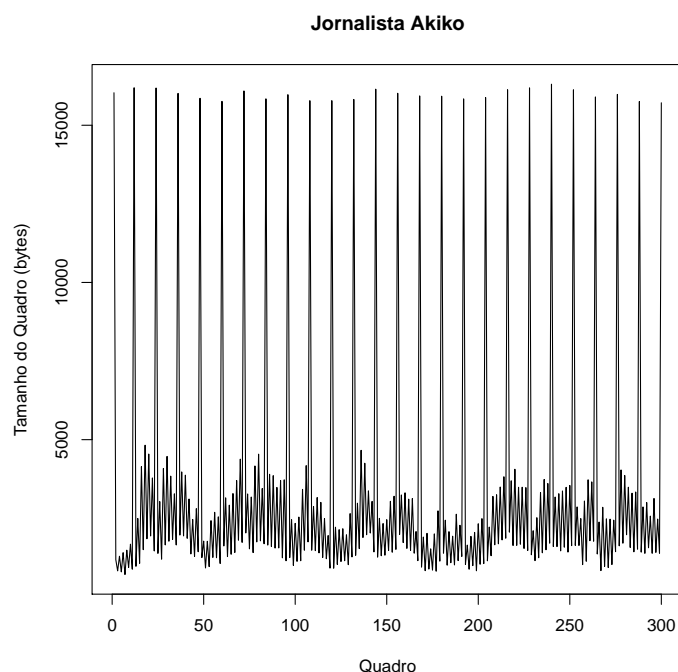


Figura 4.1: Tamanho dos Quadros do Vídeo Akiko.

Para realizar a análise do tráfego de dados é necessário avaliar a função de autocorrelação do tamanho dos quadros. A Figura 4.2 apresenta esta função para o tamanho dos quadros evidenciando a existência da dependência de curta e longa duração conforme demonstrado por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009).

Na Figura 4.3 é apresentada a função de autocorrelação dos intervalos entre chegadas de pacotes. Pode-se observar que o intervalo entre chegadas não apresenta dependência de curta ou de longa duração.



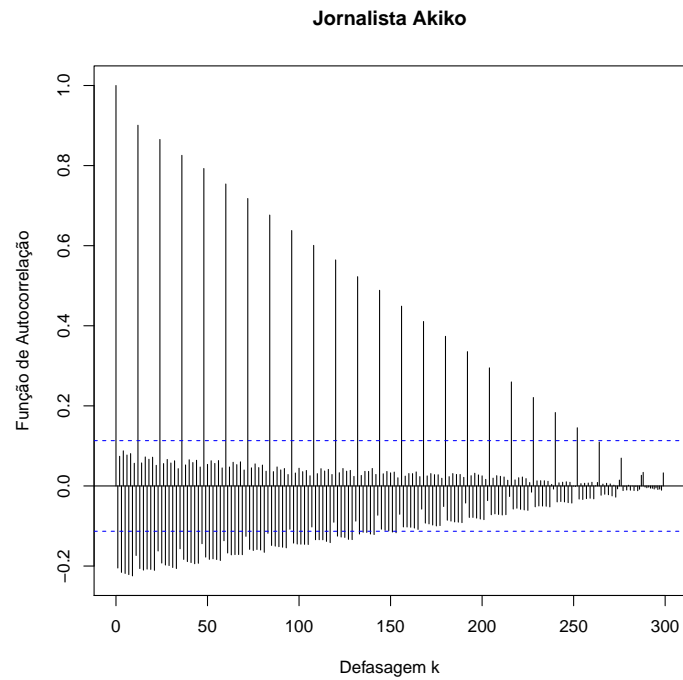


Figura 4.2: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros do vídeo *Akiko*.

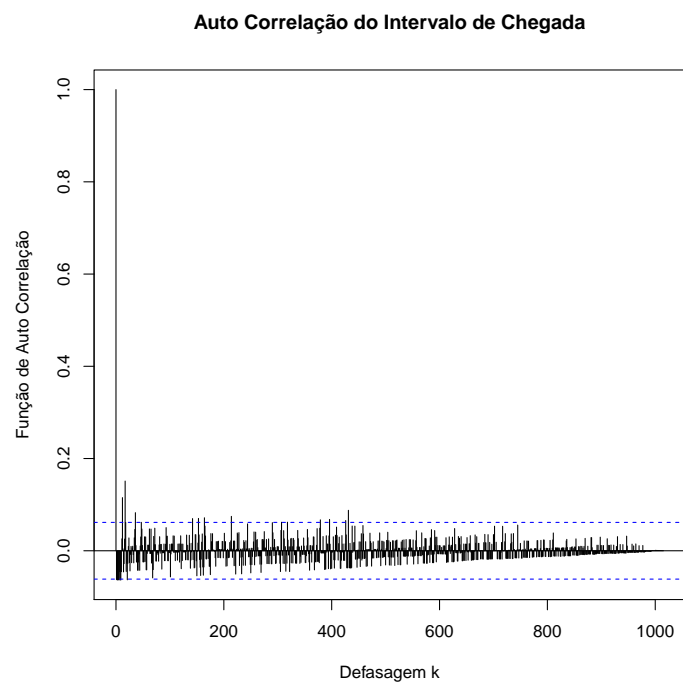


Figura 4.3: Função de autocorrelação dos intervalo entre chegadas dos quadros do vídeo *Akiko*.

Ao realizar a separação por tipos de quadros a dependência de longa duração deixa de existir. Para a verificação deste efeito se faz necessário avaliar a função de autocorrelação para cada tipo de quadro, a Figura 4.4 mostra a função de autocorrelação dos quadros I do vídeo *Akiko*.

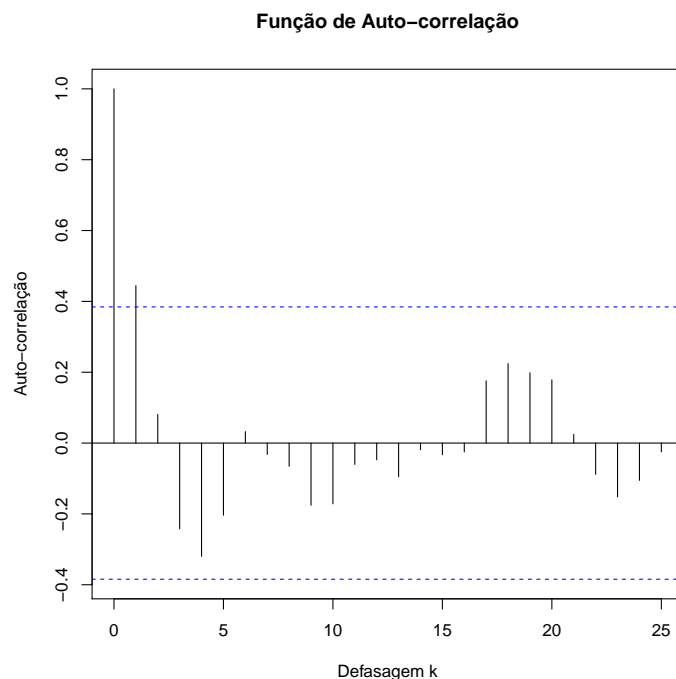


Figura 4.4: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o vídeo *Akiko*.

A Figura 4.5 e a Figura 4.6 mostram as funções de autocorrelação dos quadros P e B respectivamente para o vídeo *Akiko*.

O comportamento encontrado no vídeo *Akiko* também foi verificado em todos os outros vídeos de curta duração. No entanto, estes vídeos possuem apenas uma cena. A cena pode ser definida como sendo o intervalo de tempo em que um determinado enquadramento permaneceu constante. O modelo proposto é o resultado da observação que os tempos de duração das cenas de filmes não possuem autocorrelação temporal e podem ser modelados por uma distribuição de probabilidade, além do fato de ocorrer uma forte correlação temporal entre os tamanhos dos quadros I que iniciam os GOP's com os demais quadros que pertencem a mesma cena. Para modelagem do comportamento dos quadros P e B dentro dos GOP's per-

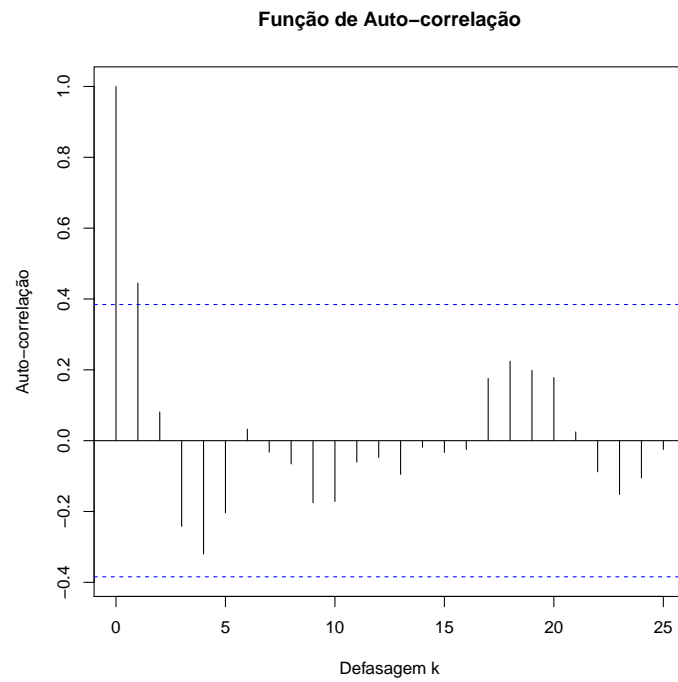


Figura 4.5: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros P para o vídeo *Akiko* .

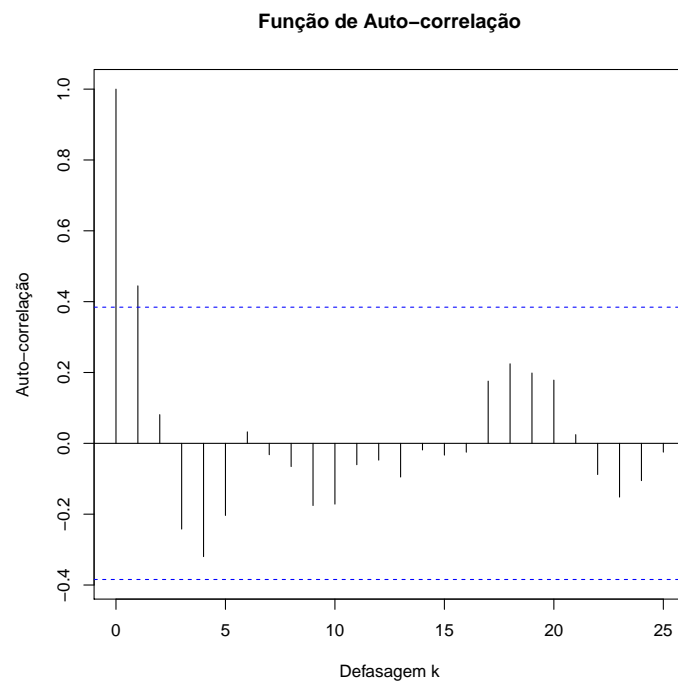


Figura 4.6: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros B para o vídeo *Akiko* .

tencentas a uma determinada cena foi utilizada uma abordagem semelhante a proposta sugerida por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009). Ao utilizar o tempo de duração da cena torna-se possível estabelecer uma classificação dos filmes de acordo com este parâmetro, o que é difícil de se obter utilizando os modelos existentes. Busca-se, portanto, um modelo que possa ser generalizável de acordo com o estilo de filme. Além disso, é possível prever o tráfego resultante após uma adaptação de tráfego, pois o tempo de duração da cena é invariável a alteração de qualidade afeta o tamanho e a quantidade de quadros. Para permitir uma comparação com os trabalhos existentes, foram analisados diversos filmes disponíveis publicamente por (FITZEK; REISSLEIN, 2001), que estão codificados com a estrutura de GOP (12,2), utilizando o codec MPEG4. Os filmes utilizados no estudo estão listados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Filmes Analisados

Título	Tipo	Quadros	Duração
A Dama e o Vagabundo	Animação	89.998	60 min.
Episódio dos Simpsons	Animação	30.334	21 min.
Robin Hood	Animação	89.998	60 min.
Competição de SKI	Esportes	89.998	60 min.
Corrida de Fórmula 1	Esportes	44.998	30 min.
Final da UEFA	Esportes	89.998	60 min.
A Firma	Filme	89.998	60 min.
Duro de Matar	Filme	89.998	60 min.
Guerra nas Estrelas, Episódio IV	Filme	89.998	60 min.
Jornada nas Estrelas, O Primeiro Contato	Filme	89.998	60 min.
O Parque dos Dinossauros	Filme	89.998	60 min.
O Silêncio dos Inocentes	Filme	89.998	60 min.
Tropas Estrelares	Filme	89.998	60 min.
Boulevard Bio	Vídeo Clipe	89.998	60 min.
Noticiário	Telejornal	22.498	15 min.
Programa de auditório	Telejornal	67.498	45 min.

#### 4.1 Variáveis do modelo proposto

As variáveis do modelo proposto podem ser classificadas em dois níveis: (i) inter-cena, que compõem a estrutura de formação das cenas, e (ii) intra-cena, que representam a estrutura dos GOP's dentro de cada cena. O nível inter-cena é caracterizado exclusi-

vamente pelo tempo de duração da cena, onde  $s$  identifica uma determinada cena com o tempo de duração denotado por  $\delta_s$ . Cada cena  $s$  será composta por diversos GOP's, sendo o número de sequência do GOP na cena denotado por  $g$ . A caracterização do comportamento intra-cena utiliza as seguintes variáveis:

- $\phi_I(s, g)$  Tamanho do quadro I no GOP  $g$  da cena  $s$ .
- $\phi_P(s, g, i)$  Tamanho do quadro P com índice  $i$  no GOP  $g$  da cena  $s$ .
- $\phi_B(s, g, j)$  Tamanho do quadro B com índice  $j$  no GOP  $g$  da cena  $s$ .

Por exemplo,  $\phi_I(4, 10)$  representa o tamanho do décimo quadro I da quarta cena do filme, enquanto  $\phi_P(2, 7, 5)$  indica o tamanho do quinto quadro P pertencente ao sétimo GOP da segunda cena. Com esta notação é possível representar por completo a estrutura de um vídeo codificado. A Figura 4.7 mostra os principais componentes do modelo proposto. Podem ser observadas diversas cenas, cada cena composta de diversos GOP's, cada GOP composto por diversos quadros, sempre iniciando por um quadro do tipo I.

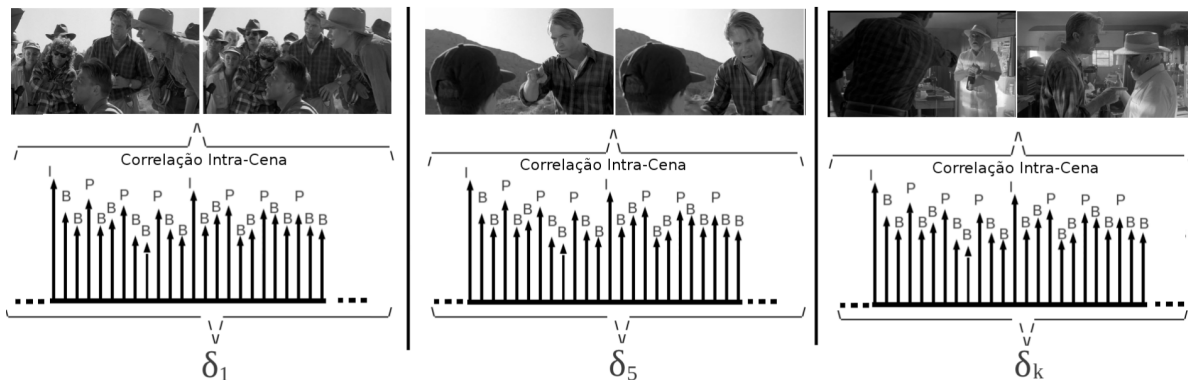


Figura 4.7: Modelo proposto.

