

PATRÍCIA SEREDA

**SERVIDOR DE VÍDEO SVFSERVER**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Roberto A. Hexsel

CURITIBA

2003

PATRÍCIA SEREDA

**SERVIDOR DE VÍDEO SVFSERVER**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Roberto A. Hexsel

CURITIBA

2003

PATRÍCIA SEREDA

**SERVIDOR DE VÍDEO SVFSERVER**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Roberto A. Hexsel  
Departamento de Informática, UFPR

Prof. Dr. Cristina Duarte Murta  
Departamento de Informática, UFPR

Prof. Dr. João Cesar Netto  
Instituto de Informática, UFRGS

Prof. Dr. Elias Duarte Jr.  
Departamento de Informática, UFPR

Curitiba, 27 de agosto de 2003

# Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador prof. Roberto Hexsel que confiou na minha capacidade de realizar um trabalho de mestrado e a todos os professores que me apoiaram neste projeto.

Agradeço ao Gabriel, Willian e Cleverson que me ensinaram a trabalhar com o Linux e a programar em C. Agradeço também a todos os outros meninos do PET que sempre tiveram paciência e humildade em me ajudar.

Agradeço a todos os meus colegas de mestrado que me apoiaram e me incentivaram a superar as dificuldades encontradas no curso.

Agradeço aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar.

# SUMÁRIO

	ii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>v</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Organização da Dissertação . . . . .	2
<b>2 Conceitos</b>	<b>3</b>
2.1 Servidor de Vídeo . . . . .	3
2.2 Vídeo Digital . . . . .	5
2.2.1 Compressão de Vídeo . . . . .	5
2.2.2 Compressão de Áudio . . . . .	8
2.2.3 Codificação VBR e CBR . . . . .	9
2.3 Funcionamento do servidor de vídeo . . . . .	11
2.4 Trabalhos Relacionados . . . . .	14
<b>3 Servidor SVFserver</b>	<b>16</b>
3.1 Modelo do Servidor . . . . .	17
3.2 Cliente . . . . .	21
3.3 Modelo de Envio de Segmentos de Fluxos de Vídeo . . . . .	22
3.4 Controle de recursos . . . . .	29
<b>4 Carga de Teste</b>	<b>31</b>
<b>5 Controle de Banda de Rede</b>	<b>33</b>
5.1 Testes . . . . .	34
5.1.1 Filtros . . . . .	39
5.2 Testes Realizados utilizando o Primeiro Filtro . . . . .	40
5.3 Testes Realizados com o Filtro 5.2 . . . . .	43
<b>6 Controle de Tempo de Leitura de Disco</b>	<b>48</b>
6.1 Testes Realizados . . . . .	50
<b>7 Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>57</b>
<b>A Anexo I</b>	<b>64</b>
<b>B</b>	<b>75</b>

# Lista de Figuras

2.1	Arquitetura de um servidor de vídeo. . . . .	4
2.2	Relação entre quadros I, P e B. . . . .	7
2.3	Ordenação dos quadros dentro de um GOP. . . . .	8
2.4	Tamanho dos quadros do anime Read or Die - The Paper 1. . . . .	10
2.5	Tamanho dos quadros do anime Read or Die - The Paper 2. . . . .	11
2.6	Diagrama de funcionamento do servidor. . . . .	12
2.7	Sincronismo de leitura, transmissão e reprodução em alguns ciclos do servidor. . . . .	13
3.1	Disposição da memória. . . . .	19
3.2	Diagrama de funcionamento do SVFserver. . . . .	20
3.3	Vazão e consumo dos quadros no cliente. . . . .	21
3.4	Tamanho dos quadros do filme Read or Die - The Paper 1. . . . .	23
3.5	Tamanho dos segmentos em todos os ciclos do servidor. . . . .	23
3.6	Tamanho dos quadros. . . . .	24
3.7	Tamanho dos segmentos de todos os ciclos do servidor. . . . .	25
3.8	Tamanho dos quadros. . . . .	26
3.9	Tamanho dos quadros. . . . .	28
3.10	Tamanho dos segmentos. . . . .	28
3.11	Tamanho dos quadros. . . . .	29
3.12	Tamanho dos segmentos. . . . .	29
5.1	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1). . . . .	36
5.2	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2). . . . .	37
5.3	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários). . . . .	38
5.4	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1). . . . .	41
5.5	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2). . . . .	42
5.6	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários). . . . .	43
5.7	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1). . . . .	44
5.8	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2). . . . .	45
5.9	Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários) . . . . .	46
6.1	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor. . . . .	51
6.2	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas). . . . .	53
6.3	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (500 medidas armazenadas). . . . .	53
6.4	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (1000 medidas armazenadas). . . . .	54
6.5	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas). . . . .	54
6.6	Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas). . . . .	55

6.7	Quantidade de requisições em andamento quando chegam nova requisição ao servidor. . . . .	55
6.8	Banda estimada quando chega uma nova requisição ao servidor. . . . .	56
A.1	Tamanho dos quadros do filme Senhor dos Anéis - parte 1. . . . .	65
A.2	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme Senhor dos Anéis - parte 1. . . . .	65
A.3	Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - parte 2. . . . .	66
A.4	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis - parte 2. . . . .	66
A.5	Tamanho dos quadros do filme Conan O Bárbaro. . . . .	67
A.6	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme Conan O Bárbaro. . . . .	67
A.7	Tamanho dos quadros do desenho Shrek. . . . .	68
A.8	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Shrek. . .	68
A.9	Tamanho dos quadros do show Nightwish. . . . .	69
A.10	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o show Nightwish. . .	69
A.11	Tamanho dos quadros do desenho Read or Die - The Paper 1. . . . .	70
A.12	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Read or Die - The Paper 1. . . . .	70
A.13	Tamanho dos quadros do desenho Read or Die - The Paper 2. . . . .	71
A.14	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Read or Die - The Paper 2. . . . .	71
A.15	Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - parte 1, 36 minutos iniciais. .	72
A.16	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis parte 1, 36 minutos iniciais. . . . .	72
A.17	Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais. . . . .	73
A.18	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais. . . . .	73
A.19	Tamanho dos quadros do filme From the Hell, 30 minutos iniciais. . . . .	74
A.20	Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme From the Hell, 30 minutos iniciais. . . . .	74
B.1	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	76
B.2	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	77
B.3	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	78
B.4	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	79
B.5	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	80
B.6	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	81
B.7	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	82
B.8	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	83
B.9	Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor. . . . .	84

# Lista de Tabelas

2.1	Grau de compressão de cada camada. . . . .	9
4.1	Característica dos filmes utilizados nos testes. . . . .	32
5.1	Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (RoD-TP1). . . . .	36
5.2	Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (SdA2). . . . .	37
5.3	Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (Vários). . . . .	38
5.4	Quantidade de dados medidos pelo <i>Xnetload</i> . . . . .	39
5.5	Banda de rede estimadas segundo às equações 5.1 e 5.2 [kB/s]. . . . .	40
5.6	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (RoD-TP1). . . . .	41
5.7	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (SdA2). . . . .	42
5.8	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (Vários). . . . .	43
5.9	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (RoD-TP1). . . . .	44
5.10	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (SdA2). . . . .	45
5.11	Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (Vários). . . . .	46
A.1	Características da primeira parte do filme Senhor dos Anéis. . . . .	64
A.2	Características da segunda parte do filme Senhor dos Anéis. . . . .	66
A.3	Características do filme Conan O Bárbaro. . . . .	67
A.4	Características do desenho Shrek. . . . .	68
A.5	Características do show Nightwish. . . . .	69
A.6	Características do desenho Read or Die - The Paper 1. . . . .	70
A.7	Características do desenho Read or Die - The Paper 2. . . . .	71
A.8	Características do filme O Senhor dos Anéis 1, 36 minutos iniciais. . . . .	72
A.9	Características do filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais. . . . .	73
A.10	Característica do filme From the Hell. . . . .	74



# Capítulo 1

## Introdução

O desenvolvimento de programas que utilizam multimídia e o aumento do interesse do público em geral em áudio e vídeo digitais e sua respectiva comercialização na Internet vem contribuindo para introdução de serviços que disponibilizam o envio de fluxos de áudio e vídeo por parte de provedores a clientes conectados em redes locais ou clientes conectados em redes de alta velocidade.

Atualmente a quantidade de servidores que disponibilizam este tipo de serviço e que são de domínio público é pequena. Os poucos servidores oferecidos estão ainda em fase de desenvolvimento e disponibilizam arquivos de áudio e vídeo em formatos específicos exigindo que a reprodução destes arquivos ocorra em programas clientes proprietários, diminuindo ainda mais a difusão deste tipo de serviço.

A proposta deste trabalho é desenvolver um servidor de vídeo, chamado *SVFserver*, para rede local que disponibiliza fluxos de vídeo a partir de arquivos armazenados em disco. Os formatos destes vídeos são de domínio público e podem ser reproduzidos por qualquer programa cliente que possa decodificá-los. O servidor implementado foi desenvolvido para ser executado no sistema operacional linux convencional e utiliza o protocolo *TCP/IP* para o transporte dos fluxos de vídeo.

O servidor *SVFserver* inclui uma forma de tornar a execução do servidor confiável, através da implementação de algoritmos que controlam os recursos do sistema, permitindo que o maior número de requisições possíveis possam ser admitidas sem que o serviço seja comprometido devido a sobrecargas.

Neste trabalho é proposto um algoritmo de envio de fluxos de vídeo a clientes genéricos considerando que estes não alocam espaço na memória principal para o armazenamento temporário

dos fluxos recebidos do servidor. Também é proposto um algoritmo que controla a banda de rede e informa se este recurso está sobrecarregado. O algoritmo de controle de admissão tem a função de decidir se novas requisições podem ser aceitas pelo servidor, dependendo da carga imposta à rede pelos fluxos que já estão sendo transmitidos. Um algoritmo de controle de tempo de acesso a disco foi implementado e testado no servidor, e seu desempenho é discutido.

## **1.1 Organização da Dissertação**

Esta dissertação está dividida em 7 capítulos. O capítulo 2 descreve os conceitos necessários para a compreensão do funcionamento do servidor e inclui os trabalhos relacionados ao tema. O capítulo 3 expõe detalhadamente o funcionamento do servidor e descreve o método utilizado no envio de fluxos de vídeo. O quarto capítulo mostra as características dos arquivos de vídeo utilizados como carga de testes. O capítulo 5 expõe o algoritmo de controle de banda de rede e faz uma análise dos filtros utilizados para o cálculo da banda. O capítulo 6 descreve um algoritmo de controle de tempo de acesso a disco implementado no servidor e analisa os resultados obtidos com este algoritmo. O capítulo 7 conclui o trabalho.

# Capítulo 2

## Conceitos

### 2.1 Servidor de Vídeo

Um *Servidor de vídeo* é um programa que disponibiliza fluxos de vídeo a clientes que os reproduzem sem a necessidade de armazenamento local. As requisições podem ser emitidas a qualquer momento e podem ser referentes a qualquer arquivo de vídeo armazenado em disco ou a fluxos de vídeo transmitidos ao vivo.

A figura 2.1 mostra a arquitetura básica de um servidor de vídeo. Nesta figura observa-se que existem dois tipos de serviços que podem ser disponibilizados pelo servidor. O primeiro serviço é o acesso a sistemas de transmissão de vídeo ao vivo e o segundo é o acesso a arquivos de vídeo armazenados em disco. No primeiro tipo de serviço a imagem e o som são codificados em formato de fluxos de vídeo e são enviados ao servidor de vídeo e/ou armazenados em disco. No segundo tipo de serviço, arquivos de vídeo disponibilizados pelo servidor podem estar armazenados diretamente em disco ou podem estar em armazenamento terciário como fitas e compact discs.

O procedimento de envio de fluxos de vídeo por parte do servidor depende do serviço que o cliente requisitou. Quando solicitado fluxos de vídeo ao vivo, o servidor repassa o fluxo correspondente recebido do codificador, que é armazenado temporariamente na memória principal, diretamente à interface de rede. No outro caso, sendo solicitado fluxos de um arquivo de vídeo armazenado, o servidor deve transferir os dados do disco, ou de outro tipo de armazenamento terciário, para a memória principal antes de encaminhá-lo ao cliente. Estando os dados na memória principal, estes são então transmitidos para a interface de rede. Neste caso o servidor deve ter o controle destes recursos para que a entrega ocorra sem atrasos.

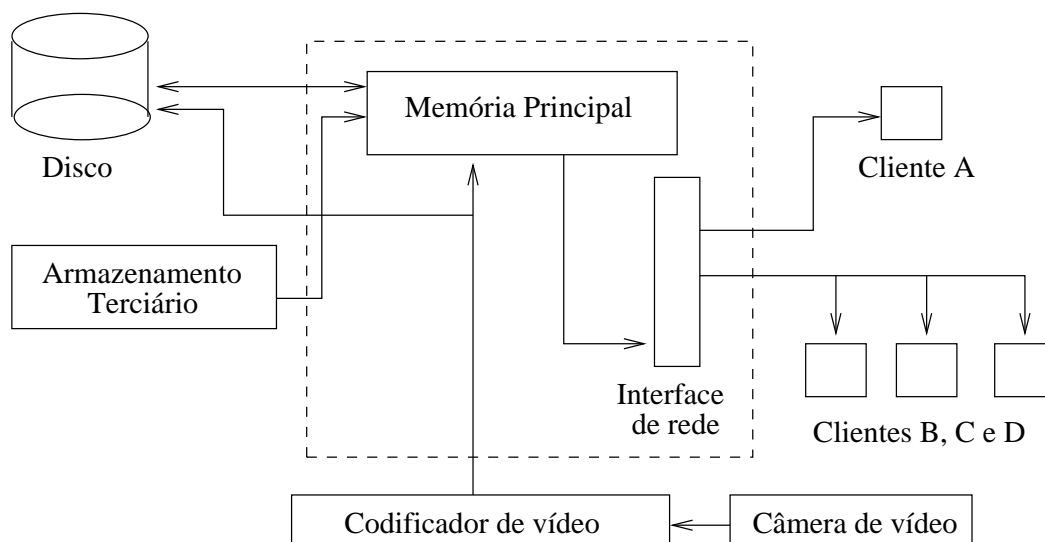


Figura 2.1: Arquitetura de um servidor de vídeo.

A transmissão de fluxos de vídeo pode ser feita através de dois tipos de conexões: *conexão unicast* ou *conexão multicast*. Uma *conexão unicast* corresponde a uma conexão na qual o fluxo de vídeo é enviado do servidor para um único endereço *IP* de destino, correspondendo ao endereço do cliente. Uma conexão multicast corresponde a uma conexão na qual o fluxo de vídeo é enviado do servidor a vários clientes simultaneamente, que utilizam um endereço *IP* do tipo multicast.

O serviço de envio de fluxos de vídeo ao vivo requer a utilização de conexões multicast para economizar largura de banda, pois os dados enviados aos clientes que solicitam o mesmo fluxo são idênticos. Isso não ocorre quando a solicitação é feita para arquivos de vídeo armazenados em disco, pois as requisições são feitas para arquivos distintos em tempos diferentes, dificultando a utilização de conexões multicast [X. Li and Paul, 1999, Chan and Tobagi, 1999, S. H. G. Chan and Ko, 1998, D. Eager and Zahorjan, 1999].

A principal característica que diferencia o servidor de vídeo de outros servidores é sua carga. Para transmitir vídeo digital o servidor deve ter controle de todos os recursos do sistema como: disco, memória principal, tempo de cpu, banda de rede, entre outros. A seção a seguir descreve as características e propriedades do vídeo digital que determina o modelo interno de um servidor de vídeo.

## 2.2 Vídeo Digital

Um *Vídeo Digital* é obtido pela composição de imagens estáticas sincronizados a um sinal de áudio. Uma imagem estática, ou *quadro*, é composta pelo arranjo de vários elementos de imagem chamados *pixels*. A *resolução* de um quadro corresponde à quantidade de *pixels* descrito em termos de número de linhas por coluna.

Para que a reprodução de vários quadros consecutivos que possuem pequenas diferenças apresente a imagem de forma que o movimento apareça na tela tal como contínuo e natural, a frequência de sua reprodução deve ser no mínimo de 24 quadros em um segundo. Esta frequência é definida como taxa de quadros por segundo (*qps*) ou como *frames per second (fps)* [Grob, 1989].

Cada *pixel* de um quadro de um vídeo digital é constituído de três informações:

1. No padrão *RGB*: 1 pixel = 8 bits de informação da cor vermelha *Cr-Red*, 8 bits de informação da cor verde *Cr-Green*, e 8 bits de informação da cor azul *Cr-Blue*;
2. No padrão *YCbCr*: 1 pixel = 16 bits de informação de iluminância ou intensidade de luz *Y*, 8 bits de informação da cor azul *Cr-Blue*, e 8 bits de informação da cor vermelha *Cr-Red*.

A qualidade de um vídeo digital é determinada pela resolução de cada quadro, pela quantidade de quadros reproduzidos por segundo e pela quantidade de bits que representa cada *pixel*. Quanto maior a qualidade de um vídeo, maior a quantidade de dados armazenados e a sua correspondente largura de banda durante a transmissão.

Para se ter uma idéia da quantidade de dados de um vídeo digital, considera-se um vídeo com 60 minutos de duração, com resolução de 640x480, na qual cada pixel é representado por 24 bits padrão RGB, a uma frequência de 30 quadros por segundo. Este vídeo possui uma largura de banda 221 Mbps e utiliza 99,5 GB de disco, somente para a informação de imagem, desconsiderando áudio e outras informações. Para tornar viável o transporte e o armazenamento de vídeos digitais aos usuários existe a necessidade de comprimir as informações redundantes de um vídeo. A seção a seguir descreve um algoritmo de compressão de vídeo digital adotado como padrão internacional.

### 2.2.1 Compressão de Vídeo

O padrão de compressão de vídeo digital *Motion Picture Experts Group (MPEG)* foi desenvolvido no início da década de noventa com o objetivo de diminuir a largura de banda de fluxos de vídeo.

Este padrão reduz a largura de banda de vídeos genéricos para o intervalo de 1.5 Mbps no padrão MPEG-1 e para 4.0 Mbps no padrão MPEG-2 [Gall, 1991, Chang and Garcia-Molina, 1999].

O padrão de compressão MPEG diminui a largura de banda de um vídeo através da eliminação das informações redundantes da imagem e do som. No caso da imagem, com maior quantidade de informações, dois tipos de redundância são eliminados: redundância espacial e redundância temporal.

A redundância espacial corresponde aos dados de crominância e luminância que preenchem áreas de uma determinada imagem com a mesma informação com a mesma representação de cor para vários *pixels* vizinhos. Para eliminar este tipo de redundância é aplicado uma seqüência de algoritmos de compressão de dados. Inicialmente cada quadro referente à informação de crominância ou iluminância é dividido em blocos de 8x8 pixels e dentro de cada bloco somente informações necessárias são codificadas. Para o padrão *YCbCr* as informações referentes à crominância são menos relevantes que a informação de luminância, desta forma cada grupo de 4 *pixels* de uma determinada crominância é codificado em um único *pixel*, aumentando assim o grau de compressão. Em cada bloco criado é aplicado o algoritmo *Discrete Cosine Transform (DCT)*, para a eliminação das redundâncias espaciais. Para uma descrição mais detalhada veja [Gall, 1991].