## 4.2 Tempo de duração da cena

O tempo de duração da cena tem um papel fundamental no modelo proposto. Para realizar a modelagem desta variável, os filmes *O Parque dos Dinossauros*, *O Silêncio*

*dos Inocentes e Guerra nas Estrelas Episódio IV*, foram separados em cenas utilizando duas abordagens. A primeira foi a inspeção visual do filme, com a anotação dos tempos onde ocorre a alteração da cena. O procedimento foi repetido 3 vezes para cada filme, e os tempos de duração utilizados foram o resultado de uma média entre as três observações. De forma complementar, foi analisado o algoritmo proposto por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997), que propõe que uma alteração abrupta no tamanho de dois quadros I sucessivos marquem o início de uma cena. Quando a variação percentual do tamanho do quadro I em comparação do quadro I anterior for superior a um limite  $L_1$  e o quadro seguinte apresentar uma variação maior que  $L_2$ , isto será o indicativo do início de uma nova cena. Empiricamente, comparando-se os resultados do algoritmo com as observações realizadas, os valores de  $L_1$  e  $L_2$  foram estabelecidos respectivamente em 18% e 22% para os filmes com trocas de cenas abruptas ou filmes considerados de ação, e 15% e 20% para os filmes com troca de cenas suaves ou filmes considerados de drama, e o funcionamento do segundo método de separação de cenas foi considerado equivalente ao primeiro. Os demais filmes foram separados em cenas utilizando-se o algoritmo automático.

A primeira abordagem para identificação do modelo foi estudar a função de autocorrelação formada pelo tempo de duração da cena para cada um dos filmes em consideração. Em todos os casos, não foi observada dependência temporal significativa entre o tempo de duração de cenas subsequentes, ou seja, o tempo de duração de uma cena é independente do tempo de duração de cenas passadas. Na Figura 4.8 está ilustrada a função de autocorrelação para o Filme *O Parque dos Dinossauros*.

Este comportamento é semelhante entre os diversos filmes analisados. Desta forma, foi possível caracterizar esta variável utilizando-se uma distribuição Lognormal<sup>1</sup>.

A Figura 4.9 mostra a distribuição de probabilidade empírica observada para o tempo de duração das cenas dos três filmes, *Guerra nas Estrelas Ep. IV*, *O Parque*

<sup>1</sup>Densidade de probabilidade dada por  $f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}$ , parâmetros:  $\mu$  média de  $\ln(x)$  e  $\sigma$  desvio padrão de  $\ln(x)$  (JAIN, 1991)

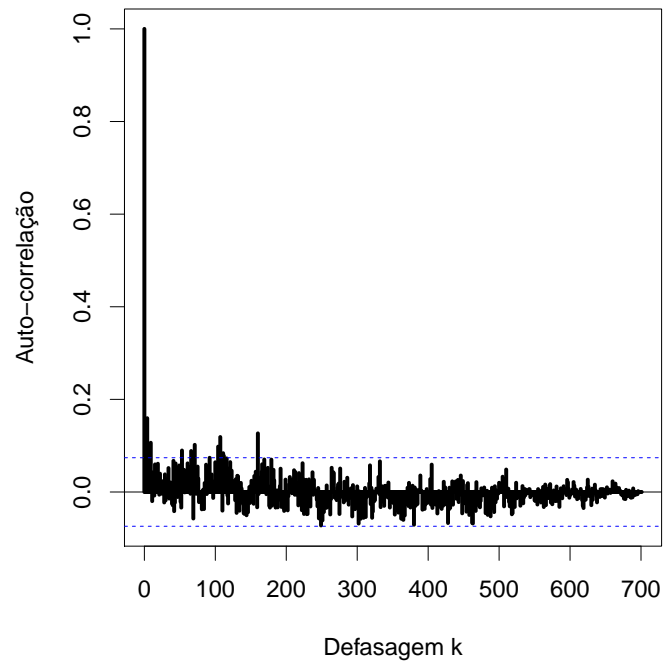


Figura 4.8: Função de autocorrelação do tempo de duração da cena para o filme *O Parque dos Dinossauros*.

*dos Dinossauros e O Silêncio dos Inocentes*.

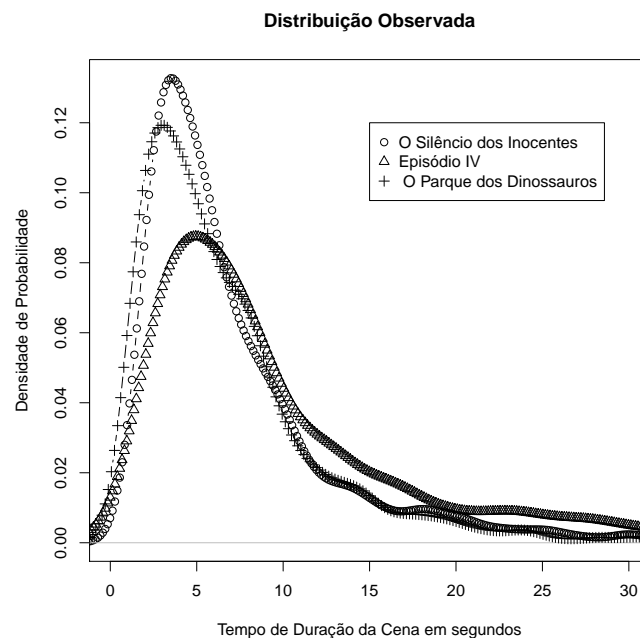


Figura 4.9: Distribuição do Tempo de Duração da Cena.

A Figura 4.10 mostra o resultado do teste de aderência gráfico QQPlot (Quantile-

Quantile Plot), comparando-se a distribuição teórica Lognormal, com a distribuição empírica. No QQPlot, a aderência perfeita é representada por uma linha diagonal em  $45^\circ$  conforme descrito por (BOUDEC, 2010), representado pela linha contínua, e os pontos representam os quantiles observados no vídeo real. O gráfico mostra os limites para uma confiança de 95%, onde observa-se uma boa aderência para a distribuição Lognormal. A Tabela 4.3 mostra a distribuição de probabilidade que caracteriza o tempo de duração da cena e seus parâmetros para todos os filmes em estudo. Também é mostrado o resultado do teste de aderência de Kolmogorov Smirnov, para todos os filmes em estudo, onde o valor  $p$  obtido indica que a hipótese  $H_0$ , aderência à distribuição de probabilidade Lognormal, não pode ser rejeitada (JAIN, 1991). A rejeição de  $H_0$  normalmente ocorre se o valor  $p$  é menor que 0,05

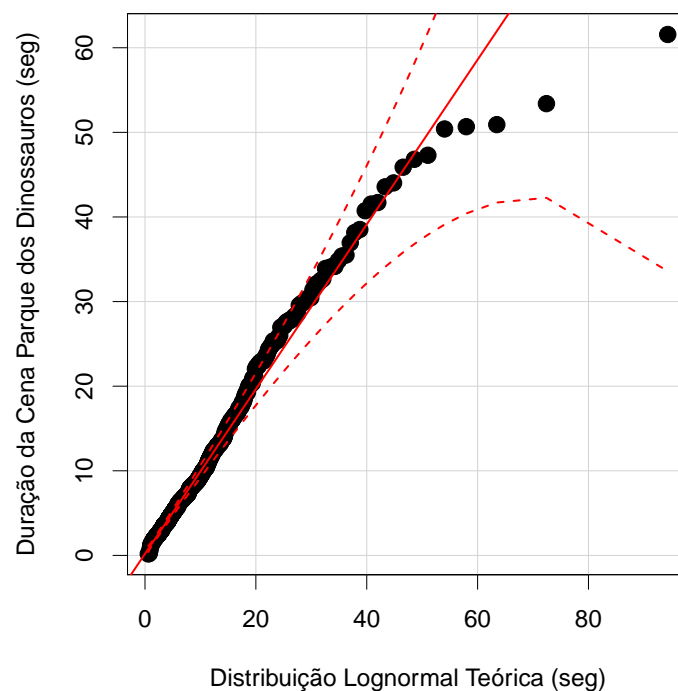


Figura 4.10: Teste de aderência QQPlot para o tempo de duração da cena para o filme *O Parque dos Dinossauros*.



Tabela 4.3: Caracterização do tempo de duração da cena

Título	Distribuição	Parâmetros	Teste K-(valor p)
A Dama e o Vagabundo	Lognormal	$\mu = 1,6703; \sigma = 0,9855$	0,1944
Episódio dos Simpsons	Lognormal	$\mu = 2,0937; \sigma = 1,0959$	0,9148
Robin Hood	Lognormal	$\mu = 1,7895; \sigma = 1,0105$	0,1233
Competição de SKI	Lognormal	$\mu = 1,9957; \sigma = 0,9536$	0,4268
Corrida de Fórmula 1	Lognormal	$\mu = 1,5581; \sigma = 0,9020$	0,2544
Final da UEFA	Lognormal	$\mu = 1,8604; \sigma = 0,9982$	0,2350
A Firma	Lognormal	$\mu = 1,7734; \sigma = 1,0196$	0,1508
Duro de Matar	Lognormal	$\mu = 1,8164; \sigma = 0,9007$	0,0567
Guerra nas Estrelas Ep. IV	Lognormal	$\mu = 1,6402; \sigma = 0,7790$	0,6681
O Parque dos Dinossauros	Lognormal	$\mu = 1,9674; \sigma = 1,0584$	0,1508
O Primeiro Contato	Lognormal	$\mu = 1,5825; \sigma = 1,0173$	0,0522
O Silêncio dos Inocentes	Lognormal	$\mu = 1,6460; \sigma = 0,8044$	0,0677
Tropas Estrelares	Lognormal	$\mu = 1,7406; \sigma = 1,1038$	0,0504
Boulevard Bio	Lognormal	$\mu = 2,2510; \sigma = 0,9423$	0,1980
Noticiário	Lognormal	$\mu = 2,1645; \sigma = 0,9663$	0,1645
Programa de auditório	Lognormal	$\mu = 2,3990; \sigma = 0,9935$	0,2195

### 4.3 Modelagem do tamanho do quadro I

O tamanho do quadro I foi modelado de acordo com a divisão do filme em cenas. Dentro de uma cena, observou-se uma significativa dependência temporal da série formada pelos tamanhos dos quadros I sucessivos. No entanto, o primeiro quadro I de cada cena não apresentou dependência temporal se comparado com os demais quadros I que iniciam os GOP's anteriores. Desta forma, a abordagem adotada foi modelar o tamanho do primeiro quadro I da cena e, a partir deste valor, obter o tamanho dos demais quadros I da cena.

#### 4.3.1 Modelagem do tamanho do primeiro quadro I da cena

O tamanho do primeiro quadro I da cena foi modelado de acordo com distribuições de probabilidade. A Figura 4.11 mostra a distribuição de probabilidade empírica tracejada para o tamanho do primeiro quadro I de cada cena do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV* e a linha sólida mostra a distribuição teórica, que utiliza os parâmetros de média e desvio padrão encontrados na distribuição empírica. As distribuições de probabili-

dade tem seus valores positivos e maiores que zero, para representar o tamanho do quadros.

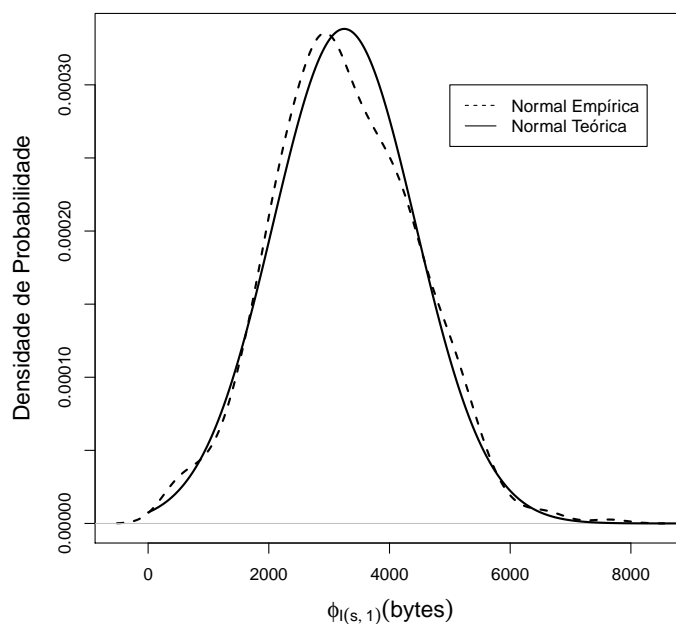


Figura 4.11: Distribuição empírica de probabilidade para  $\phi_I(s, 1)$  do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

A função de autocorrelação correspondente é mostrada na Figura 4.12, onde é possível visualizar que não há correlação significativa entre o tamanho do primeiro quadro I de cenas sucessivas.

Na Figura 4.13 é apresentado o teste gráfico de aderência QQPlot, onde observa-se a boa aderência com uma distribuição normal, para dados do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*. A Figura 4.14 apresenta o mesmo teste para a animação *Robin Hood* comprovando também a boa aderência a uma distribuição normal.

O procedimento foi repetido para os demais filmes em estudo, com as distribuições encontradas e seus parâmetros apresentados na Tabela 4.4, bem como o valor  $p$  para o teste de aderência de Kolmogorov Smirnov, que apresenta valor superior a 0,05, o que comprova a boa aderência em todos os casos. Para o filme *O Silêncio dos Inocentes* foi utilizada a distribuição Lognormal este filme apresenta uma cadência

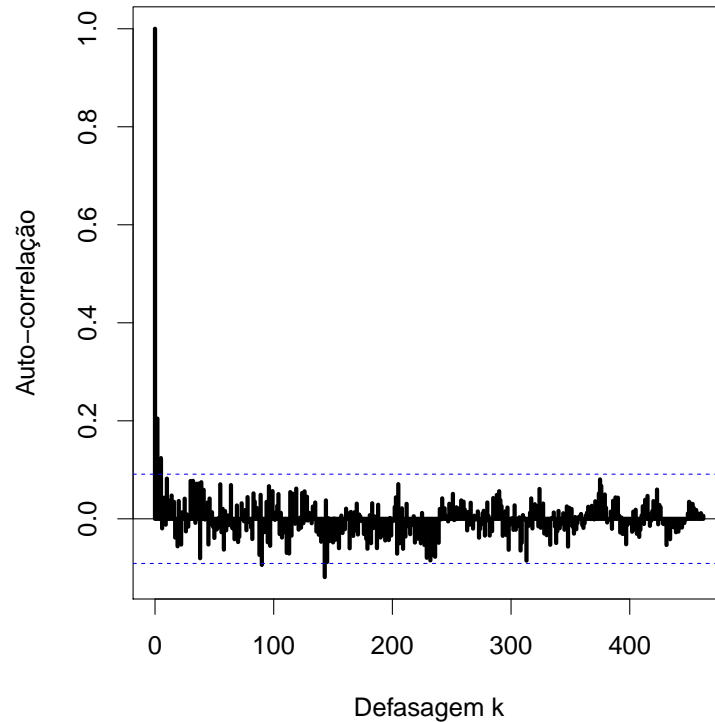


Figura 4.12: Função de autocorrelação de  $\phi_I(s, 1)$  do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

diferente dos demais filmes em estudo, o que refletiu na distribuição utilizada para modelagem do tamanho do primeiro quadro I de cada cena.

#### 4.4 Modelagem dos demais quadros I da cena

Foi observado que, para uma dada cena, depois de aplicado o operador de diferenças definido como  $\nabla^d Z_t = \phi_I(s, g) - \phi_I(s, g - d)$ ,  $g \geq 2, d \geq 1$ , utilizando-se  $d = 1$ , não foi observada dependência temporal significativa. Desta forma, foi possível utilizar a distribuição de probabilidade Normal para modelar a série diferenciada. A Figura 4.15 ilustra a densidade de probabilidade de  $Z_t$ , obtida com  $d = 1$ , comparado com a distribuição Normal teórica, para quatro cenas extraídas do filme *O Parque dos Dinossauros*. A Tabela 4.5 mostra o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para as mesmas cenas, onde o valor  $p$  apresentado indica a boa aderência à distribuição Normal. Comportamento semelhante pode ser observado nas demais cenas dos filmes em estudo.

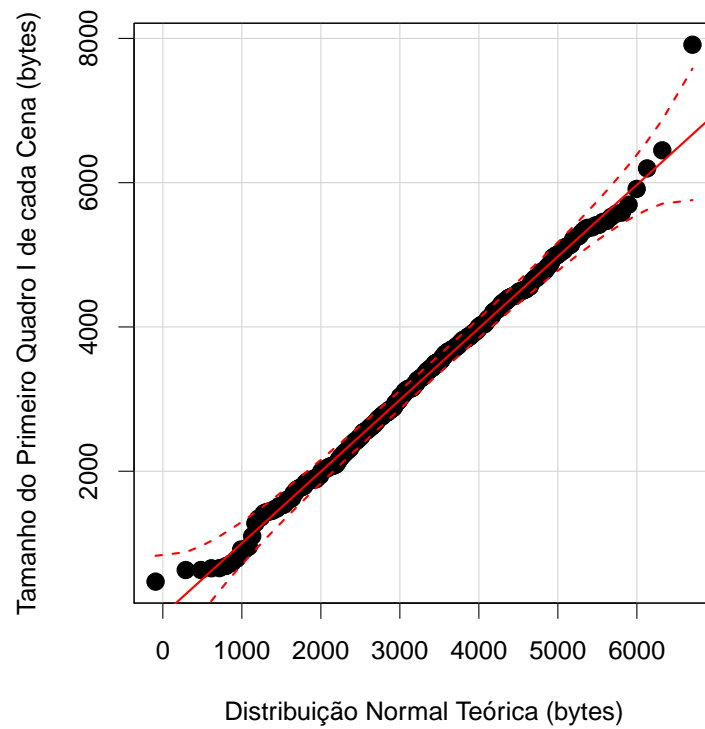


Figura 4.13: QQplot entre distribuição Normal Teórica e Normal gerada por  $\phi_I(s, 1)$  do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

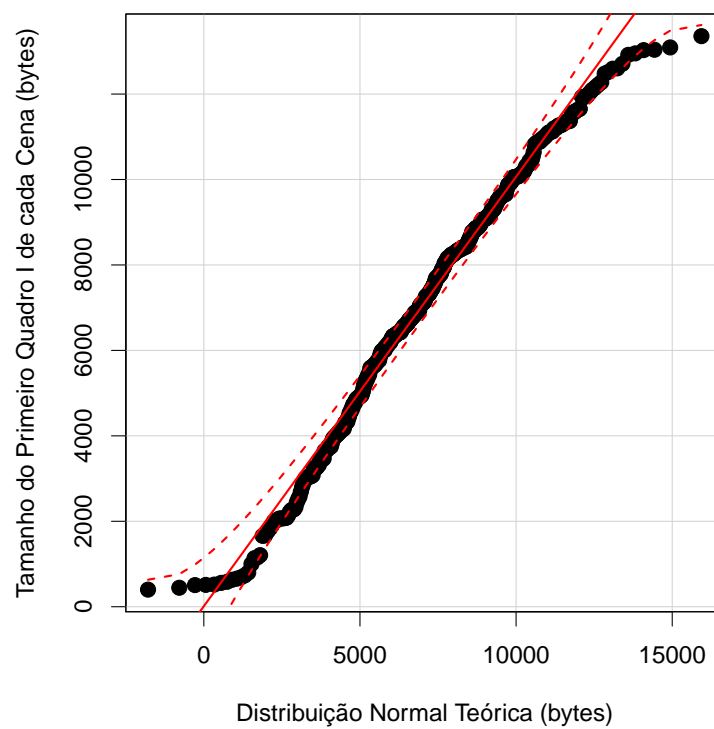


Figura 4.14: QQplot entre distribuição Normal Teórica e Normal gerada por  $\phi_I(s, 1)$  da Animação *Robin Hood*.

Tabela 4.4: Caracterização do tamanho do primeiro quadro I de uma cena

Título	Distribuição	Parâmetros	Teste K-S (valor p)
A Dama e o Vagabundo	Normal	$\mu = 4455, 3; \sigma = 1991, 5$	0,0626
Episódio dos Simpsons	Normal	$\mu = 10978, 9; \sigma = 3896, 7$	0,0820
Robin Hood	Normal	$\mu = 7074, 1; \sigma = 2893, 3$	0,2586
Competição de SKI	Normal	$\mu = 6495, 3; \sigma = 2578, 9$	0,4694
Corrida de Fórmula 1	Normal	$\mu = 6900, 2; \sigma = 1889, 6$	0,1387
Final da UEFA	Normal	$\mu = 8609, 2; \sigma = 2748, 2$	0,1923
A Firma	Normal	$\mu = 3561, 3; \sigma = 1557, 1$	0,0852
Duro de Matar	Lognormal	$\mu = 8, 5647; \sigma = 0, 4999$	0,1552
Guerra nas Estrelas Ep. IV	Normal	$\mu = 3250, 6; \sigma = 1178, 2$	0,5617
O Parque dos Dinossauros	Normal	$\mu = 5903, 7; \sigma = 2467, 9$	0,1575
O Primeiro Contato	Lognormal	$\mu = 8, 0225; \sigma = 0, 5101$	0,6011
O Silêncio dos Inocentes	Lognormal	$\mu = 8, 4746; \sigma = 0, 5603$	0,3448
Tropas Estrelares	Normal	$\mu = 5269, 9; \sigma = 2055, 4$	0,1762
Boulevard Bio	Normal	$\mu = 7500, 3; \sigma = 2077, 1$	0,0745
Noticiário	Normal	$\mu = 8279, 9; \sigma = 2750, 3$	0,9294
Programa de auditório	Normal	$\mu = 7455, 2; \sigma = 2167, 8$	0,0534

Tabela 4.5: Caracterização dos demais quadros I de uma cena

Cena	Distribuição	Parâmetros	Teste K-S (valor p)
59	Normal	$\mu_{sg} = 7, 7; \sigma_{sg} = 170$	0,3219
67	Normal	$\mu_{sg} = -5, 1; \sigma_{sg} = 120$	0,3140
131	Normal	$\mu_{sg} = -2, 1; \sigma_{sg} = 150$	0,3425
208	Normal	$\mu_{sg} = -6, 7; \sigma_{sg} = 240$	0,7489

A Figura 4.16 apresenta a primeira imagem da cena 59, esta cena tem aproximações da imagem em primeiro plano o que gera uma forte autocorrelação entre os quadros I da cena. Na Figura 4.17 apresenta a primeira imagem da cena 67, esta cena apresenta um movimento lento do corpo do dinossauro o que provoca uma forte autocorrelação dos quadros I desta cena. Na Figura 4.18 é apresentada a primeira imagem da cena 131, nesta cena acontece movimentos sutis nos cantos da imagem permanecendo o centro constante, fornecendo assim uma forte correlação dos quadros I desta cena. A Figura 4.19 demonstra a primeira imagem da cena 208, a autocorrelação dos quadros I acontece por causa das aproximações da imagem em primeiro plano repetindo o comportamento evidenciado na Figura 4.16. Estas cenas foram selecionadas para realizar a modelagem dos quadros I sucessivos de uma mesma cena por conterem a maior quantidade de quadros I de todo o filme *O Parque*

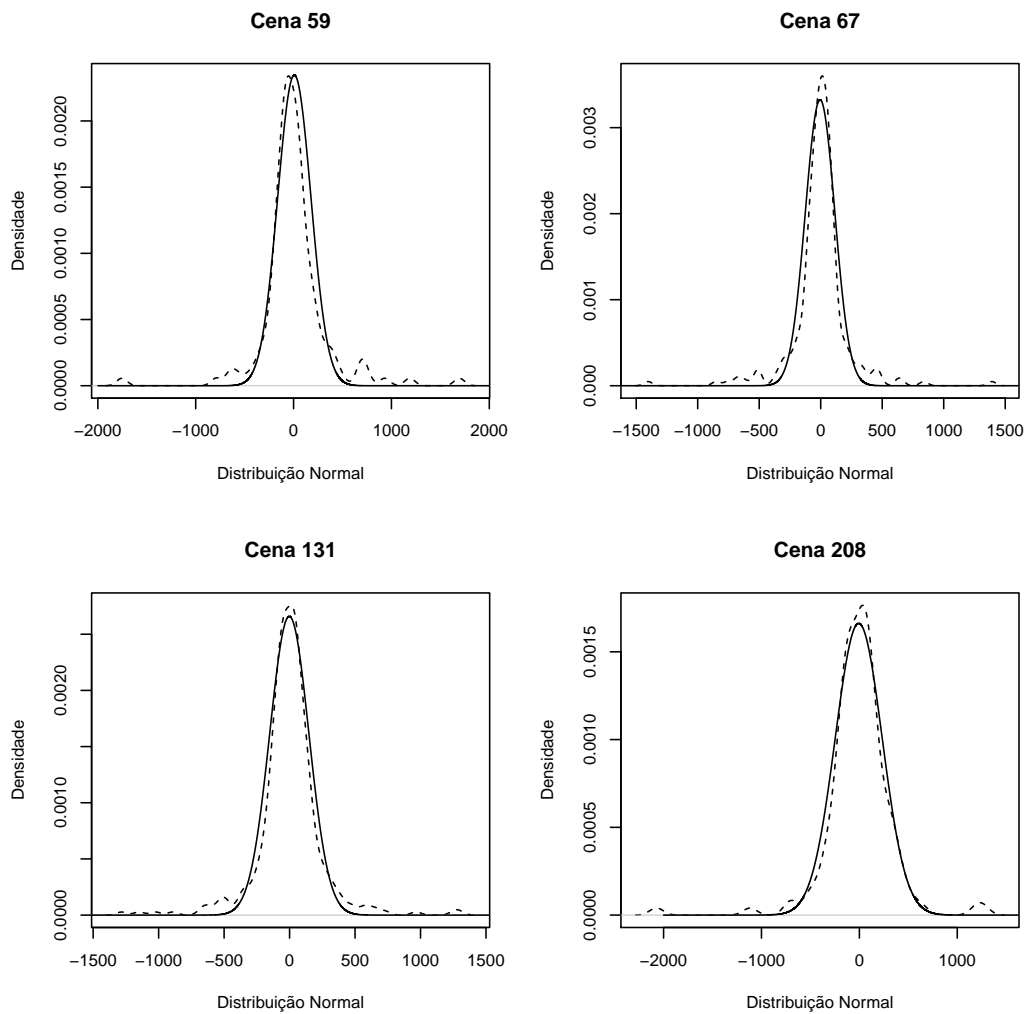


Figura 4.15: Densidade de probabilidade do tamanho dos quadros I de diversas cenas do filme *O Parque dos Dinossauros*, após aplicado o operador  $\nabla^{-1}$  (linhas pontilhadas), comparado com a distribuição Normal (linhas contínuas)

*dos Dinossauros*. Também foram analisadas as maiores cenas dos filmes em estudo e o comportamento encontrado no filme *O Parque dos Dinossauros* repetiu-se comprovando a possibilidade de utilizar uma distribuição para modelar os demais quadros I de uma mesma cena.

Desta forma, os demais quadros I de uma determinada cena podem ser obtidos a partir do primeiro quadro I da mesma, conforme apresentada a seguir:

$$\phi_I(s, g) = \phi_I(s, g - 1) + N(0, \sigma_{sg}), g \geq 2, \quad (4.1)$$



Figura 4.16: Primeira imagem da Cena 59 do filme *O Parque dos Dinossauros*.



Figura 4.17: Primeira imagem da Cena 67 do filme *O Parque dos Dinossauros*.



Figura 4.18: Primeira imagem da Cena 131 do filme *O Parque dos Dinossauros*.



Figura 4.19: Primeira imagem da Cena 208 do filme *O Parque dos Dinossauros*.

onde  $N(0, \sigma_{sg})$  representa a distribuição normal com média 0 e desvio padrão  $\sigma_{sg}$ .

## 4.5 Modelagem do tamanho do quadro P

A Modelagem do tamanho dos quadros P de um GOP é uma adaptação da proposta apresentada originalmente por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009). O tamanho do primeiro quadro P do GOP apresenta uma correlação linear com o tamanho do quadro I deste GOP. Segundo (JAIN, 1991) quando o valor da correlação  $\rho$  está no intervalo de -1 a 1. A correlação mais significativa possível ocorre quando  $|\rho| = 1$ , sendo que  $\rho = 0$  indica a ausência de correlação entre as variáveis. Para encontrar a correlação entre  $\phi_I(s, g)$  e  $\phi_P(s, g, 1)$ , foi necessário separar todos os quadros I e todos os primeiros quadros P dos respectivos GOP's e calcular a correlação entre as variáveis, conforme mostrado a seguir.

$$\rho_{\phi_I(s,g), \phi_P(s,g,1)} = \frac{E[\phi_I(s, g) \cdot \phi_P(s, g, 1)] - E[\phi_I(s, g)] \cdot E[\phi_P(s, g, 1)]}{\sqrt{E[\phi_I(s, g)^2] - E^2[\phi_I(s, g)] \cdot (E[\phi_P(s, g, 1)]^2 - E^2[\phi_P(s, g, 1)]}}. \quad (4.2)$$

Os filmes em estudo foram analisados de forma a comprovar a boa aderência ao modelo proposto. Foi observado que o tamanho dos quadros P do GOP estão correlacionados com o tamanho do quadro I que inicia o GOP.