A redundância temporal corresponde às informações repetidas em quadros consecutivos ao longo da reprodução de um vídeo. Para eliminar informações repetidas, ao invés de codificar inteiramente cada quadro em separado, são codificados somente as diferenças entre quadros adjacentes na seqüência de reprodução. O algoritmo de compensação de movimentos é utilizado para detectar movimentos de objetos em seqüências de quadros consecutivos. Este algoritmo transforma um quadro original em um de três tipos de quadros:

1. Quadro *Intracoded (I)*: este quadro é codificado com todas as informações do quadro original excluindo somente as redundâncias espaciais. Este quadro será utilizado como fonte de comparação de movimento de objetos para quadros anteriores e posteriores. Este deve ser o primeiro quadro a ser reproduzido no cliente e deve ser armazenado em um buffer para a reconstrução dos outros quadros;
2. Quadro *Predictive (P)*: este quadro é codificado somente com as diferenças detectadas no quadro atual com relação ao quadro-I ou quadro-P anterior. Ele também é utilizado como base de comparação;

3. Quadro *Bidirectional* (*B*): este quadro é codificado somente com as diferenças detectadas no quadro atual com relação ao quadro-I ou quadro-P anterior e posterior ao mesmo tempo. Este quadro possui uma mescla de informações dos dois quadros, parecendo duas imagens sobrepostas. Este quadro possui o maior grau de compressão comparado com os outros dois quadros.

A figura 2.2 mostra a relação entre os quadros resultantes da compressão. Observa-se que os quadros B são codificados com as diferenças entre seu quadro original e os quadros I e P anterior e/ou posterior, enquanto o quadro P é codificado com as diferenças entre seu quadro original e o quadro I anterior.

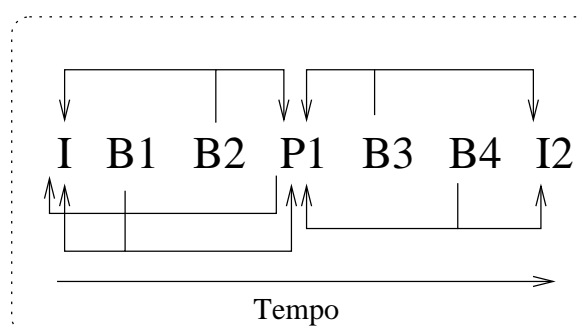


Figura 2.2: Relação entre quadros I, P e B.

O quadro-I serve como base para a codificação e decodificação dos outros tipos de quadros, por isso é importante que este quadro apareça periodicamente na codificação de um vídeo digital. Quando a fonte do vídeo reproduzido não é local, a sua reprodução é feita através do recebimento de fluxos de vídeo através de uma rede. Neste caso, é necessário que a frequência dos quadros seja alta e constante evitando que a sua reprodução seja interrompida quando um quadro-I chega com erro ou quando é perdido. Em um servidor de vídeo que envia fluxos de vídeo utilizando transmissão multicast, quando novos usuários são incluídos no grupo, estes usuários devem esperar um quadro-I para poder iniciar a reprodução do vídeo. Sendo assim, se a quantidade de quadros-I é pequena, o tempo para iniciar a reprodução será longo.

A quantidade e a seqüência de tipos de quadros são definidos como um *Group of Picture* (*GOP*). Cada grupo inicia com um quadro-I e é seguido por quadros B e P. A quantidade de quadros de um *GOP* pode ser definida pelo usuário, assim como o número de quadros por segundo. Estes dois valores podem ser iguais mas são independentes. Quanto menor for o tamanho de um *GOP*, maior é a quantidade de quadros-I codificados, conseqüentemente maior é a largura de banda do vídeo.

A figura 2.3 mostra a codificação de dois *GOP* constituídos por 12 quadros cada em um vídeo com 24 quadros por segundo. A ordem de codificação dos quadros é diferente da ordem de reprodução, devido à dependência que quadros-B possuem de quadros anteriores e posteriores para a sua codificação e decodificação. Observa-se que o quadro superior mostra a ordem real de reprodução dos quadros e o quadro inferior mostra a ordem real de codificação e decodificação. Os quadros-P e os quadros-I devem estar armazenados na memória antes da codificação e decodificação dos quadros B.

### Vídeo de 24 qps e GOP de 12 quadros

Ordenação dos quadros na reprodução em 1 segundo

GOP1 => I1 B1 B2 B3 P1 B4 B5 B6 P2 B7 B8 B9

GOP2 => I2 B10 B11 B12 P3 B13 B14 B15 P4 B16 B17 B18

Ordenação dos quadros na codificação/decodificação

GOP1 => I1 P1 B1 B2 B3 P2 B4 B5 B6 I2 B7 B8 B9

GOP2 => P3 B10 B11 B12 P4 B13 B14 B15 I3 B16 B17 B18

Figura 2.3: Ordenação dos quadros dentro de um GOP.

## 2.2.2 Compressão de Áudio

O padrão MPEG comprime a informação de áudio através da eliminação de informações acústicas irrelevantes. Este padrão considera a inabilidade da audição humana de registrar sinais de áudio codificados quando estes sofrem mascaramento. O fenômeno de mascaramento corresponde a uma propriedade da percepção do sistema de audição que ocorre quando um sinal de áudio forte torna imperceptíveis os sinais que são vizinhos à sua frequência e que tem baixa amplitude. Resultados empíricos mostram que o sistema de audição humana possui limitações no seu espectro. Estas limitações correspondem a larguras de banda menores que 100 Hz para frequências baixas e maiores que 4 kHz para frequências altas. Estas limitações correspondem à falta de capacidade do sistema de audição de traduzir fielmente o sinal recebido nestas frequências. Analisando a amplitude do sinal e a sua frequência, as informações não percebidas são descartadas pelo algoritmo de compressão de áudio [Pan, 1995].

O primeiro padrão de compressão de áudio MPEG-1, pode somente representar o sinal de áudio em um canal mono ou em dois canais stereo. Este padrão possui três distintas camadas



de compressão. A primeira camada (*Layer I*) corresponde ao algoritmo base de compressão, a segunda e terceira camadas (*Layer II*) e (*Layer III*) são melhorias nas técnicas utilizadas na primeira camada. A tabela 2.1 mostra a média do grau de compressão para vários tipos de músicas [Noll, 1999].

O segundo padrão de compressão de áudio, MPEG-2, incluiu a representação do áudio em multicanais. A *International Telecommunication Union (ITU-R)* e outros órgãos internacionais recomendam a configuração *3/2-stereo* para multicanais. Nesta configuração existe um canal esquerdo, um direito e um central (*L, R e C*) respectivamente, e mais dois canais adjacentes esquerdo e direito (*LS e LR*).

Camada	Banda [kbps]	Fator de Compressão
Camada I	384	4
Camada II	256	6
Camada III	192	8

Tabela 2.1: Grau de compressão de cada camada.

O sistema de áudio em multicanais dispõe também de canais com vários idiomas e canais com informações detalhadas referentes a imagens ou sinal de áudio prejudicados.

O padrão MPEG-2 permite a decodificação de áudio no formato mono ou stereo, também permite que decodificadores MPEG-1, que não reconhecem áudio no formato de multicanal, possam reproduzir o sinal em somente dois canais, mono ou stereo.

### 2.2.3 Codificação VBR e CBR

Observa-se que a compressão de um sinal de áudio acoplado a um sinal de vídeo que possui muitas mudanças nas imagens de fundo e movimento de objetos produz um arquivo de vídeo compactado com variabilidade nos tamanhos dos quadros e nos pacotes que armazenam som. Como cada quadro possui uma grau de compressão diferente, o resultado da compressão de um vídeo digital corresponde a uma largura de banda variável. Quando um vídeo possui largura de banda variável ele é denominado *Variable Bit Rate (VBR)*. Quando a compressão de um vídeo força a produção de quadros com o mesmo tamanho, o vídeo fica com a largura de banda constante e neste caso ele é denominado *Constant Bit Rate (CBR)*.

O processo de codificação na compressão de um vídeo digital varia de acordo com a escolha dos algoritmos implementados. Alguns aplicativos podem ter implementado codificadores

MPEG com diversos graus de compressão de dados. Esta característica permite que o processo de codificação seja otimizado de acordo com as necessidades de largura de banda e da qualidade do vídeo desejados pelo usuário.

Sistemas de vídeo digital devem controlar eficientemente os recursos de disco e de rede para reduzir custos e melhorar a sua utilização. Arquivos de vídeo codificados no formato *VBR* economizam banda de rede quando transmitidos de forma multiplexada e exigem menos espaço para o seu armazenamento quando comparados a vídeos codificados no formato *CBR*. A codificação *VBR* também garante que a qualidade da imagem e do som não seja prejudicada, enquanto a codificação *CBR* limita o tamanho dos quadros produzidos para tornar a banda mais constante possível.

Um arquivo de vídeo codificado no formato *VBR* exige menos espaço para o seu armazenamento que o mesmo arquivo de vídeo codificado no formato *CBR*, possuindo os dois arquivos o mesmo grau de qualidade [S. Gringeri and Basch, 1998]. Um arquivo *VBR* possui o inconveniente de inserir rajadas de dados nos momentos em que são transmitidos pacotes com imagem ou som com baixo grau de compressão. Estas rajadas dificultam o controle sobre os recursos do sistema, principalmente sub-utilizando o recurso de rede.

Os gráficos das figuras 2.4 e 2.5 mostram a variabilidade dos tamanhos dos quadros de dois filmes comprimidos em *MPEG*. Observa-se que o primeiro vídeo possui picos em torno de 100.000 Bytes e a média do tamanho dos quadros em torno de 8.000 Bytes, já no segundo filme o maior quadro é do tamanho de 110.882 Bytes, mas a média dos tamanhos dos quadros fica em torno de 10.000 Bytes.

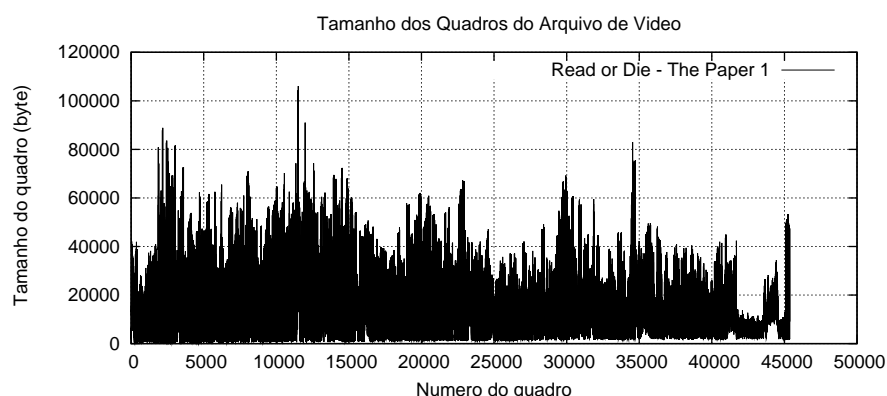


Figura 2.4: Tamanho dos quadros do anime Read or Die - The Paper 1.

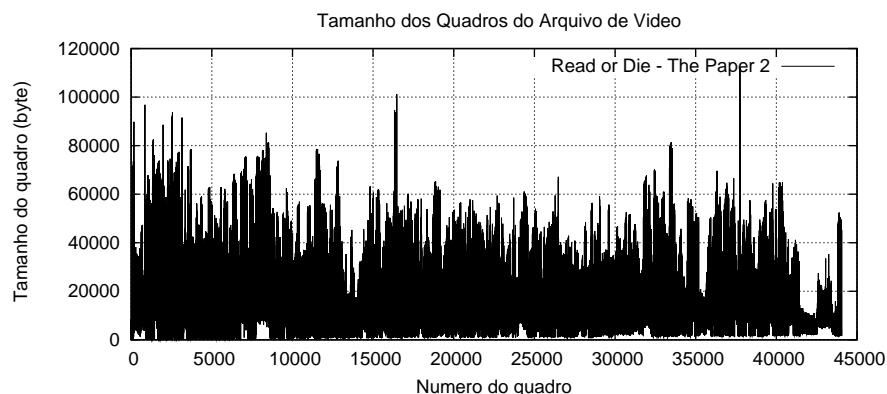


Figura 2.5: Tamanho dos quadros do anime Read or Die - The Paper 2.

As características de cada vídeo digital comprimido definem o seu processamento e a sua transmissão por um servidor de vídeo e conseqüentemente determinam a sua arquitetura interna. A próxima seção descreve detalhadamente o funcionamento de um servidor de vídeo.

### 2.3 Funcionamento do servidor de vídeo

O funcionamento de um servidor de vídeo que envia fluxos de vídeo ao vivo ou fluxos de vídeo de arquivos de vídeo armazenados em disco pode ser representado pelo diagrama da figura 2.6. O primeiro bloco representa o processamento de novas requisições que chegam no servidor e este bloco é responsável pela análise das requisições recebidas. Ao receber uma nova requisição o servidor reconhece qual é o vídeo requisitado, se este não corresponder a algum vídeo disponível o servidor envia uma resposta negando o serviço. Se o vídeo requisitado corresponder a algum dos disponíveis, então o servidor examina os recursos do servidor para certificar que não ocorrerá sobrecarga se a requisição for aceita. Sabendo que não ocorrerá sobregarga se esta nova requisição for aceita, o servidor envia uma resposta confirmando o envio dos fluxos de vídeo. Caso contrário, o servidor envia uma resposta negando o serviço. Após enviar a resposta confirmando aceitação, o servidor inicia o envio dos fluxos de vídeo.

Um servidor de vídeo envia uma determinada quantidade de dados a seus clientes em intervalos de tempo fixo. A cada intervalo são transmitidas quantias distintas de dados, suficientes para serem reproduzidos até o envio de novos dados. Desta forma o servidor deve manter sincronismo entre o período em que envia uma quantidade determinada de dados e o período de reprodução destes dados no cliente. A quantidade de dados enviados em cada período deve ser suficiente para que seja reproduzida durante todo o período sem que ocorra falta de dados e

conseqüente interrupção na produção do vídeo no cliente, até o recebimento de novos dados. Este período é denominado *ciclo do servidor*. Os ciclos do servidor definem a quantidade de dados que é enviada a cada intervalo de tempo em que ocorre a transmissão de fluxos de vídeo para todos os clientes conectados no servidor. Por exemplo, um servidor pode definir o seu ciclo do servidor como sendo de 1 segundo, e neste período o servidor deve enviar fluxos de vídeo correspondentes aos dados que serão reproduzidos durante 1 segundo em todos os clientes.

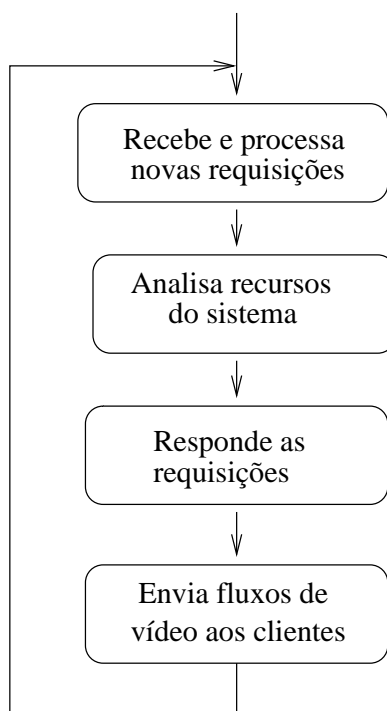


Figura 2.6: Diagrama de funcionamento do servidor.

A sincronização entre servidor e cliente ocorre da seguinte forma. O servidor transmite os dados que serão reproduzidos no próximo ciclo, enquanto o cliente reproduz os dados que recebeu no ciclo anterior, conforme a figura 2.7 mostra. Nesta figura o tempo é representado pela variável  $T$ , o ciclo do servidor é de 1 segundo e a quantidade de dados enviada é representada pela variável  $D$ . No intervalo  $T$ , o servidor envia aos clientes os dados  $D_2$  que serão reproduzido no intervalo  $T+1$  enquanto os clientes reproduzem os dados  $D_1$  que receberam no intervalo  $T-1$ . Observa-se que se o filme é codificado como *VBR* as quantidades  $D_1, D_2, \dots, D_n$  são distintas, mas se o filme é codificado como *CBR* a quantidade de dados enviados em cada ciclo é constante.

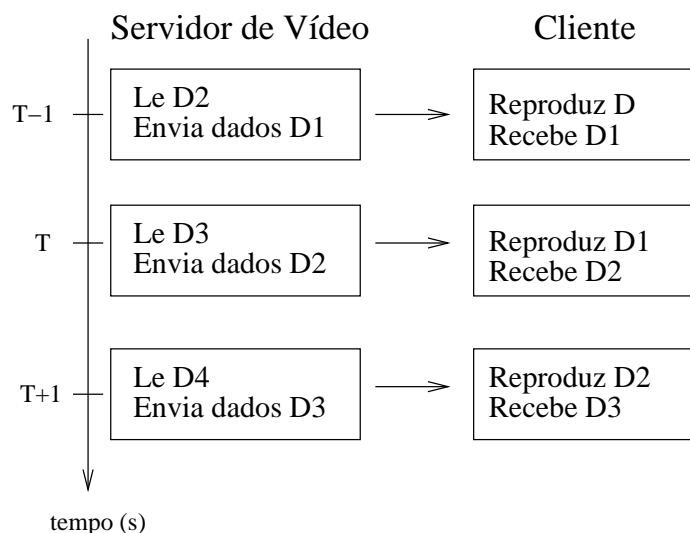


Figura 2.7: Sincronismo de leitura, transmissão e reprodução em alguns ciclos do servidor.

Em cada ciclo o servidor deve enviar os dados a todos os clientes conectados. Ao mesmo tempo em que o servidor transmite estes dados, deve adiantar a leitura dos dados que serão enviados no próximo ciclo. No caso do serviço de envio de fluxos de vídeo de arquivos armazenados em disco, o servidor deve ler estes dados do disco a tempo de poder enviá-los logo no início do próximo ciclo. A figura 2.7 mostra que no ciclo atual o servidor envia fluxos a todos os clientes e ao mesmo tempo lê dados do armazenamento secundário e/ou terciário que serão enviados no próximo ciclo.

Como o consumo dos dados no cliente depende do tempo de reprodução do vídeo, o servidor deve garantir a entrega dos fluxos de vídeo a tempo de não ocorrer a falta de quadros na reprodução.

Para assegurar a entrega dos fluxos no tempo certo, o servidor deve controlar os recursos do sistema, pois estes podem adicionar atrasos no processamento do servidor quando estão sobrecarregados. Os recursos que podem causar atrasos na entrega do fluxos de vídeo são:

1. espaço disponível na memória principal, *buffer* do servidor;
2. tempo de leitura dos dados do disco;
3. congestionamento na interface de rede;
4. tempo de cpu.

O controle de recursos no servidor é feito através da limitação de requisições atendidas, evitando assim sobrecargas. A limitação das requisições resulta do cálculo da quantidade do

recurso utilizado para cada vídeo requisitado. Se a soma dos recursos utilizados para cada requisição ultrapassar a quantia disponibilizada, então não são aceitas mais requisições até a finalização de uma ou mais transmissões correntes.

A banda do vídeo é usada no cálculo de utilização de alguns recursos. Os vídeos que são codificados no formato CBR possuem a banda constante durante todo o período da sua reprodução, neste caso, o controle dos recursos é facilitado devido ao conhecimento prévio deste valor. No caso de vídeos codificados no formato VBR, a sua largura de banda é variável dificultando o cálculo da carga imposta aos recursos da máquina durante a sua reprodução.

O controle de recursos exige a implementação dos seguintes algoritmos:

1. Algoritmo de controle de memória principal: que determina se a memória principal está sobrecarregada;
2. Algoritmo de controle de banda de rede: que determina se a interface de rede está sobrecarregada;
3. Algoritmo de controle de tempo de leitura de disco: que verifica se o recurso de disco está sobrecarregado;
4. Algoritmo de controle de admissão: analisa os recursos do sistema segundo determinado pelos outros algoritmos e decide se podem ser admitidas novas requisições.

Os algoritmos de controle de recursos são objetos de estudo em vários projetos de servidores de vídeo. Na próxima seção são descritos alguns trabalhos que foram tomados como referência na implementação do servidor *SVFserver*.