Para os filmes em estudo, os valores de  $\rho_{\phi_I(s,g), \phi_P(s,g,1)}$  obtidos são apresentados na Tabela 4.6. Analisando os resultados verifica-se que existe correlação significativa entre o tamanho do quadro I e o tamanho dos quadros P em um GOP. Desta forma, o tamanho de um quadro P,  $\phi_P(s, g, i)$ , pode ser obtido através de

$$\phi_P(s, g, i) = \phi_I(s, g) \cdot \frac{\rho_{\phi_I(s,g), \phi_P(s,g,1)} \cdot \sigma_{\phi_P(s,g,1)}}{\sigma_{\phi_I(s,g)}} + \alpha_P, \quad (4.3)$$

onde  $\phi_I(s, g)$  é o tamanho do quadro I,  $\rho_{\phi_I(s,g), \phi_P(s,g,1)}$  é a correlação entre o quadro I



e o primeiro quadro P calculado utilizando 4.2,  $\sigma_{\phi_P(s,g,1)}$  é o desvio padrão do primeiro quadro P que são apresentados na Tabela 4.7,  $\sigma_{\phi_I(s,g)}$  é o desvio padrão dos quadros I e  $\alpha_P$  representa uma variável aleatória com distribuição Gamma. Conforme descrito por (JAIN, 1991) a função distribuição Gamma é apresentada a seguir,

$$P(X \leq x) = \frac{\lambda^r x^{r-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(r)}. \quad (4.4)$$

Esta variável aleatória deve ser adicionada à  $\phi_P(s, g, 1)$  para modelar os demais quadros P do GOP. Os dados apresentados na Tabela 4.8 são os resultados da utilização do processo de modelagem sugerido por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009) para a variável  $\alpha_P$ . O processo de modelagem de  $\alpha_P$  consiste em verificar a diferença de tamanho entre o primeiro quadro P e os demais quadros P do mesmo GOP. Após realizar a subtração para encontrar os resíduos deve-se realizar os testes de aderência para a comprovação de qual a distribuição de probabilidade mais apropriada para representar o comportamento dos dados a serem representados que neste caso são os quadros P e conforme (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009) e os testes realizados demonstram que os resíduos dos quadros P respeitam uma distribuição Gamma.

## 4.6 Modelagem do tamanho do quadro B

A modelagem do tamanho do quadro B segue o mesmo procedimento realizado para o quadro P. Portanto deve-se calcular a correlação existente entre o primeiro quadro P do GOP  $\phi_P(s, g, 1)$  e o primeiro quadro B  $\phi_B(s, g, 1)$ . Esta correlação é dada por

$$\rho_{\phi_P(s,g,1),\phi_B(s,g,1)} = \frac{E[\phi_P(s, g, 1) \cdot \phi_B(s, g, 1)] - E[\phi_P(s, g, 1)] \cdot E[\phi_B(s, g, 1)]}{\sqrt{E[\phi_P(s, g, 1)^2] - E^2[\phi_P(s, g, 1)] \cdot (E[\phi_P(s, g, 1)]^2 - E^2[\phi_B(s, g, 1)])}}. \quad (4.5)$$

Para os filmes em estudo, os valores de  $\rho_{\phi_P(s,g,1),\phi_B(s,g,1)}$  obtidos estão na Tabela

Tabela 4.6: Correlação entre os quadros I e primeiro quadro P dos filmes em estudo

Título	Correlação I e P
	$\rho_{\phi_I(s,g),\phi_P(s,g,1)}$
A Dama e o Vagabundo	0,5777
Episódio dos Simpsons	0,5517
Robin Hood	0,6465
Competição de SKI	0,7767
Corrida de Fórmula 1	0,7134
Final da UEFA	0,6975
A Firma	0,7473
Duro de Matar	0,7746
Guerra nas Estrelas Ep. IV	0,6155
O Parque dos Dinossauros	0,7782
O Primeiro Contato	0,7442
O Silêncio dos Inocentes	0,8888
Tropas Estrelares	0,7069
Boulevard Bio	0,5492
Noticiário	0,4932
Programa de auditório	0,4048

Tabela 4.7: Desvio Padrão dos primeiros quadros P

Título	$\sigma_{\phi_P(s,g,1)}$
A Dama e o Vagabundo	1188,341
Episódio dos Simpsons	2532,251
Robin Hood	2101,647
Competição de SKI	2338,832
Corrida de Fórmula 1	1584,025
Final da UEFA	2304,174
A Firma	1041,640
Duro de Matar	2283,556
Guerra nas Estrelas Ep. IV	773,170
O Parque dos Dinossauros	2255,896
O Primeiro Contato	1156,133
O Silêncio dos Inocentes	2406,928
Tropas Estrelares	168,491
Boulevard Bio	1469,209
Noticiário	2347,424
Programa de auditório	1281,150

Tabela 4.8: Parâmetros da Distribuição Gamma  $\alpha_P$ 

Título	Forma	Escala
A Dama e o Vagabundo	148,25	0,01721
Robin Hood	232,83	0,01257
Episódio dos Simpsons	180,34	0,00766
Corrida de Fórmula 1	113,25	0,01308
Final da UEFA	156,00	0,01301
Competição de SKI	145,43	0,01658
A Firma	78,89	0,01574
Duro de Matar	94,18	0,01026
Guerra nas Estrelas Ep. IV	156,33	0,02518
O Parque dos Dinossauros	99,79	0,01140
O Silêncio dos Inocentes	120,45	0,01556
O Primeiro Contato	138,33	0,02353
Tropas Estrelares	151,67	0,01602
Noticiário	110,24	0,01096
Programa de auditório	161,31	0,01761
Boulevard Bio	109,63	0,01322

4.9. Analisando os resultados verifica-se que existe correlação significativa entre o tamanho do primeiro quadro B e o tamanho do primeiro quadro P em um GOP.

De posse da correlação, o tamanho de um quadro B,  $\phi_B(s, g, j)$ , pode ser obtido através da Equação 4.6, conforme mostrado a seguir,

$$\phi_B(s, g, j) = \phi_P(s, g, 1) \cdot \frac{\rho_{\phi_P(s,g,1), \phi_B(s,g,1)} \cdot \sigma_{\phi_B(s,g,1)}}{\sigma_{\phi_P(s,g,1)}} + \alpha_B, \quad (4.6)$$

onde  $\phi_P(s, g, 1)$  é o tamanho do primeiro quadro P,  $\rho_{\phi_P(s,g,1), \phi_B(s,g,1)}$  é a correlação entre o primeiro quadro P e o primeiro quadro B calculado utilizando 4.5,  $\sigma_{\phi_P(s,g,1)}$  é o desvio padrão dos primeiros quadros P que estão descritos na Tabela 4.7, onde  $\sigma_{\phi_B(s,g,1)}$  é o desvio padrão dos primeiros quadros B descritos na Tabela 4.10 e  $\alpha_B$  representa uma variável aleatória com distribuição Gamma. Esta variável aleatória deve ser adicionada a  $\phi_B(s, g, 1)$  para obter os demais quadros B do GOP. O procedimento para modelar  $\alpha_B$  é o mesmo utilizado para modelar a variável  $\alpha_P$ . Na Tabela 4.11 estão os valores dos parâmetros das distribuições Gamma obtidas para os filmes em estudo.

Neste Capítulo, foram apresentadas as variáveis utilizadas no SAVI. As variáveis

Tabela 4.9: Correlação entre os quadros P e B dos filmes em estudo

Título	Correlação P e B $\rho_{\phi_P(s,g,1),\phi_B(s,g,1)}$
A Dama e o Vagabundo	0,7513
Episódio dos Simpsons	0,6507
Robin Hood	0,6683
Competição de SKI	0,8987
Corrida de Fórmula 1	0,7974
Final da UEFA	0,8070
A Firma	0,8585
Duro de Matar	0,8839
Guerra nas Estrelas Ep. IV	0,7509
O Parque dos Dinossauros	0,8630
O Primeiro Contato	0,8575
O Silêncio dos Inocentes	0,9358
Tropas Estrelares	0,8605
Boulevard Bio	0,8083
Noticiário	0,9021
Programa de auditório	0,7634

Tabela 4.10: Desvio Padrão dos primeiros quadros B

Título	$\sigma_{\phi_B(s,g,1)}$
A Dama e o Vagabundo	902,609
Episódio dos Simpsons	1911,711
Robin Hood	1819,884
Corrida de Fórmula 1	1238,383
Competição de SKI	1921,197
Final da UEFA	1901,650
A Firma	728,270
Duro de Matar	1817,320
Guerra nas Estrelas Ep. IV	472,175
O Parque dos Dinossauros	1816,262
O Silêncio dos Inocentes	1927,574
O Primeiro Contato	880,304
Tropas Estrelares	1324,261
Boulevard Bio	1059,460
Noticiário	1917,781
Programa de auditório	831,179

Tabela 4.11: Parâmetros da Distribuição Gamma  $\alpha_B$ 

Título	Forma	Escala
A Dama e o Vagabundo	246,55	0,03197
Robin Hood	184,29	0,01008
Episódio dos Simpsons	146,99	0,00812
Corrida de Fórmula 1	88,98	0,01606
Final da UEFA	119,17	0,01218
Competição de SKI	134,36	0,01658
A Firma	245,87	0,07065
Duro de Matar	95,018	0,01452
Guerra nas Estrelas Ep. IV	304,66	0,07136
O Parque dos Dinossauros	396,05	0,00301
O Primeiro Contato	196,70	0,04402
O Silêncio dos Inocentes	307,76	0,03447
Tropas Estrelares	327,53	0,03868
Boulevard Bio	203,35	0,03310
Noticiário	132,21	0,01973
Programa de auditório	308,13	0,04506

necessárias para realizar uma simulação de tráfego são: a quantidade de cenas a serem simuladas, a média e o desvio padrão logarítmicos do tempo de duração de uma cena, a média e o desvio padrão dos quadros I, a correlação existente entre os quadros I e os quadros P, a correlação entre os quadros P e B, o desvio padrão dos quadros P, o desvio padrão dos quadros B, o parâmetro de forma e escala para a distribuição Gamma a ser adicionada aos quadros P e quadros B respectivamente para simular a diferença de tamanho dos quadros P e B sucessivos em um mesmo GOP. De posse destes valores torna-se possível simular os valores de  $\phi_I(s, g)$ ,  $\phi_P(s, g, i)$  e  $\phi_B(s, g, j)$  sinteticamente. No Capítulo 5 estão apresentadas comparações entre os dados sintéticos gerados pelo SAVI e dados reais além da comparação com os modelos desenvolvidos por (GARRETT; WILLINGER, 1994), (KRUNZ; TRIPATHI, 1997) e (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009).

## CAPÍTULO 5

### GERAÇÃO DE CARGA SINTÉTICA

Para geração de tráfego sintético utilizando o SAVI, é necessário gerar em primeiro lugar o tempo de duração da cena  $\delta_s$ , de acordo com uma distribuição Lognormal. A seguir, deve ser gerado o  $\phi_I(s, 1)$ , de acordo com uma distribuição Normal. Na sequência, devem ser gerados os tamanhos dos quadros I para os GOPs de cada cena utilizando-se uma distribuição normal com média zero. O passo seguinte é gerar os quadros P, em função dos quadros I e os quadros B tomando-se como referência o primeiro quadro P do GOP. O algoritmo utilizado pelo SAVI é mostrado na Figura 5.1. A quantidade total de cenas de um filme é especificada por  $MAX_S$ , a quantidade de quadros P em um GOP é definido por  $MAX_P$  e a quantidade de quadros B em um GOP é definida por  $MAX_B$ . A quantidade de GOPs por cena,  $MAX_{GOP}(s)$ , pode ser obtida através de

$$MAX_{GOP}(s) = \left\lceil \frac{(\text{Quadros/segundo}) \cdot \delta_s}{1 + MAX_P + MAX_B} \right\rceil. \quad (5.1)$$

Nos Filmes em estudo os valores médios encontrados foram  $\delta_s = 8,2$  segundos,  $MAX_S = 720$ ,  $MAX_P = 3$ ,  $MAX_B = 8$  e  $MAX_{GOP}(s) = 12$ . Considerando estas constantes e fazendo  $MAX_S = n$ , o laço de repetição interno está limitado pelos valores constantes de  $MAX_P$ ,  $MAX_B$  e  $MAX_{GOP}(s)$ . Todos estes valores são fixos e tipicamente menores que  $MAX_S$ , portanto no pior caso a complexidade computacional será de  $O(n)$  conforme demonstrado por (ARORA; BARAK, 2009).

Foi realizada a geração de tráfego utilizando o algoritmo proposto na Figura 5.1, com os parâmetros extraídos dos diversos filmes em estudo. O algoritmo descrito na Figura 5.1 foi implementado em linguagem C e está descrito em sua íntegra no Anexo

```

Para  $s = 1 \rightarrow \text{MAX}_S$  faça
  Gerar  $\delta(s)$ 
  Gerar  $\phi_I(s, 1)$ 
  Verifica  $\text{MAX}_{\text{GOP}}(s)$  (Equação 5.1)
  Para  $g = 2 \rightarrow \text{MAX}_{\text{GOP}}(s)$  faça
    Gerar  $\phi_I(s, g)$ 
    Gerar  $\phi_P(s, g, 1)$ 
    Gerar  $\phi_B(s, g, 1)$ 
    Para  $i = 2 \rightarrow \text{MAX}_P$  faça
      Gerar  $\phi_P(s, g, i)$ 
    Fim Para
    Para  $j = 2 \rightarrow \text{MAX}_B$  faça
      Gerar  $\phi_B(s, g, j)$ 
    Fim Para
  Fim Para
Fim Para

```

Figura 5.1: SAVI algoritmo para geração de tráfego MPEG.

1 desta dissertação. Para gerar corretamente o tráfego sintético é necessário informar os seguintes parâmetros para o programa implementado: a quantidade de cenas a serem geradas, como por exemplo,  $\text{MAX}_S = 420$ , a média logarítmica do tempo de duração das cenas e o desvio padrão logarítmico do tempo de duração das cenas. Os valores utilizados nas simulações estão na Tabela 4.3, a média de  $\phi_I(s, g)$  e o desvio padrão de  $\phi_I(s, g)$  são apresentados na Tabela 4.4, a correlação entre os quadros I e P dada por  $\rho_{\phi_I(s,g), \phi_P(s,g,1)}$  os dados para os filmes em estudo estão na Tabela 4.6, o desvio padrão de  $\phi_P(s, g, i)$  está na Tabela 4.7, os parâmetros de forma e de escala da distribuição Gamma de  $\alpha_P$  estão apresentados na Tabela 4.8, a correlação entre os quadros P e B dada por  $\rho_{\phi_P(s,g,1), \phi_B(s,g,1)}$  os valores desta correlação estão descritos na Tabela 4.9, o desvio padrão de  $\phi_B(s, g, j)$  está na Tabela 4.10, os parâmetros de forma e de escala da distribuição Gamma de  $\alpha_B$  estão na Tabela 4.11. Nas simulações realizadas o número de quadros simulados em média corresponde ao número de quadros do vídeo real. O tráfego sintético mostra características semelhantes ao tráfego real em termos de média e desvio padrão de quadros. Para um gerador de tráfego sintético, é muito importante avaliar se as características de dependência temporal do tráfego real foram reproduzidas de modo apropriado. Para comprovar a eficiência do gera-

dor foi comparada a autocorrelação de  $\phi_I(s, g)$  fornecida pelo SAVI e a autocorrelação de  $\phi_I(s, g)$  real retirada dos *traces* disponibilizados por (FITZEK; REISSLEIN, 2001). Na Figura 5.2 é mostrada a comparação da autocorrelação dos quadros I de longa duração de  $\phi_I(s, g)$ , real e simulado para o filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

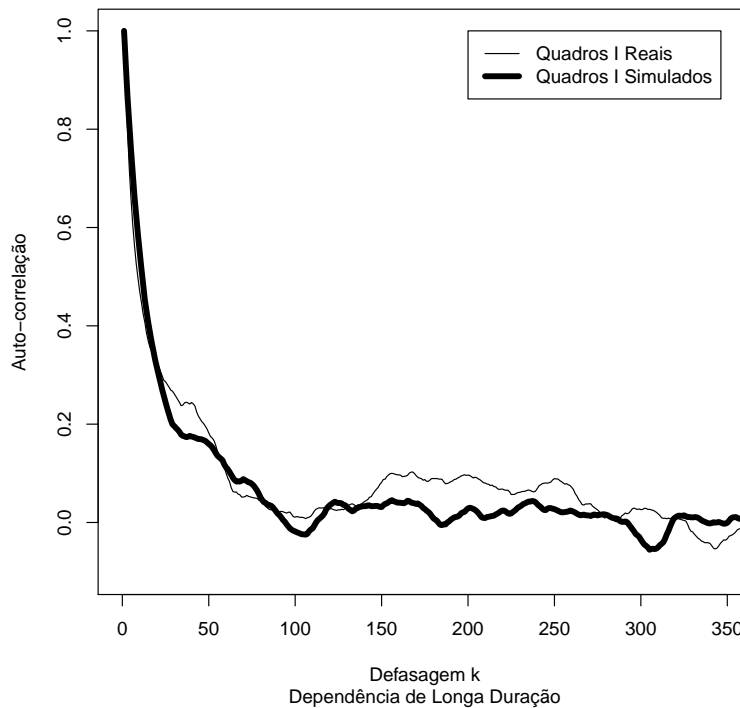


Figura 5.2: Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

Nas Figuras 5.3, 5.4 são mostradas as comparações da autocorrelação de  $\phi_I(s, g)$ , real e simulado para os filmes *O Silêncio dos Inocentes* e *O Parque dos Dinossauros* respectivamente. O modelo proposto por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009) utiliza séries auto similares sem considerar a estrutura das cenas. A Figura 5.5 demonstra a comparação entre os dados de um *trace* real e o valores simulados.