## 2.4 Trabalhos Relacionados

Vários algoritmos de controle de recursos de um servidor de vídeo foram propostos. No caso do espaço de memória utilizado pelo servidor, [Vernick, 1996] apresenta um servidor de vídeo que utiliza alocação individual do *buffer* para cada requisição. Neste caso, o controle do *buffer* é realizado através da soma da quantia de memória reservada a cada cliente.

Em [B. Ozden and Siberschatz, 1995, B. Ozden and Siberschatz, 1996, Chang and Garcia-Molina, 1999, W. Feng and Sechrest, 1995] são propostos algoritmos que controlam os *buffers* das requisições utilizando compartilhamento de

memória entre as requisições. Neste modelo o aproveitamento da memória principal é muito maior que utilizando alocação separada, aumentando assim o número de requisições aceitas pelo servidor. Em compensação este modelo impõe um aumento no processamento do servidor para administrar a memória. Nos trabalhos de [K. Lee and Yeom, 1999a, K. Lee and Yeom, 1999b, Kang and Yeom, 2000], o controle de memória inclui também o controle do número de faltas na memória cache.

O controle da banda de rede é realizada de forma diferenciada para cada tipo de codificação de vídeo. No caso da codificação *VBR* foram propostos vários métodos como os descritos em [N. G. Duffield and Reibman, 1998, Knightly and Zhang, 1997, Knightly and Zhang, 1995, D. Makaroff and Hutchi, 1999, Feng and Sechrest, 1995a, Feng and Sechrest, 1995b, McManus and Ross, 1995, M. Grossglauser and Tse, 1995]. Nestes trabalhos são propostos algoritmos que utilizam cálculos determinísticos e multiplexação estatística no cálculo dos recursos consumidos da rede.

Em [McManus and Ross, 1996, S. Gringeri and Basch, 1998] foram propostos algoritmos que controlam a banda da rede no servidor utilizando arquivos de vídeo no formato *CBR*. Estes trabalhos mostram a facilidade em administrar e calcular os recursos quando um servidor de vídeo trabalha com arquivos no formato *CBR*.

Para controlar os recursos de armazenamento secundário e terciário vários estudos foram descritos em [Al-Marri and Ghandejarizadeh, 1998, Chang and Garcia-Molina, 1999, D. Makaroff and Hutchinson, 1997, Tobagi and Chan, 1997, R. Rastogi and Silberschatz, 1996]. Estes trabalhos relacionam algoritmos que controlam o recurso do disco tanto para arquivos de vídeo na codificação *CBR* quanto para a codificação *VBR*.

Tendo o controle sobre os recursos utilizados é imprescindível incluir no servidor um algoritmo de controle de admissão. Um algoritmo de controle de admissão é um algoritmo que utiliza os algoritmos que controlam os recursos para decidir se novas requisições são aceitas pelo servidor.

Alguns dos trabalhos citados foram tomados como base para a implementação do servidor. No próximo capítulo é descrita a arquitetura e os algoritmos implementados no servidor *SVFserver*.

## Capítulo 3

# Servidor SVFserver

Este capítulo descreve o funcionamento do servidor de vídeo *SVFserver* e contém uma análise dos algoritmos escolhidos para envio de fluxos de vídeo de arquivos armazenados em disco e controle de recursos do servidor.

O servidor *SVFserver*, objeto deste estudo, estende a implementação do servidor *FFServer* [Bellard, 2003], agregando a ele funções que permitem o envio de fluxos de vídeo de arquivos de vídeo armazenados no disco, incluindo um algoritmo de controle de banda de rede, um algoritmo de controle de tempo de disco e um algoritmo de controle de admissão, cujo objetivo é o aumento da capacidade de transmissão através do controle de recursos.

O *FFServer* é um servidor de vídeo que trabalha em conjunto com um programa de codificação de vídeo chamado *FFMpeg*. O *FFMpeg* faz a codificação de fluxos de vídeo ao vivo e faz transcodificação de arquivos de vídeo armazenados em disco para codificações em diversos formatos. O *FFServer* disponibiliza dois tipos de serviço aos usuários. O primeiro serviço é o envio de fluxos de vídeo ao vivo aos clientes. Neste caso, o *FFMpeg* alimenta o servidor com fluxos de vídeo codificados em tempo real e o servidor repassa estes dados aos clientes conectados. O segundo serviço é o envio de fluxos de vídeo de arquivos armazenados em disco aos clientes. Neste caso o servidor necessita que o codificador *FFMpeg* transcodifique o arquivo desejado, para que o codificador envie o fluxo de vídeo assim produzido ao servidor e este o repasse aos clientes. Observa-se que o servidor depende do processamento do codificador *FFMpeg* mesmo quando o serviço requisitado não precise deste processamento, como no caso de arquivos armazenados em disco, o que aumenta consideravelmente a carga de processamento no sistema. Este modo de operação também dificulta o envio de fluxos de arquivos de vídeo diferentes, pois para cada tipo de arquivo enviado, o codificador deve fazer a transcodificação para alimentar o servidor.



A extensão da implementação do servidor *FFServer* inclui o envio de fluxos de vídeo de arquivos armazenados em disco sem a utilização do codificador *FFMpeg*, permitindo assim que o servidor possa enviar uma quantidade maior de fluxos de vídeo de arquivos de vídeo distintos armazenados no disco. Também são incluídos algoritmos que controlam os recursos de rede e de disco viabilizando a implementação de um algoritmo de controle de admissão. Estes algoritmos são empregados somente como novo serviço de envio de fluxos de vídeo implementado no servidor.

O *SVFserver*, como no *FFserver*, foi implementado para trabalhar com qualquer programa cliente que reproduza vídeo através do recebimento de fluxos de vídeo porque o método de comunicação com os clientes é simples e generalizado. As requisições e as respostas utilizam o protocolo *Hiper Text Transfer Protocol (HTTP)* para informar somente o arquivo desejado e a resposta do servidor, respectivamente. Esta forma de comunicação evita que sejam incluídas nas requisições solicitações específicas de programas proprietários que possam reduzir a funcionalidade do servidor. Isto implica na exclusão de informações referentes ao cliente que possam viabilizar um melhor desempenho do servidor, como será visto na seção 3.4.

O servidor *SVFserver* envia fluxos de vídeo de arquivos armazenados em disco, sem a necessidade de decodificação dos quadros de vídeo e das informações de áudio, diminuindo assim a quantidade de processamento do servidor, mas impedindo que serviços do tipo *VCR - Video Cassete Record* como *fast forward*, *fast rewind*, *pause*, *resume*, *begin* sejam disponibilizados.

Este servidor trabalha com arquivos de vídeo nos formatos *Audio Video Interleaved (AVI)*, *Advanced Format System (ASF* versão 1.0) e *MPEG*, independentemente do tipo de codificação de compressão de áudio e vídeo, podendo estes serem *CBR* ou *VBR*.

Os algoritmos implementados são baseados na utilização da codificação *VBR*, pois os arquivos de vídeo que utilizam esta codificação apresentam melhor qualidade na imagem e no som.

### 3.1 Modelo do Servidor

O servidor *SVFserver* foi implementado para ser executado em um computador pessoal convencional, utilizando o sistema operacional *Linux* interligado a uma rede local do tipo *Ethernet*.

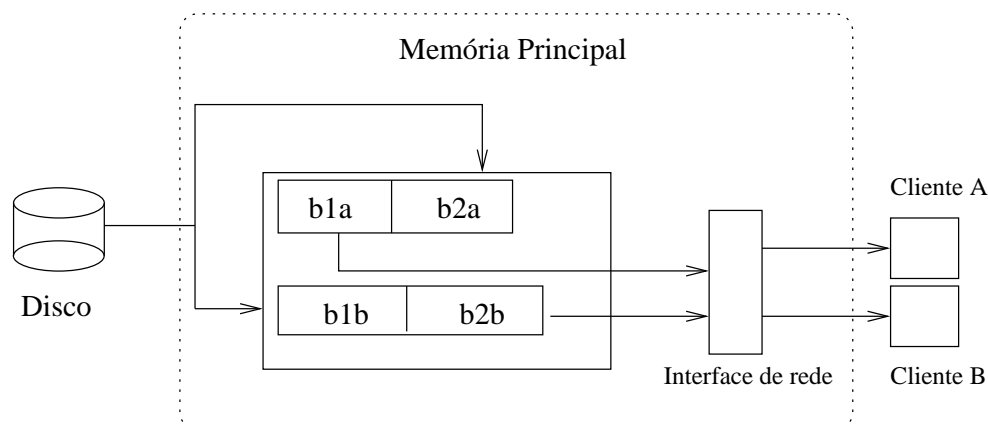
Para facilitar a implementação do servidor foi escolhido o protocolo *TCP/IP* para o transporte dos fluxos de vídeo. Este protocolo garante que a entrega é feita ao cliente na ordem certa e sem erros.

Para facilitar a implementação do servidor foi decidido fazer alocação separada dos *buffers* de

cada requisição aceita. Os *buffers* de cada requisição correspondem a dois espaços na memória principal que armazenam os dados que são lidos do disco e os dados que são enviados ao cliente. O tamanho de cada *buffer* é determinado pelo período do ciclo do servidor, pois o *buffer* deve comportar a quantidade de dados a ser enviada e reproduzida no cliente durante todo o ciclo.

O ciclo do servidor no *SVFserver* corresponde a 1 segundo. Este valor contrabalança o tamanho do *buffer* exigido para comportar a maior quantidade de dados que é reproduzida em um ciclo e a frequência das leituras de disco, sendo que estas ocorrem uma única vez para cada requisição para preenchimento completo de cada *buffer* em cada ciclo. Quanto menor o ciclo do servidor menores são os *buffers* reservados a cada requisição, em compensação maior é a quantidade de leituras realizadas no disco, o que interfere no desempenho do servidor quando este admitir uma quantidade grande de requisições de arquivos distintos, causando os atrasos na leitura devido aos movimentos no braço do disco, podendo atrasar a entrega dos fluxos de vídeo. No caso de o ciclo ser muito longo, menor é o número de leituras realizadas no disco durante todo o período de reprodução de cada arquivo de vídeo e maiores são os *buffers* alocados a cada requisição, reduzindo assim o número de requisições aceitas pelo servidor, devido a limitações no tamanho da memória principal.

O *SVFserver* aloca espaços separados na memória para armazenar os dados lidos do disco e os dados transmitidos na interface de rede. A figura 3.1 mostra como são utilizados os *buffers* no servidor para duas requisições distintas. Durante um ciclo o *buffer1* da requisição A é utilizado para armazenar os dados lidos do disco, enquanto o *buffer2* armazena os dados que são transmitidos na interface de rede. No próximo ciclo a função de cada *buffer* é trocada, o *buffer1* armazena os dados que são enviados ao cliente enquanto o *buffer2* é preenchido com os dados lidos do disco.



b1a = buffer 1 da requisição do cliente A  
 b2a = buffer 2 da requisição do cliente A  
 b1b = buffer 1 da requisição do cliente B  
 b2b = buffer 2 da requisição do cliente B

Figura 3.1: Disposição da memória.

A determinação dos tamanhos dos *buffers* ocorre na inicialização do servidor. Quando o servidor é inicializado este analisa todos os arquivos de vídeo. Para determinar qual a maior quantidade de dados será enviada durante um ciclo do servidor para cada arquivo analisado. A maior quantia encontrada corresponde aos tamanhos dos *buffers* que são reservados às requisições feitas ao arquivo de vídeo correspondente.

Foi determinado que cada requisição possui o seu ciclo do servidor, pois se todas as requisições dependessem de um ciclo global, todas as requisições enviariam os fluxos de vídeo no início de cada ciclo, tornando os recursos sobrecarregados no início do ciclo e ociosos no final do ciclo. Desta forma, tendo os ciclos separados, os processamentos de cada requisição ficam distribuídos no decorrer dos segundos.

Para evitar que o tempo de leitura de disco interfira no desempenho do servidor, o processo de leitura de disco para preenchimento dos *buffers* foi codificado em uma *thread* separada.

A figura 3.2 mostra o modelo de execução do servidor *SVFserver*. Ao iniciar, o servidor lê um arquivo de configuração onde é indicado o diretório onde estão armazenados os arquivos de vídeo. Todos os vídeos são analisados e então determinados os tamanhos dos *buffers* requeridos para cada filme.

Após analisar os arquivos de vídeo o servidor inicializa a *thread* que fará as leituras de disco. O servidor então entra em estado de espera de novas requisições. Recebendo uma nova requisição o servidor analisa o pedido, verifica se existem recursos disponíveis e responde confirmando ou não a aceitação da requisição. Se a requisição é aceita o servidor reserva os *buffers* para a

requisição até a finalização do envio dos fluxos de vídeo. Um fluxo pode ser encerrado pelo cliente a qualquer momento, ou por parte do servidor quando chegar no final do arquivo.

Após reservar os *buffers*, o servidor inicia o envio de fluxos de vídeo ao cliente até a conclusão da requisição. Durante este período novas requisições podem ser aceitas.

Durante todo o período de execução do servidor a *thread* de leitura de disco verifica na lista de requisições se existe algum *buffer* vazio, e se encontrado este é preenchido com os dados do disco. Pode ocorrer de a *thread* preencher os dois *buffers* de uma mesma requisição em um mesmo ciclo, isto acontece porque o *buffer* com os dados que estão sendo enviados ao cliente pode esvaziar antes do final do ciclo do servidor.

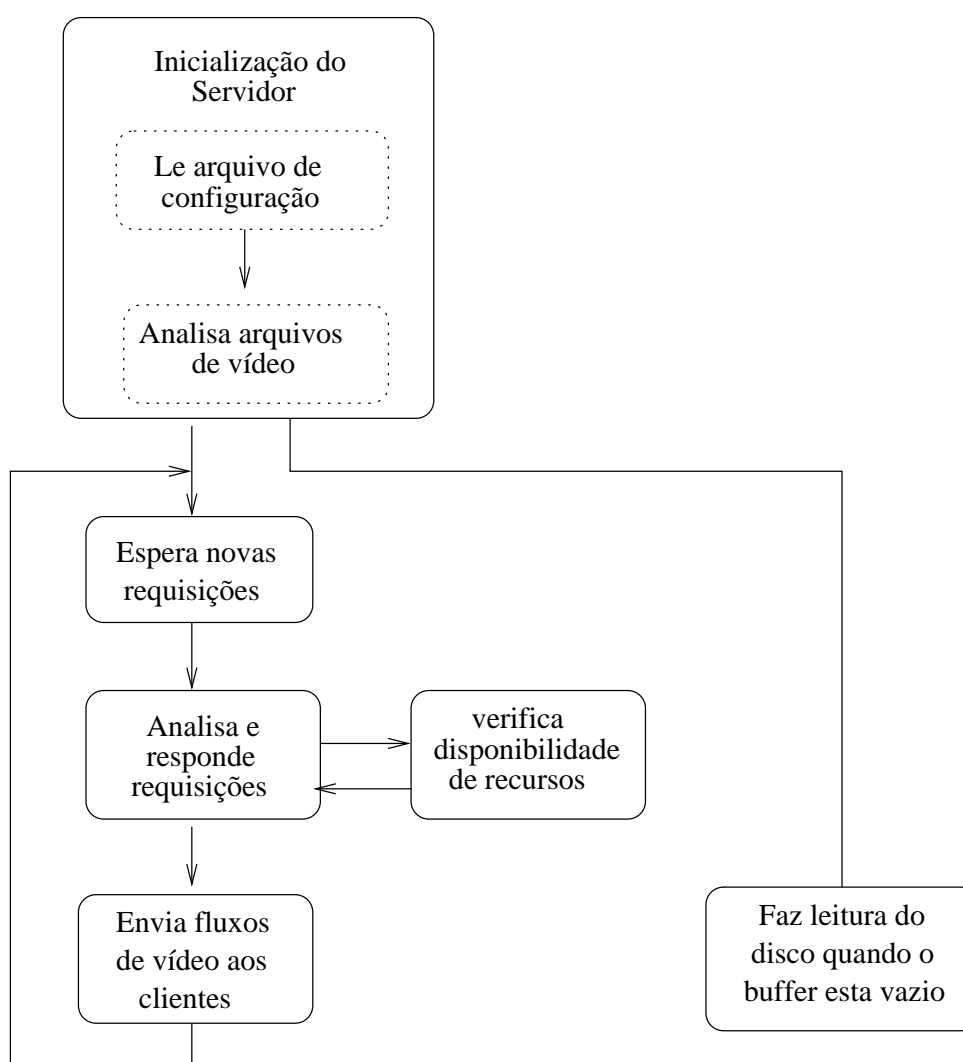


Figura 3.2: Diagrama de funcionamento do SVFserver.

O modelo empregado na entrega dos fluxos de vídeo por parte do servidor depende diretamente do modelo de funcionamento do programa cliente, que é descrito na próxima seção.

### 3.2 Cliente

Para evitar que pequenas variações no tempo de entrega dos fluxos interfiram na reprodução do vídeo, o programa cliente designa um espaço na memória para armazenar uma pequena quantidade de quadros recebidos. Este *buffer* deve ser preenchido antes de iniciar a reprodução do vídeo. O período correspondente ao tempo de reprodução dos quadros que ficam armazenados no *buffer* do cliente, equivale ao intervalo de tempo que assegura a chegada de quadros atrasados. Desta forma, quanto maior o *buffer* utilizado no cliente, menor é a probabilidade da reprodução sofrer interferências devido ao atraso no recebimento dos fluxos de vídeo.

Quando o servidor envia fluxos de arquivos de vídeo do tipo *CBR*, o consumo dos quadros ocorre na mesma proporção da chegada de novos quadros, como mostra o primeiro quadro da figura 3.3, permitindo que o *buffer* do cliente seja relativamente pequeno. Para arquivos de vídeo do tipo *VBR* a taxa de quadros reproduzidos não é a mesma da taxa de quadros recebidos, exigindo que o cliente reserve um *buffer* maior para comportar quadros grandes.

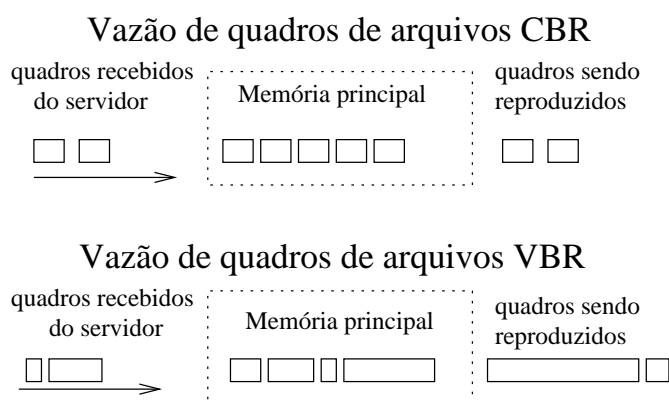


Figura 3.3: Vazão e consumo dos quadros no cliente.

Se o cliente possui um *buffer* para armazenamento temporário de alguns quadros o servidor deve evitar que este *buffer* se esvazie ou transborde durante o tempo de reprodução do vídeo. A existência e o tamanho do *buffer* do cliente influênciam na escolha do método de envio dos fluxos de vídeo pelo servidor.

O *SVFserver* foi implementado para permitir conexão com vários tipos e portanto o método de comunicação com os clientes é o mais generalizado possível. Esta característica não permite que o servidor obtenha informações referentes à utilização de *buffer* por parte do cliente, desconsiderando assim a sua utilização. Desta forma o servidor envia fluxos de vídeo sob a suposição de que os *buffers* não são utilizados pelos clientes.