Para ampliar as comparações, foram implementados os geradores de tráfego propostos por (GARRETT; WILLINGER, 1994) e (KRUNZ; TRIPATHI, 1997). O modelo proposto por (GARRETT; WILLINGER, 1994), conforme descrito no Capítulo 3, utiliza um processo *FARIMA*, portanto foi necessário analisar os dados dos filmes descritos na Tabela 4.2 a fim de encontrar os parâmetros de *AR*, *MA* e a dimensão fractal.



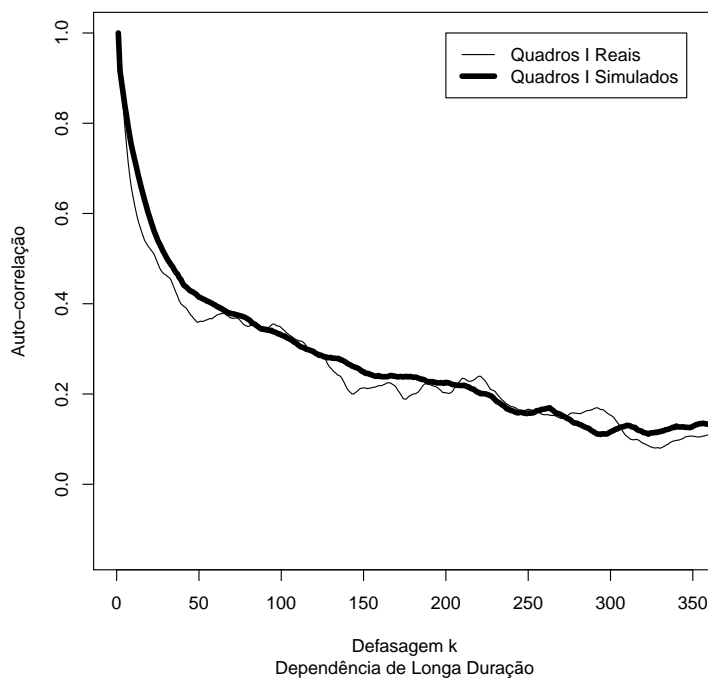


Figura 5.3: Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme *O Silencio dos Inocentes*.

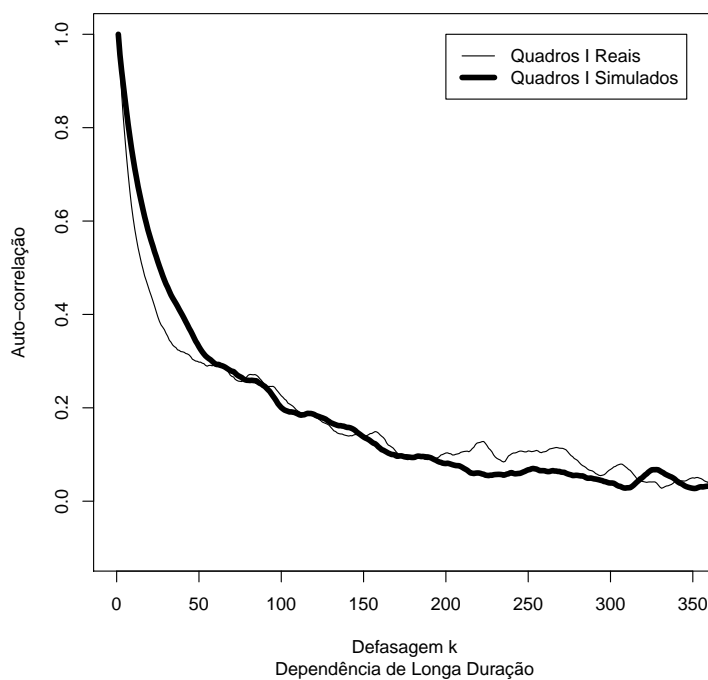


Figura 5.4: Função de autocorrelação com a dependência de longa duração para filme *O Parque dos Dinossauros*.

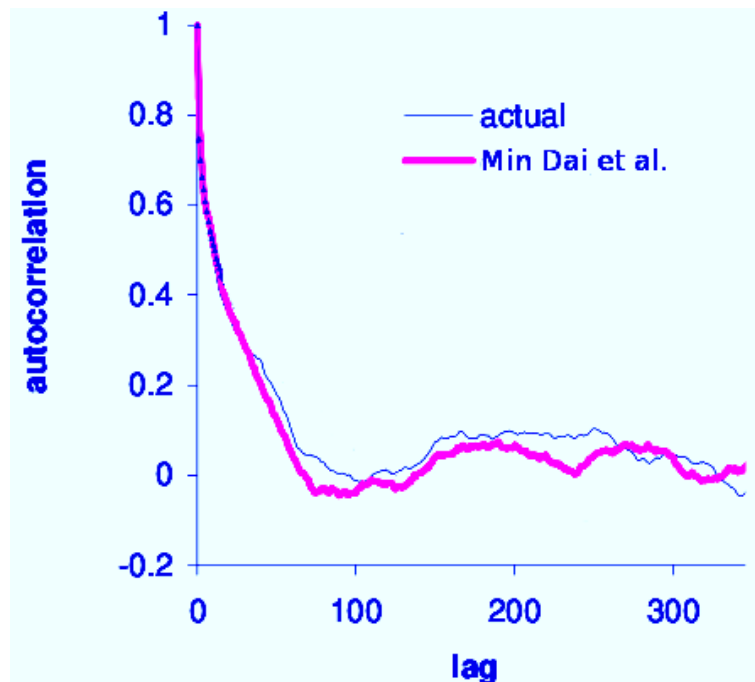


Figura 5.5: Função de autocorrelação com a dependência de longa duração filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV* (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009).

Esta análise prévia é necessária para alimentar o modelo proposto com os dados corretos. A Tabela 5.1 mostra os parâmetros encontrados para os vídeos utilizados para fazer a comparação entre os modelos, que foi realizada principalmente através da comparação das funções de autocorrelação, o que foi realizado com o auxílio do programa estatístico R e do pacote para análise de séries auto similares desenvolvido por (WUERTZ; OTHERS; FILE, 2012).

Tabela 5.1: Parâmetros do Modelo proposto por (GARRETT; WILLINGER, 1994).

Título	$\phi_1$	$\phi_2$	$\theta_1$	$d$
A Dama e o Vagabundo	0,3803	0,4986	0,5921	0,4086
Robin Hood	0,8979	-0,0089	0,0376	0,3122
Competição de SKI	0,7178	0,1990	0,2658	0,2949
O Parque dos Dinossauros	0,2176	0,6729	0,7166	0,3468
Silêncio dos Inocentes	0,0657	0,8295	0,8960	0,4010
Guerra nas Estrelas Ep. IV	0,2184	0,6057	0,6796	0,2947
Noticiário	0,8307	0,0619	0,0829	0,1485

O modelo proposto por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997) foi implementado utilizando a linguagem de programação C, de acordo com os preceitos apresentados em seu trabalho, Capítulo 3, o programa foi configurado com os dados descritos pelo autor

para a correta comparação entre os modelos. Para cada filme foi necessário uma configuração específica. Os parâmetros de configuração utilizados nas comparações estão na Tabela 5.2

Tabela 5.2: Parâmetros do Modelo proposto por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997).

Título	$\mu_{(S)}$	$\mu_I$	$\sigma_I$	$\phi_1$	$\phi_2$
A Dama e o Vagabundo	5,6	3,1998	2,0634	0,3803	0,4986
Robin Hood	3,8	3,8496	3,4613	0,8979	-0,0089
Competição de SKI	5,5	3,813	3,4110	0,7178	0,1990
O Parque dos Dinossauros	4,9	3,7711	3,3920	0,2176	0,6729
O Silêncio dos Inocentes	5,1	8,4599	0,5603	0,0657	0,8295
Guerra nas Estrelas Ep. IV	3,0	3,5996	1,1989	0,2184	0,6057
Noticiário	4,6	3,1985	1,1996	0,8307	0,0619

Onde  $\mu_{(S)}$  é a média da distribuição geométrica utilizada para modelar o tempo de duração da cena,  $\mu_I$  e  $\sigma_I$  são a média logarítmica e o desvio padrão logarítmico da distribuição Lognormal utilizada para modelar o primeiro quadro I de cada cena,  $\phi_1$  e  $\phi_2$  são parâmetros da série auto regressiva utilizada para modelar os quadros I subsequentes de uma cena.

As Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 mostram a função de autocorrelação do tamanho dos quadros I, obtidos através da geração de tráfego sintético utilizando os modelos propostos em (KRUNZ; TRIPATHI, 1997), (GARRETT; WILLINGER, 1994) e (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009), além do resultado apresentado pelo SAVI para os vídeos *A Dama e o Vagabundo*, *Guerra nas Estrelas Ep. IV*, *Noticiário*, *Robin Hood*, *O Parque dos Dinossauros*, *O Silêncio dos Inocentes* e *Competição de SKI*. Também é apresentada a função de autocorrelação do tamanho dos quadros I observada nos traces reais fornecidos por (FITZEK; REISSLEIN, 2001).

Pode ser observado que o modelo proposto imitou o comportamento de autocorrelação temporal do tráfego real, tanto para dependência de curta duração quanto para longa duração apresentando resposta semelhante aos modelos propostos por (DAI; ZHANG; LOGUINOV, 2009) e (GARRETT; WILLINGER, 1994), ambos utilizam séries auto similares para modelar o tamanho dos quadros I. Nos gráficos estes modelos estão repre-

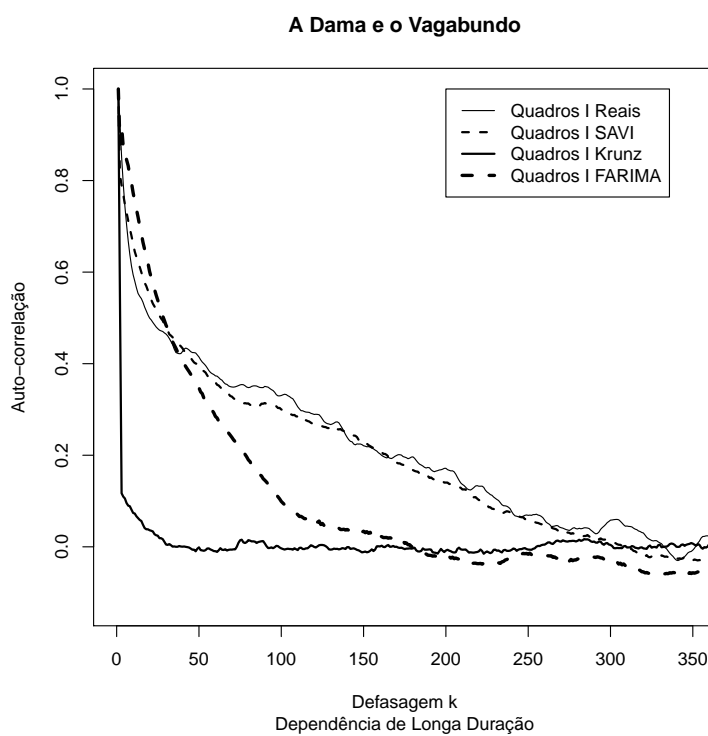


Figura 5.6: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o filme *A Dama e o Vagabundo*.

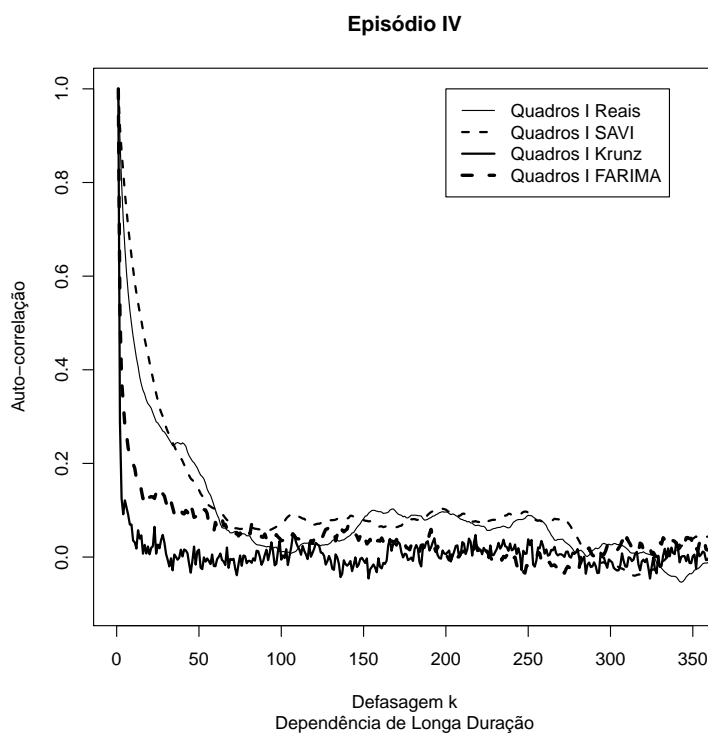


Figura 5.7: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I para o filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*.

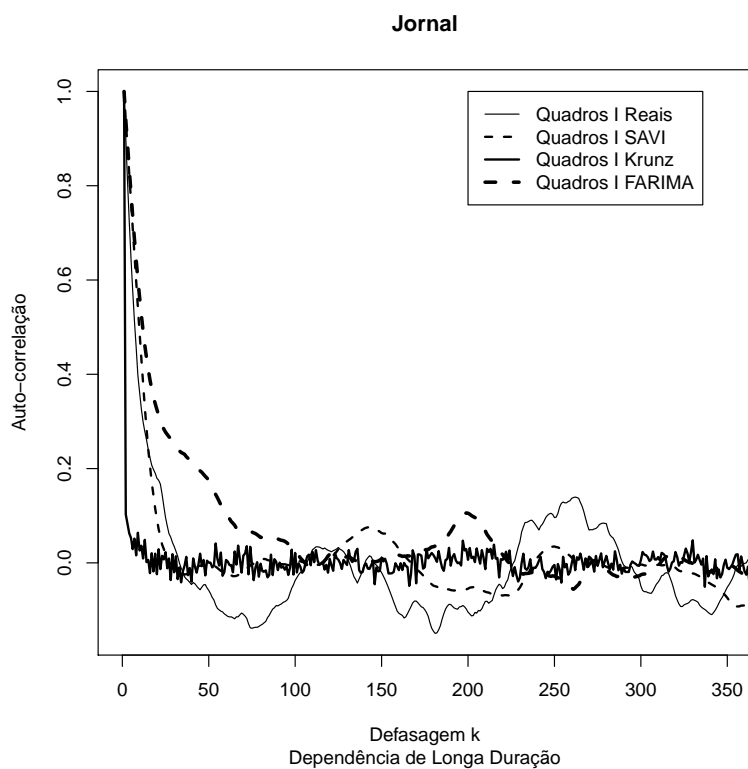


Figura 5.8: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do *Noticiário*.