### 3.3 Modelo de Envio de Segmentos de Fluxos de Vídeo

Dois modelos de envio de segmentos podem ser implementados em um servidor de vídeo. O primeiro modelo é caracterizado pela solicitação da quantidade de dados por parte do cliente, ou seja, de tempos em tempos o cliente informa ao servidor a quantidade de dados que aquele pode receber. Este modelo é denominado *Pull Model*. O segundo modelo é caracterizado pela passividade do cliente no envio dos dados, e todo o controle de transmissão é feito somente pelo servidor. Este modelo é denominado *Push Model* [Al-Marri and Ghandejarizadeh, 1998].

Devido às características da comunicação do servidor *SVFserver* com os clientes, foi implementado o *Push Model*.

Alguns dos algoritmos propostos de envio de segmentos de fluxos de vídeo que empregam o *Push Model* foram implementados e analisados neste servidor, como os descritos em [Feng, 1997], [W. Feng and Sechrest, 1995], [Feng and Sechrest, 1995a], [Feng and Sechrest, 1995b], [McManus and Ross, 1996], [McManus and Ross, 1995]. Note-se que neste modelo, a existência do *buffer* do cliente e a limitação da banda de rede influenciam a entrega dos segmentos aos clientes.

A banda de rede no servidor de vídeo fica limitada porque o tráfego é variável porque os tamanhos dos quadros são variáveis. Analizando o comportamento variável da largura de banda dos vídeos, conclui-se que a limitação dos maiores picos faz-se necessária para garantir que não ocorram sobrecargas temporárias na rede.

**Average Allocation** O primeiro modelo de envio de segmentos de fluxos de vídeo implementado no servidor, foi baseado no algoritmo *Average Allocation* [Feng and Sechrest, 1995a]. Este algoritmo calcula a média total dos tamanhos dos quadros do arquivo de vídeo, de acordo com a fórmula 3.1.

$$media = 1/n \sum_{i=1}^n quadro_i \quad (3.1)$$

A quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor corresponde ao produto do tamanho médio calculado pelo número de *qps* obtido no cabeçalho do arquivo de vídeo. Para o arquivo de vídeo do gráfico mostrado na figura 3.4, que possui uma duração de 1905 segundos de reprodução a 24 quadros por segundo, o valor médio do tamanho dos quadros corresponde a 8.266 bytes.

Este gráfico foi extraído do desenho Read or Die - The Paper 1.

Com este algoritmo, a cada ciclo do servidor são enviados 24 segmentos de dados do tamanho de 8.266 bytes, como mostra a figura 3.5, totalizando a quantia de 198.384 bytes em cada ciclo do servidor.

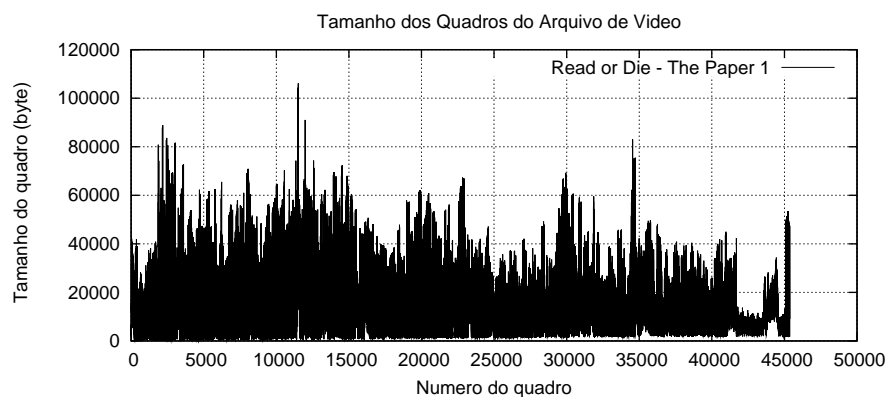


Figura 3.4: Tamanho dos quadros do filme Read or Die - The Paper 1.

Este algoritmo permite que o servidor transmita os segmentos de fluxos de vídeo a uma taxa constante. A vantagem deste algoritmo está no fato de se evitar que aumente drasticamente a banda utilizada nos momentos em que quadros muito grandes são transmitidos, sobrecarregando temporariamente a rede.

Foi observado que nos momentos em que o cliente reproduz os maiores quadros, o servidor não fornece todos os dados a tempo de sua reprodução, ocasionando a interrupção da reprodução do vídeo no cliente. Isto ocorre porque um quadro grande precisa de vários segmentos de um, ou mais de um ciclo do servidor para ser transportado ao cliente, exigindo um longo intervalo de tempo para ser transportado inteiramente.

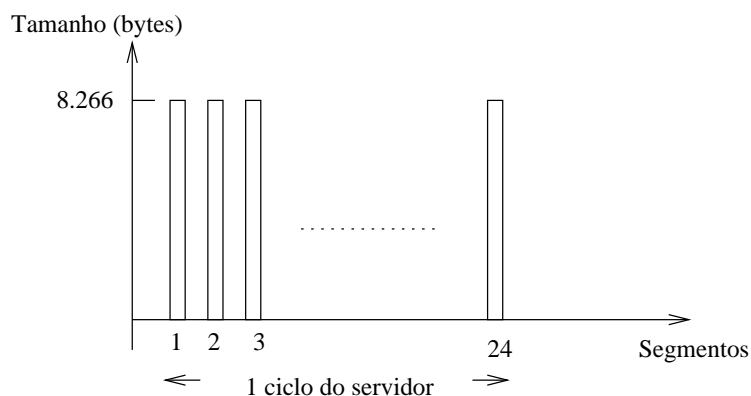


Figura 3.5: Tamanho dos segmentos em todos os ciclos do servidor.

Isto pode ser observado no gráfico da figura 3.6. O gráfico mostra que do quadro 2.480 ao

2.570 os tamanhos correspondentes estão todos acima de 10.000 bytes com alguns picos acima de 60.000 bytes. Comparando estes valores com a linha que corresponde à quantidade enviada a cada ciclo, de 8.266 bytes, é observado que ocorre falta de dados no cliente pois a quantia enviada pelo servidor é muito menor da quantia necessária para reproduzir estes quadros, mesmo que uma determinada porção seja enviada de forma adiantada quando os quadros reproduzidos são bem menores do valor da média calculada.

Uma solução para evitar este problema é enviar de forma adiantada todos os dados necessários em alguns segmentos anteriores, mas isto torna a taxa de transmissão variável, incluindo picos e podendo ocasionar instantes de sobrecarga na rede. O objetivo deste algoritmo é garantir o envio dos segmentos a uma taxa constante, desta forma os quadros podem ser enviados de forma adiantada através do aumento da média e a correspondente quantidade de dados de todos os segmentos.

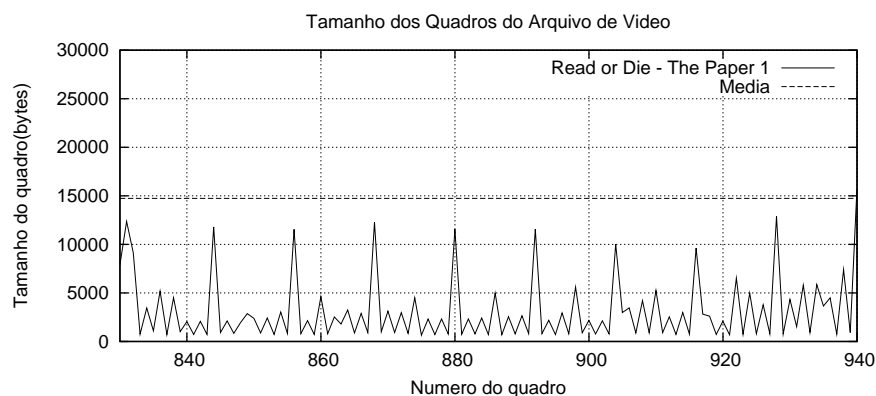


Figura 3.6: Tamanho dos quadros.

**Max Average Bandwidth** Para evitar o problema de falta de dados no cliente nos momentos de pico, foi implementado o algoritmo *Max Average Bandwidth* proposto em [Feng and Sechrest, 1995a], [Feng, 1997]. Este algoritmo calcula a média máxima dos tamanhos dos quadros do arquivo de vídeo. A quantidade de dados enviada em cada ciclo é o produto do número de *qps* do arquivo de vídeo pelo valor da média máxima calculada, e esta quantidade é constante a cada ciclo. O algoritmo que calcula a média máxima é mostrado abaixo:

```
while (!fim_arquivo){
    quadro = busca_proximo_quadro( );
    soma += quadro;
    quantidade++;
}
```



```

media = (soma + quantidade - 1)/quantidade;
if (media > media_maxima)
    media_maxima = media;
}

```

Para o arquivo de vídeo Read or Die - The Paper 1 analisado, a média máxima calculada é de 14.744 bytes. Desta forma o servidor envia 24 segmentos de dados de 14.744 bytes em cada ciclo, conforme mostra a figura 3.7, totalizando 358.856 bytes em cada ciclo do servidor, enviando assim 155kbytes a mais em cada ciclo quando comparado com o algoritmo anterior.

O problema com este algoritmo é o fato de que o valor da média máxima calculada pode ser um valor muito alto comparado com o valor médio dos quadros de todo o arquivo. Isto pode ocorrer quando os maiores quadros estão logo no início do arquivo, determinando um resultado alto no cálculo da média, impedindo que o resultado não seja relacionado ao tamanho médio dos quadros. Desta forma o servidor transmite os fluxos de vídeo a uma taxa constante, calculada pelo valor de pico, ocorrendo a sobrecarga no cliente quando este reproduz quadros pequenos.