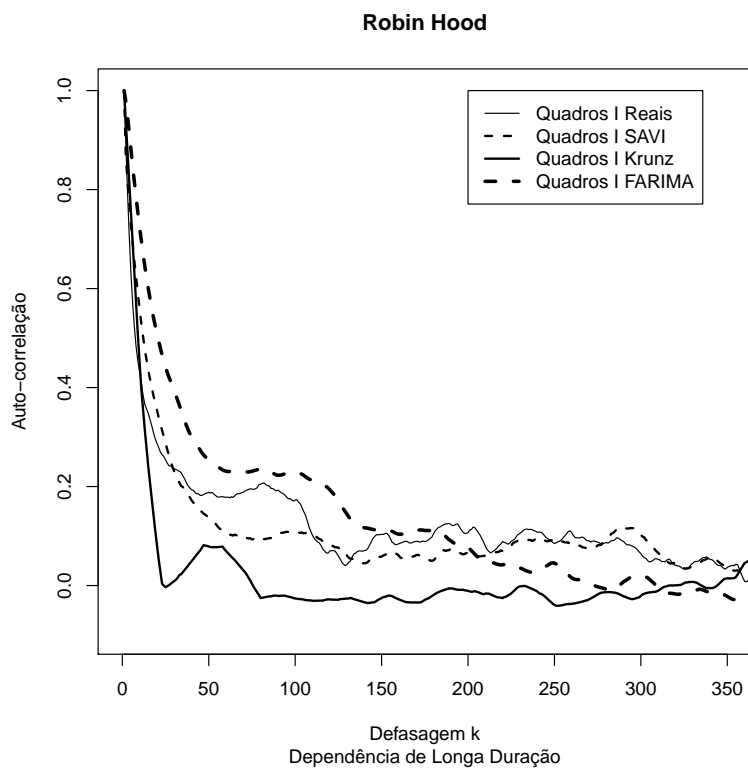


Figura 5.9: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme *Robin Hood*.

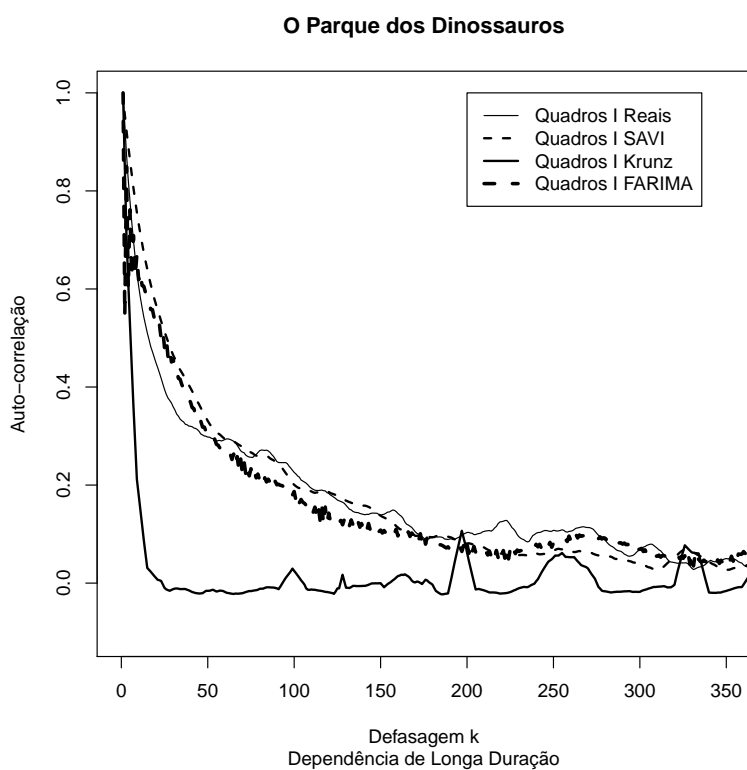


Figura 5.10: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme *O Parque dos Dinossauros*.

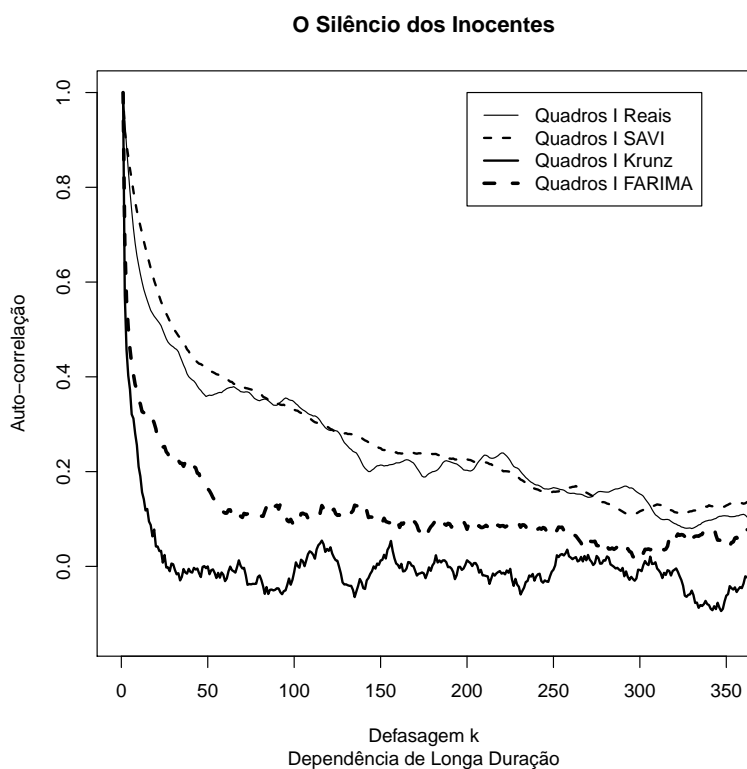


Figura 5.11: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme *O Silêncio dos Inocentes*.

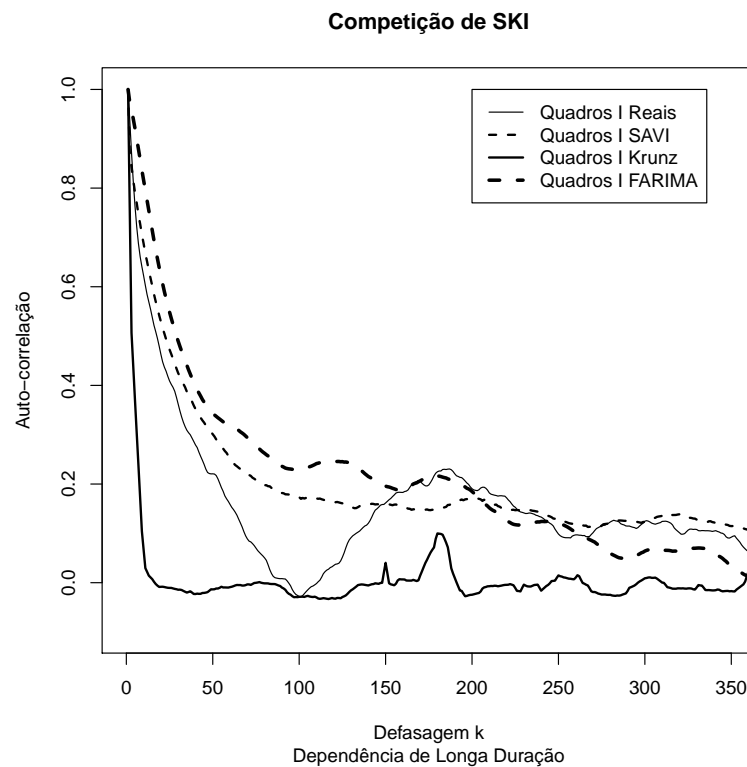


Figura 5.12: Função de autocorrelação do tamanho dos quadros I do filme *Competição de SKI*.

sentados com a legenda *FARIMA*. Observa-se que em ambos os casos a autocorrelação do tráfego real é reproduzido de forma adequada. No entanto, embora existam técnicas para a geração de séries auto-similares com complexidade computacional na ordem de  $O(n)$  como proposto por (INÁCIO et al., 2009), o SAVI tem a vantagem de relacionar elementos mais facilmente observáveis do filme como, por exemplo, tempo de duração da cena e a estrutura GOP, possibilitando uma classificação do tipo de tráfego gerada com relação a este comportamento. O modelo proposto por (KRUNZ; TRIPATHI, 1997) também utiliza o tempo de duração da cena como um de seus parâmetros, porém neste caso os autores não identificaram que este parâmetro é um dos responsáveis pela dependência de longa duração do tráfego de vídeo e utilizaram incorretamente uma distribuição geométrica na modelagem do tempo de duração da cena, o que impede a geração do tráfego auto similar. Os modelos auto-similares necessitam do parâmetro de Hurst, que é o coeficiente de auto-similaridade ou ainda da dimensão fractal que não depende, por exemplo, da dinâmica do filme dificultando

assim a associação deste parâmetro aos dados que se deseja simular. O tempo de duração da cena afeta fortemente a dependência de longa duração e não depende da qualidade do vídeo. A Figura 5.13 mostra a autocorrelação para três *traces* sintéticos gerados pelo SAVI com os mesmos parâmetros do filme *O Parque dos Dinossauros* alterando-se o desvio padrão do tempo de duração da cena.

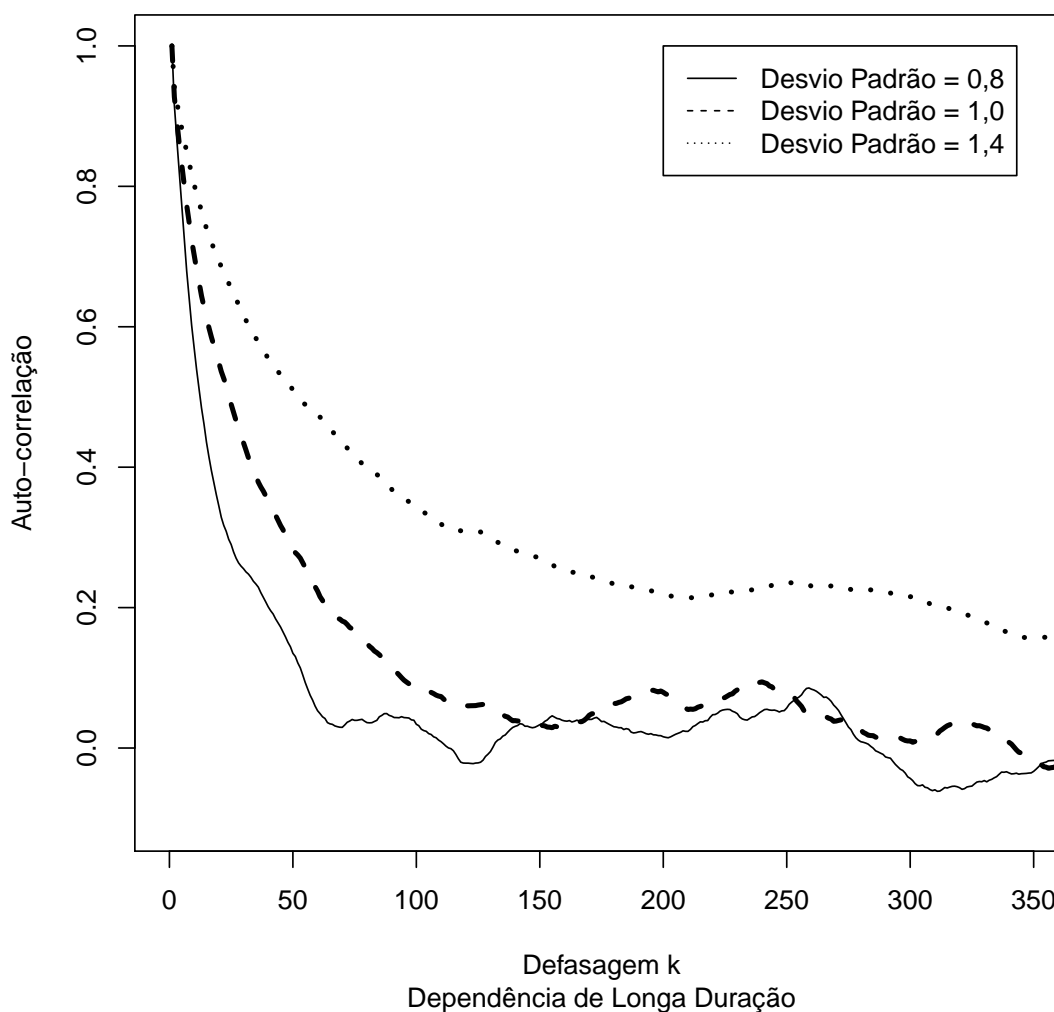


Figura 5.13: Função de autocorrelação com três desvios padrões gerados pelo SAVI

Ao alterar o desvio padrão da cena modifica-se diretamente a dinâmica do tráfego sintético, o primeiro impacto percebido é na quantidade de quadros a serem transmitidos para o mesma quantidade de cenas, alterando a dependência de curta e longa duração do tráfego sintético. Com o desvio padrão de  $\delta_s = 1,4$ , o *trace* apresenta forte



dependência de curta e longa duração. Utilizando valores mais baixos para o desvio padrão a dependência temporal é atenuada, embora ainda presente. Nos estudos realizados foi verificado que para gerar sinteticamente o tráfego de um desenho animado é necessário que o valor de  $\mu\delta(s)$  esteja entre 1,6 e 1,85 e  $\sigma\delta(s)$  deve estar entre 0,99 e 1,096. Para gerar o tráfego sintético que represente eventos esportivos foi verificado que o valor de  $\mu\delta(s)$  deve estar entre 1,55 e 1,996 e  $\sigma\delta(s)$  deve estar entre 0,90 e 0,99. Para gerar o tráfego sintético que represente noticiários e demais conteúdos para televisão foi verificado que o valor de  $\mu\delta(s)$  deve estar entre 2,16 e 2,40 e  $\sigma\delta(s)$  deve estar entre 0,94 e 0,99. Para gerar o tráfego sintético que represente filmes foi verificado que o valor de  $\mu\delta(s)$  deve estar entre 1,58 e 1,96 e  $\sigma\delta(s)$  deve estar entre 0,77 e 1,10.

Para a comprovação da eficiência do SAVI os dados gerados pelo mesmo foram carregados no cenário da Figura 5.14 no simulador NS2 (BRESLAU et al., 2000). O cenário de simulação foi configurado para verificar se o comportamento da fila gerada pelos quadros fornecidos pelo simulador tem o mesmo comportamento da fila quando é transportado um filme codificado com o MPEG-4. Os canais de comunicações das simulações foram configurados para que entre o servidor de vídeo e o roteador de origem não ocorra a perda de pacotes. A taxa de ocupação entre o roteador de origem e o roteador de destino utilizada foi de 90% sem a ocorrência de tráfego concorrente, os gráficos a seguir representam as comparações das filas formadas no roteador de origem.

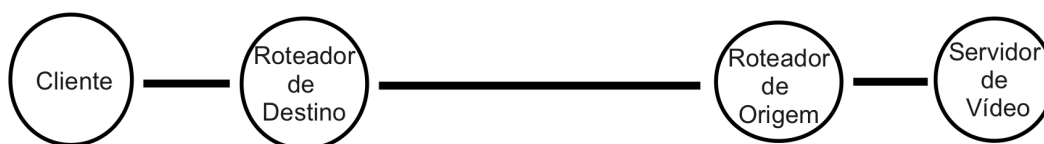


Figura 5.14: Cenário de simulação do NS2

Os filmes utilizados para estes testes foram: *A Dama e Vagabundo*, *O Parque dos Dinossauros*, *Robin Hood*, *Competição de SKI* e *Guerra nas Estrelas Ep. IV*, as Figuras 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam as comparações das funções de auto correlação da fila gerada por todos os quadros do *trace* real e o *trace* fornecido pelo SAVI.

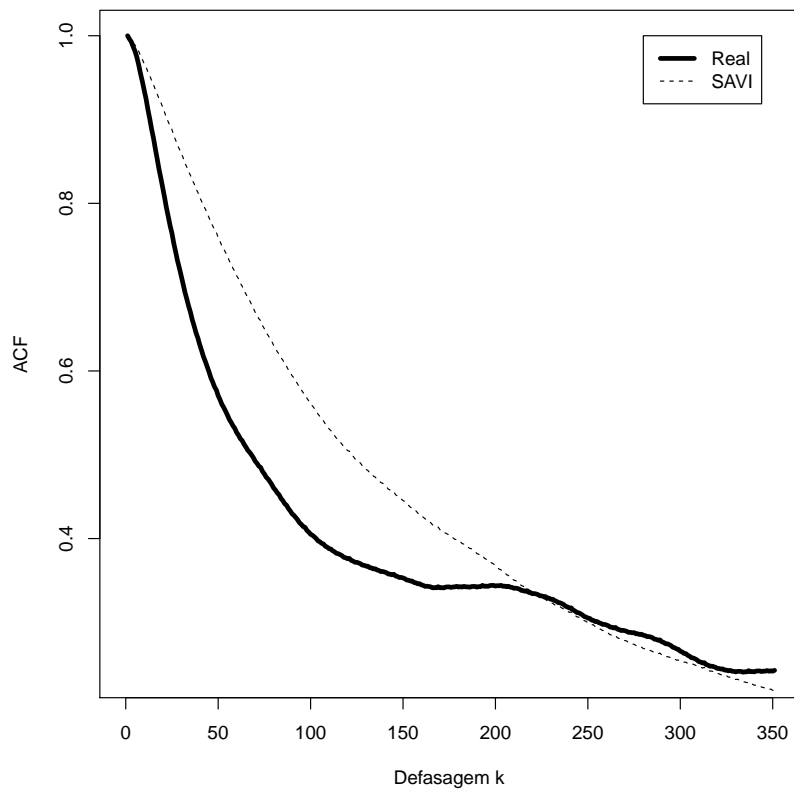


Figura 5.15: Função de Autocorrelação da Fila do filme *A Dama e o Vagabundo*

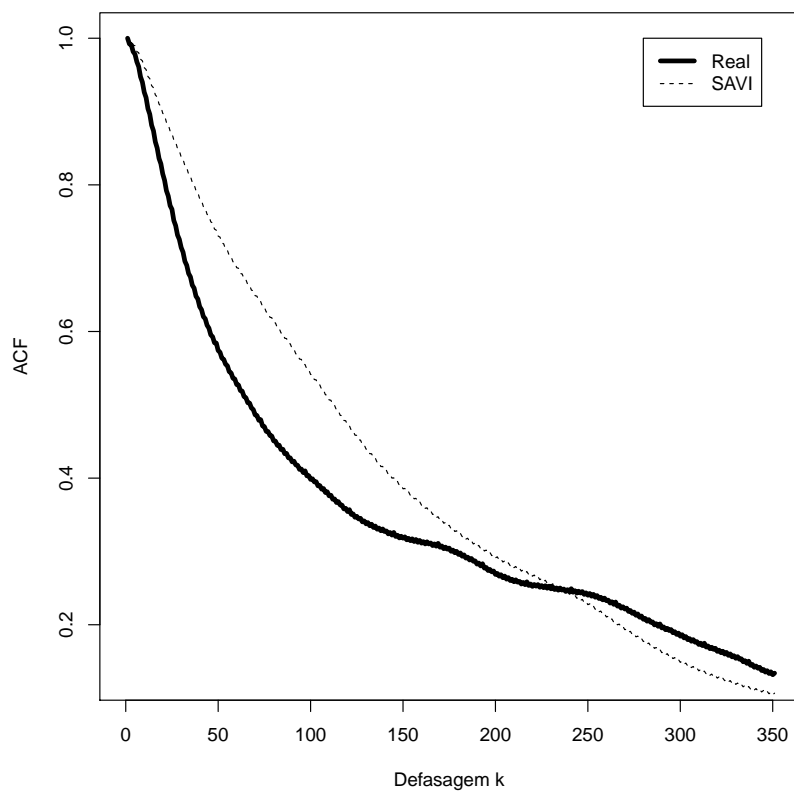


Figura 5.16: Função de Autocorrelação da Fila do filme *O Parque dos Dinossauros*

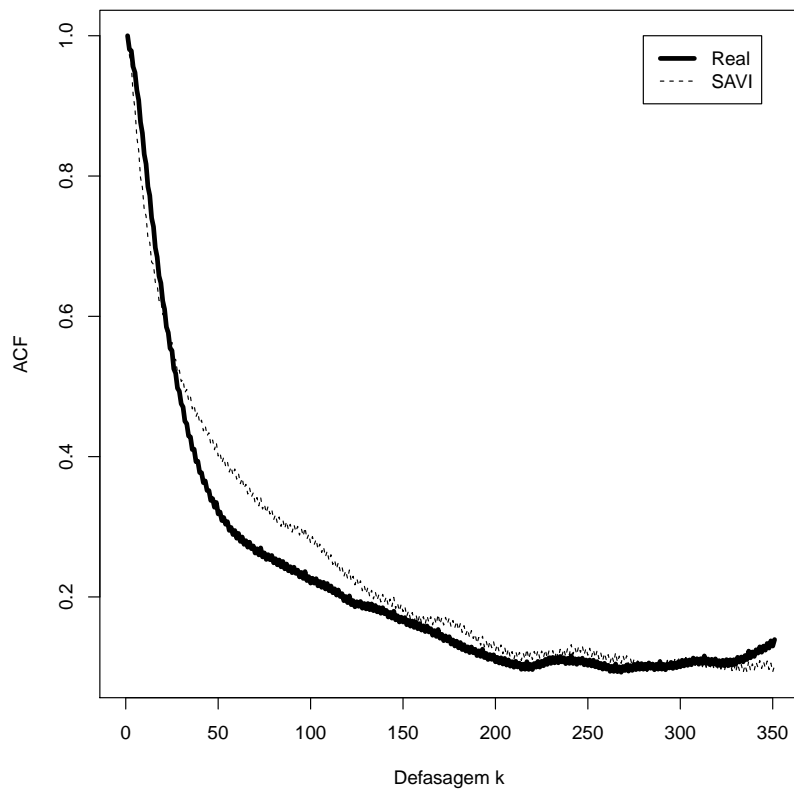


Figura 5.17: Função de Autocorrelação da Fila do filme *Robin Hood*

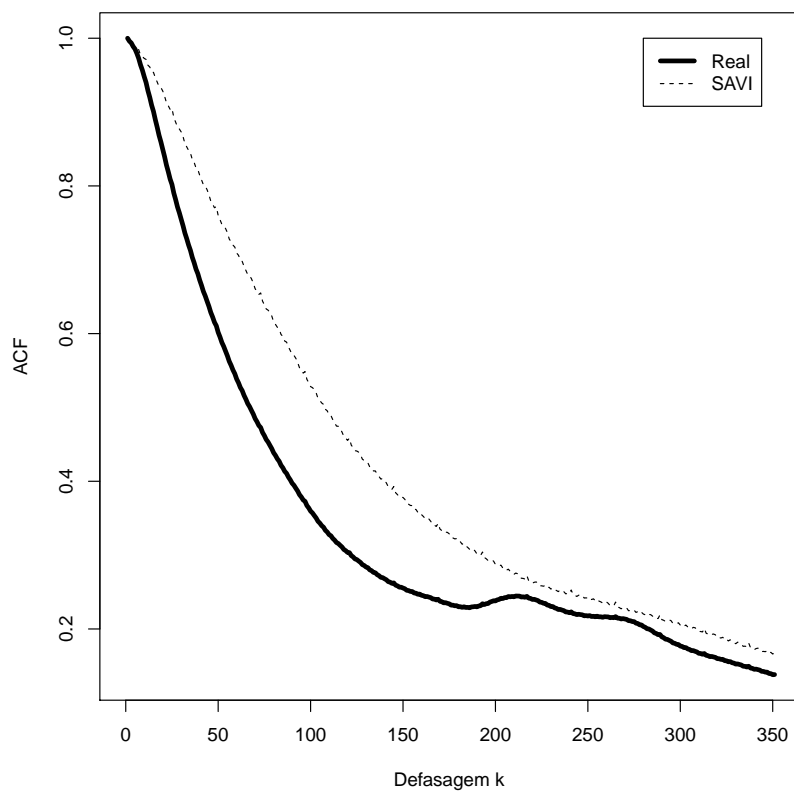


Figura 5.18: Função de Autocorrelação da Fila do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*

As Figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 apresentam as comparações das funções densidade de probabilidade da fila gerada por todos os quadros do *trace* real e do *trace* fornecido pelo SAVI.

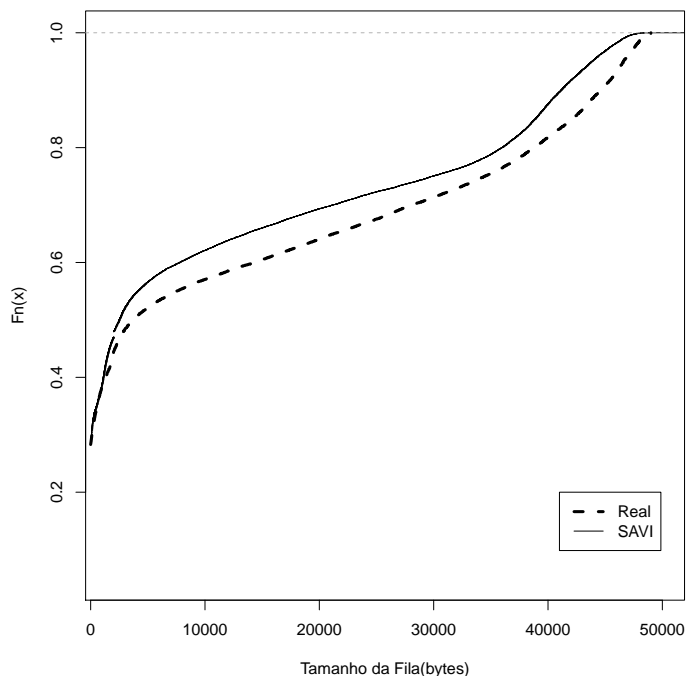


Figura 5.19: Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme *A Dama e o Vagabundo*

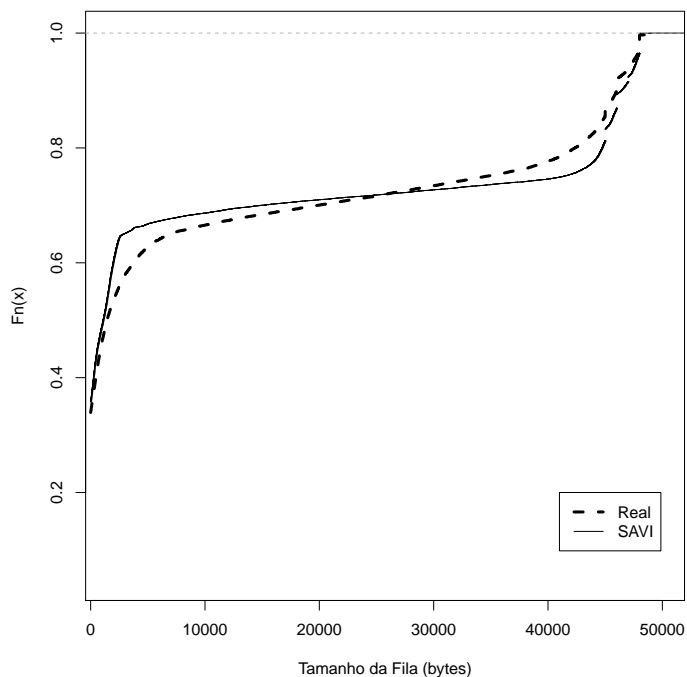


Figura 5.20: Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme *O Parque dos Dinossauros*

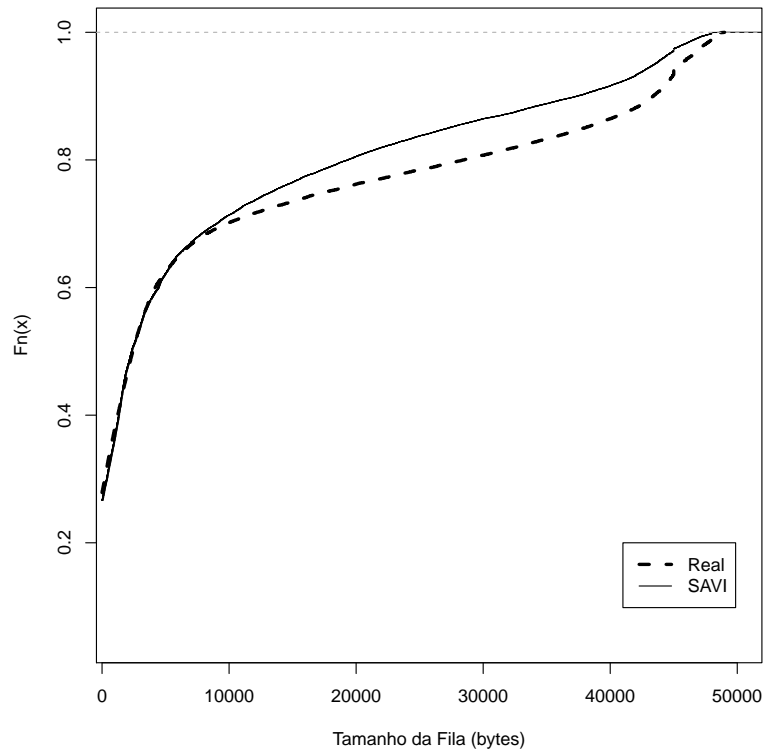


Figura 5.21: Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme *Robin Hood*

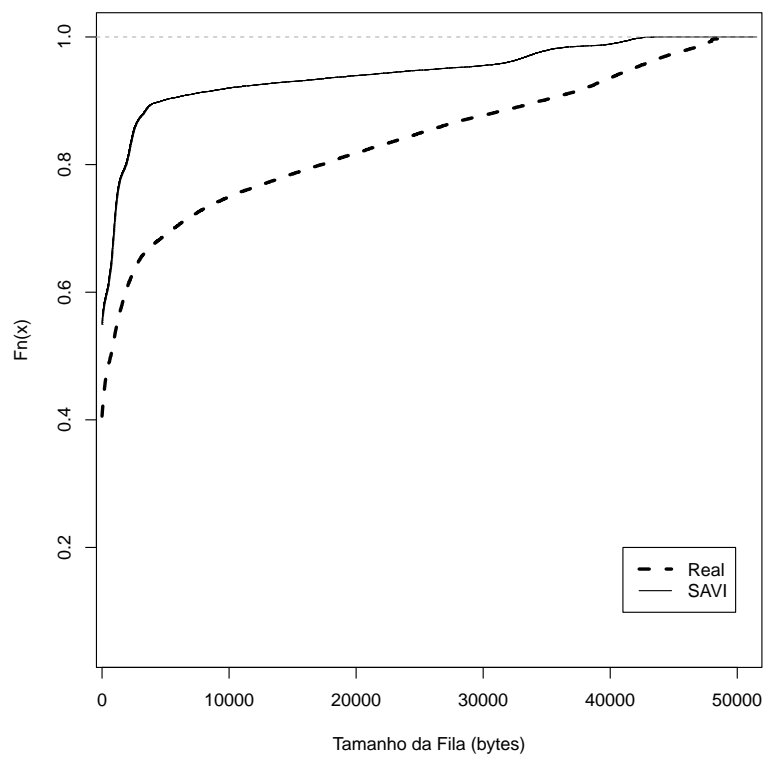


Figura 5.22: Função Densidade de Probabilidade da Fila do filme *Guerra nas Estrelas Ep. IV*

Pode ser observado que a fila sintética fornecida pelo SAVI segue o mesmo comportamento da fila real. Além disso o modelo proposto possibilita geração de tráfego sintético após a realização de uma adaptação de conteúdo do vídeo. O tempo de duração da cena não será alterado com a adaptação de conteúdo e esta é uma invariante do modelo proposto. Com a redução de dimensões ou a alteração da qualidade da imagem, serão produzidos quadros com tamanhos menores. No entanto, as propriedades de correlação entre os quadros permanecem, de forma que é possível prever qual será o resultado, em termos de tráfego de rede resultante, após uma adaptação de conteúdo. Isto é particularmente importante para transmissões de vídeo em redes móveis, onde existe necessidade de adaptação de conteúdo em função da restrição da largura de banda.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi proposto um novo modelo, para geração de tráfego MPEG sintético, que utiliza características do tempo de duração da cena como base para geração da sequência de quadros do GOP. Os modelos em uso atualmente utilizam modelos auto-similares ou uma combinação de distribuições de probabilidade para imitar a autocorrelação temporal entre os quadros que pode ser observada no tráfego real. Os testes mostram que o modelo proposto é capaz de imitar apropriadamente este comportamento de dependência temporal. Além disso, o SAVI fornece uma explicação que relaciona a soma de variáveis aleatórias com as características específicas do filme.

Ao utilizar o tempo de duração da cena para geração de tráfego, torna-se possível estabelecer determinados padrões de comportamento em função desta variável, de modo a produzir diversos perfis de tráfego, de acordo com a necessidade. Esta vinculação não é possível com os padrões existentes, que dependem de parâmetros que não podem ser vinculados de modo tão explícito com o as características do filme em questão.

O SAVI possibilita, por exemplo, a geração de tráfego de um determinado perfil de filme com diversos níveis de qualidade. Isto é possível porque a característica de troca de cenas permanece constante e a alteração da qualidade modifica o tamanho dos quadros. Desta forma, o modelo proposto permite um estudo sistemático de consequências da alteração da qualidade, o que é uma novidade.

Como trabalho futuro, é possível realizar a implementação do SAVI no programa de simulação NS2, permitindo a utilização do modelo em testes com diversas topologias de rede. O SAVI também pode ser considerado para gerar tráfego em MPEG para filmes em terceira dimensão. Neste caso, deve ser realizado um estudo sobre o

padrão de correlação dos quadros que compõe o GOP e determinar se as distribuições utilizadas podem ser aplicadas da mesma forma como nos filmes analisados nesta dissertação. Outra possibilidade é analisar o uso do SAVI para gerar tráfego sintético para o estudo de transmissão multimídia em redes de telefonia móvel, analisando os efeitos da adaptação de conteúdo em função das capacidades dos dispositivos do usuário, isto é possível porque o tamanho da cena é uma invariante para o modelo. Outra possibilidade é realizar uma classificação de perfis de tráfego, identificando os parâmetros associados a cada categoria de vídeo, facilitando o trabalho do projetista da rede.



## REFERÊNCIAS

ADAS, A. Traffic models in broadband networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 37, n. 7, p. 82–89, July 1997.

ARORA, S.; BARAK, B. **Computational Complexity: A Modern Approach**. 1st. ed. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2009. ISBN 0521424267, 9780521424264.

BEGEN, A. C.; GLAZEBROOK, N.; STEEG, W. V. A unified approach for repairing packet loss and accelerating channel changes in multicast iptv. In: **CCNC'09: Proceedings of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking Conference**. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2009. p. 417–422. ISBN 978-1-4244-2308-8.

BOUDEC, J.-Y. L. **Performance Evaluation of Computer and Communication Systems**. [S.l.]: EPFL Press, Lausanne, Switzerland, 2010. 420 p.

BRESLAU, L. et al. Advances in network simulation. **IEEE Computer**, v. 33, n. 5, p. 59–67, 2000.

CHA, M. et al. Watching television over an ip network. In: **IMC '08: Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement**. New York, NY, USA: ACM, 2008. p. 71–84. ISBN 978-1-60558-334-1.

DAI, M.; ZHANG, Y.; LOGUINOV, D. A unified traffic model for MPEG-4 and H.264 video traces. **IEEE Transactions on Multimedia**, v. 11, p. 1010–1023, 2009.

FITZEK, F.; REISSLEIN, M. MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation. **IEEE Network**, v. 15, n. 6, p. 40–54, nov. 2001.

FREITAS, P. J. d. F. **Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas**. Florianópolis, SC, Brasil: Visual Books, 2008. 384 p.

GARRETT, M. W.; WILLINGER, W. Analysis, modeling and generation of self-similar vbr video traffic. In: **SIGCOMM '94: Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications**. New York, NY, USA: ACM Press, 1994. p. 269–280. ISBN 0-89791-682-4.

INÁCIO, P. R. M. et al. The design and evaluation of the simple self-similar sequences generator. **Inf. Sci.**, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 179, n. 23, p. 4029–4045, nov. 2009. ISSN 0020-0255.

ITU. **MPEG-4 Part 14: MP4 file format; ISO/IEC 14496-14:2003**. 2003. International Organization for Standardization.

JAIN, R. **The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1991.

KLAUE, J.; RATHKE, B.; WOLISZ, A. Evalvid - a framework for video transmission and quality evaluation. In: **In Proc. of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 255–272.

\_\_\_\_\_. **A Video Quality Evaluation Tool-set**. February 2012. On Line. Disponível em: <<http://www2.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/fw.html>>.

KRUNZ, M.; HUGHES, H. A traffic model for mpeg-coded vbr streams. In: **In Proc. of the ACM SIGMETRICS/PERFORMANCE '95 Conference**. [S.l.: s.n.], 1995. p. 47–55.

KRUNZ, M.; TRIPATHI, S. K. On the characterization of VBR MPEG streams. **SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.**, ACM, New York, NY, USA, v. 25, n. 1, p. 192–202, jun. 1997. ISSN 0163-5999.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet**. São Paulo, SP, Brasil: Pearson Addison Wesley, 2006. 634 p.

LIU, J. et al. Traffic modeling based on FARIMA models. In: **IEEE 1999 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**. Edmonton, Alberta, Canada: [s.n.], 1999.

MANZONI, P.; CREMONESI, P.; SERAZZI, G. Workload models of VBR video traffic and their use in resource allocation policies. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 7, n. 3, p. 387–397, 1999. ISSN 1063-6692.

NIEDERMAYER, M. **FFmpeg**. February 2012. On Line. Disponível em: <<http://ffmpeg.org/>>.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2011. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>.

ROSE, O. A Memory Markov Chain for VBR traffic with strong positive correlations. In: **24th International Teletraffic Congress (ITC 16)**. Edinburgh, GB: [s.n.], 1999. p. 827–836.

SARKAR, U. K.; RAMAKRISHNAN, S.; SARKAR, D. Modeling full-length video using markov-modulated gamma-based framework. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 11, n. 4, p. 638–649, ago. 2003. ISSN 1063-6692.

SEELING, P.; REISSLEIN, M.; KULAPALA, B. Network performance evaluation using frame size and quality traces of single-layer and two-layer video: A tutorial. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 6, n. 1-4, p. 58–78, 2004.

SIMPSON, W. **Video over IP**. [S.I.]: FOCAL PRESS, 2006. ISBN 0-24080-557-7.

SIMPSON, W.; GREENFIELD, H. **IPTV and Internet Video**. [S.I.]: Focal Press, 2009. 224 p. ISBN 024081245X.

WUERTZ, D.; OTHERS many; FILE see the S. **fArma: ARMA Time Series**

**Modelling**. [S.l.], 2012. R package version 2160.77. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=fArma>>.

## APÊNDICE A

### CÓDIGO FONTE DO SIMULADOR

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <math.h>
3 #include <sys/time.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #define myrand ((float)(random()))/(float)(RAND_MAX) )
6 double gama(double alpha, double scale);
7 double lognormal(double a, double b);
8 double normal(double, double);
9 long int qcen;
10 int i, j, k;
11 float x;
12 float tdc[10000];
13 int itpc[10000];
14 float lm;
15 float ldes;
16 float ml;
17 float ldes;
18 float Pdes;
19 float Bdes;
20 float clP;
21 float cPB;
22 float aleP;
23 float alfP;
24 float aleB;
25 float alfB;
26 float I[1000][1000];
27 float B[1000][1000][8];
28 float P[1000][1000][3];
29
```

```

30 void main()
31 {
32     for (i=0;i<1000;i++)
33     for (j=0;j<1000;j++)
34     {
35         I[i][j]=-99;
36         for (k=0;k<3;k++)
37             P[i][j][k]=-99;
38         for (k=0;k<8;k++)
39             B[i][j][k]=-99;
40     }
41
42     srand(time(NULL));
43     printf("\n");
44     printf("*****Teste de Geração de Tráfego Sintético*****\n");
45     printf("\n");
46     printf("Entre com a QUANTIDADE DE CENAS\n");
47     scanf("%ld", &qcen);
48     printf("Entre com a MÉDIA do Tempo de Duração da Cena\n");
49     scanf("%f", &lm);*/
50     printf("Entre com o DESVIO PADRÃO do Tempo de Duração das Cenas\n");
51     scanf("%f", &ldes);
52     printf("Entre com a MÉDIA DO TAMANHO DOS QUADROS I\n");
53     scanf("%f", &ml);
54     printf("Entre com o DESVIO PADRÃO DO TAMANHO DOS QUADROS I\n");
55     scanf("%f", &ldes);
56     printf("Entre com o DESVIO PADRÃO DOS QUADROS P\n");
57     scanf("%f", &Pdes);
58     printf("Entre com o DESVIO PADRÃO DOS QUADROS B\n");
59     scanf("%f", &Bdes);
60     printf("Entre com a Correlação entre I e P\n");
61     scanf("%f", &cIP);
62     printf("Entre com o Correlação entre P e B\n");
63     scanf("%f", &cPB);
64     printf("Entre a escala distribuição Gamma dos quadros P\n");

```

```

65 scanf("%f", &aleP);
66 printf("Entre a forma distribuição Gamma dos quadros B\n");
67 scanf("%f", &alfP);
68 printf("Entre a escala distribuição Gamma dos quadros B\n");
69 scanf("%f", &aleB);
70 printf("Entre a forma distribuição Gamma dos quadros B\n");
71 scanf("%f", &alfB);
72
73     i=0;
74     while(i < 10000)
75     {
76         itpc[i] = '\0';
77         i++;
78     }
79     for(i=0; i <= qcen; i++)
80     {
81         tdc[i] = lognormal(lm, ldes);
82         itpc[i] = (int)tdc[i]/0.48;
83         x = normal(ml, ldes);
84         if(x < 0)
85         {
86             I[i][0] = normal(ml, ldes);
87         }
88     }
89
90     for(j = 0; j < qcen; j++)
91     {
92         for(i = 0; i < itpc[j]; i++)
93         {
94             if (i!=0)
95                 I[j][i] = I[j][0] + normal(0,220);
96                 P[j][i][0]= I[j][i] * (cIP*Pdes/ldes);
97                 P[j][i][1]= P[j][i][0] + gama(aleP, alfP);
98                 P[j][i][2]= P[j][i][0] + gama(aleP, alfP);
99                 B[j][i][0]= P[j][i][0] * (cPB*Bdes/Pdes);

```

```

100         B[j][i][1]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
101         B[j][i][2]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
102         B[j][i][3]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
103         B[j][i][4]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
104         B[j][i][5]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
105         B[j][i][6]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
106         B[j][i][7]= B[j][i][0] + gama(aleB , alfB );
107     }
108 }
109 for(j = 0; j < qcen; j++)
110 {
111     printf("%i_\n",j);
112     printf("%i_%.2f_\n",j , I[j][0]);
113     for(i = 0; i < itpc[j]; i++)
114     {
115         printf("%.2f_\n", I[j][i]);
116         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][0]);
117         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][1]);
118         printf("P_%.2f_\n", P[j][i][0]);
119         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][2]);
120         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][3]);
121         printf("P_%.2f_\n", P[j][i][1]);
122         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][4]);
123         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][5]);
124         printf("P_%.2f_\n", P[j][i][2]);
125         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][6]);
126         printf("B_%.2f_\n", B[j][i][7]);
127     }
128 }
129 }
130
131 double normal(double m, double s)
132 {
133     const double p0 = 0.322232431088;
134     const double p1 = 1.0;

```



```

135 const double p2 = 0.342242088547;
136 const double p3 = 0.204231210245e-1;
137 const double p4 = 0.453642210148e-4;
138 const double q0 = 0.099348462606;
139 const double q1 = 0.588581570495;
140 const double q2 = 0.531103462366;
141 const double q3 = 0.103537752850;
142 const double q4 = 0.385607006340e-2;
143 double u, t, p, q, z;
144 u = myrand;
145 if (u < 0.5)
146     t = sqrt(-2.0 * log(u));
147 else
148     t = sqrt(-2.0 * log(1.0 - u));
149     p = p0 + t * (p1 + t * (p2 + t * (p3 + t * p4)));
150     q = q0 + t * (q1 + t * (q2 + t * (q3 + t * q4)));
151     if (u < 0.5)
152         z = (p / q) - t;
153     else
154         z = t - (p / q);
155     return (m + s * z);
156 }
157
158 double lognormal(double a, double b)
159 {
160     return (exp(a + b * normal(0.0, 1.0)));
161 }
162
163 double gama(double alpha, double scale)
164 {
165     double a;
166     double b;
167     double v;
168     double r1;
169     double r2;

```

```
170 double x;  
171 a = 1/sqrt(2*alpha-1);  
172 b = alpha - log(4);  
173 do  
174 {  
175     r1 = myrand;  
176     r2 = myrand;  
177     v = r1/(1-r1);  
178     x = alpha*pow(v,a);  
179 }  
180 while( x > b +( alpha * a+1)*log(v) -log(r1*r1*r2));  
181 return(x/(alpha*scale));  
182 }
```