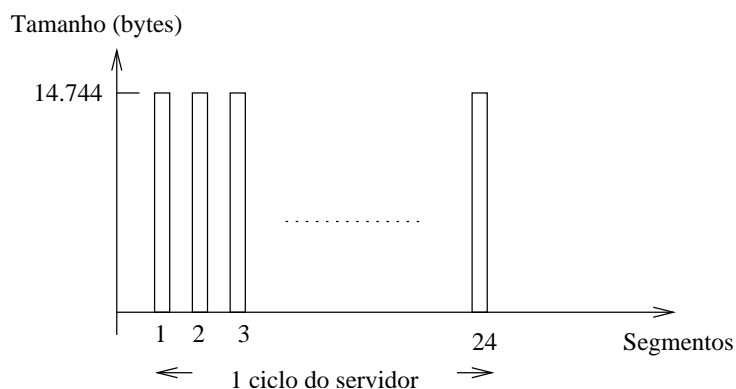


Figura 3.7: Tamanho dos segmentos de todos os ciclos do servidor.

Este problema pode ser observado quando o cliente reproduz os quadros do intervalo 830 ao 940 do gráfico na figura 3.8. Observa-se que neste gráfico a quantidade de dados de cada ciclo é muito pequena quando comparado com o valor calculado e enviado, que é de 5.000 bytes. Neste intervalo, o servidor envia muito mais informações do que o cliente necessita, ocasionando assim sobrecargas constantes no cliente.

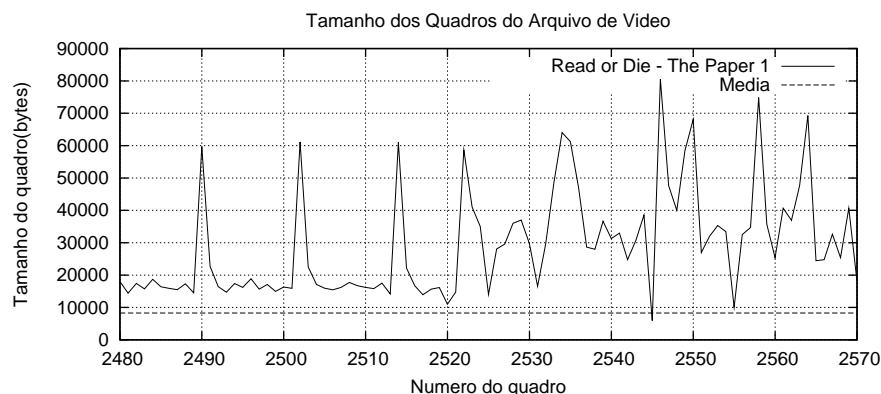


Figura 3.8: Tamanho dos quadros.

Após a implementação e testes dos dois algoritmos citados, chegou-se à conclusão que enviar os fluxos de vídeo a uma taxa constante prejudica a reprodução do vídeo em clientes que não alocam *buffers*, pois pode ocorrer tanto falta de dados na reprodução como sobrecarga na rede. Para resolver os problemas encontrados nos algoritmos anteriores foi concluído que a quantidade de dados enviada a cada segmento deve ser proporcional ao tamanho de cada quadro.

**Rate-Constrained Bandwidth Smoothing - RCBS** O terceiro algoritmo implementado no servidor é o algoritmo *Rate-Constrained Bandwidth Smoothing (RCBS)* [Feng, 1997], [Feng and Sechrest, 1995a], [Kang and Yeom, 1999]. Este algoritmo envia segmentos de dados proporcional ao tamanho dos quadros de vídeo, desde que estes sejam menores à média máxima dos tamanhos dos quadros do arquivo de vídeo calculada com o algoritmo anterior. Assim, se o quadro a ser transmitido possui tamanho superior ao da média máxima calculada, o servidor envia um segmento do tamanho da média calculada e a quantia não enviada é distribuída pelos segmentos vizinhos de tamanho inferior ao da média calculada. Para evitar atrasos, o excesso é enviado nos segmentos anteriores ao segmento que corresponde ao quadro de maior tamanho. Abaixo está descrito o algoritmo implementado.

```
while( numero_quadro >= 0 ){
    if (quadro[numero_quadro] > media_maxima){
        segmento[numero_quadro] = media_maxima;
        acumula += (quadro[numero_quadro] - media_maxima);
    } else {
        if ((acumula + quadro[numero_quadro]) <= media_maxima){
            segmento[numero_quadro] = acumula + quadro[numero_quadro];
            acumula = 0;
        }
    }
}
```

```

    } else {
        segmento[numero_quadro] = media_maxima;
        acumula = acumula + segmento[numero_quadro] - media_maxima;
    }
}
numero_quadro--;
}

```

Este algoritmo calcula os tamanhos dos segmentos na ordem inversa de reprodução dos quadros, ou seja, do último quadro para o primeiro quadro.

Como este algoritmo tenta enviar o tamanho original de cada quadro, ele evita que ocorra falta de dados para reprodução do vídeo, pois transmite a quantidade de dados necessária e suficiente para a reprodução do vídeo a cada ciclo do servidor. Ao mesmo tempo, este algoritmo evita a ocorrência de sobrecarga instantânea da rede, pois o tamanho do quadro fica limitado a um determinado valor, que é a média máxima calculada.

O algoritmo *RCSB* tem como objetivo manter o envio de segmentos de acordo com o tamanho médio dos quadros, e para que isto ocorra, deve haver mais de um valor de média máxima calculado, pois se houver um único valor da média máxima para todo o arquivo de vídeo este pode referir-se a um único caso isolado correspondendo a um quadro muito grande. Considerando-se somente um valor calculado, pode haver a liberação do envio de quadros de tamanho inferior ao valor da média máxima calculada, mas que ainda correspondem a quantias elevadas a ponto de ocasionar sobrecarga instantânea na rede. Quando o valor da média máxima é calculada para os primeiros quadros do arquivo, esta pode ser quase do tamanho original do quadro.

Para solucionar este problema o *SVFserver* computa a média máxima para cada ciclo do servidor. A implementação deste algoritmo exige dois passos na análise do arquivo de vídeo. No primeiro passo, o servidor examina todos os quadros e determina o valor da média máxima para cada ciclo do servidor em todo o arquivo. Esta análise ocorre na inicialização do servidor, quando este analisa todos os arquivos de vídeo disponíveis. Desta análise resulta um lista para cada arquivo com a quantidade de dados que deve ser lida do disco e enviada a cada ciclo do servidor e o valor da média máxima correspondente ao ciclo.

O segundo passo é executado quando o servidor utiliza a lista para ler do disco a quantidade de dados que deve ser enviada a cada ciclo. Com o valor da média máxima do ciclo obtido da

lista, e após o servidor reconhecer todos os quadros que devem ser enviados, o algoritmo *RCBS* é empregado para calcular o tamanho de cada segmento do ciclo correspondente. Esta análise ocorre na ordem inversa de reprodução dos vídeos, permitindo que os dados excedentes sejam enviados nos segmentos de forma adiantada. O tamanho de cada segmento corresponde ao valor da média máxima quando o quadro é maior que este valor, ou segmento corresponde ao valor original do quadro adicionado o valor excedente, se necessário.

A figura 3.9 mostra o gráfico original com os tamanhos dos quadros de um arquivo de vídeo e a figura 3.10 mostra o mesmo arquivo mas com os tamanhos dos segmentos calculados pelo algoritmo *RCBS*. Observa-se que o segundo gráfico possui menos picos que o primeiro, porque a quantidade excedente dos picos é distribuído pelos segmentos adjacentes que possuem tamanhos inferiores ao valor da média calculada.

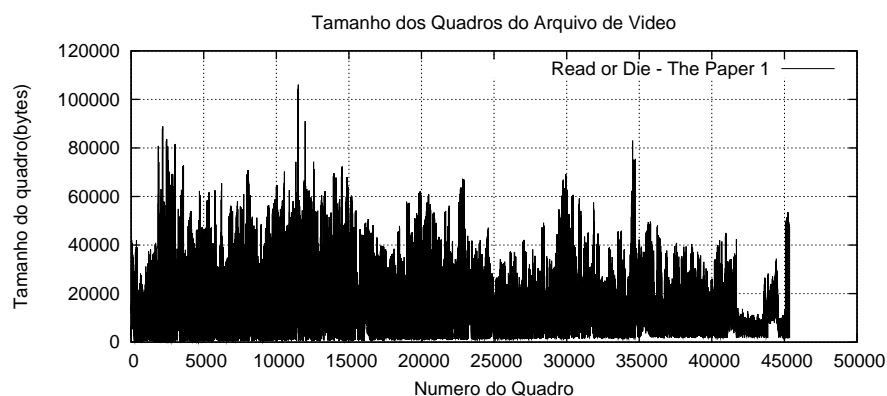


Figura 3.9: Tamanho dos quadros.

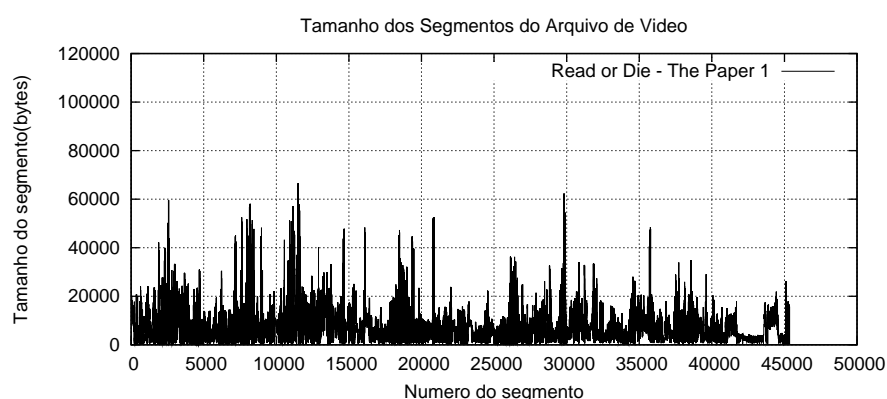


Figura 3.10: Tamanho dos segmentos.

A mesma análise vale para os gráficos das figuras 3.11 e 3.12. Nestes gráficos é mostrado o tamanho dos primeiros 1000 quadros e os correspondentes segmentos do mesmo arquivo de vídeo. Observa-se que no gráfico da figura 3.12 grande parte dos picos são eliminados. Nos dois

gráficos é notável que a média dos segmentos enviados é muito menor da média do tamanho dos quadros dos arquivos de vídeo analisados.

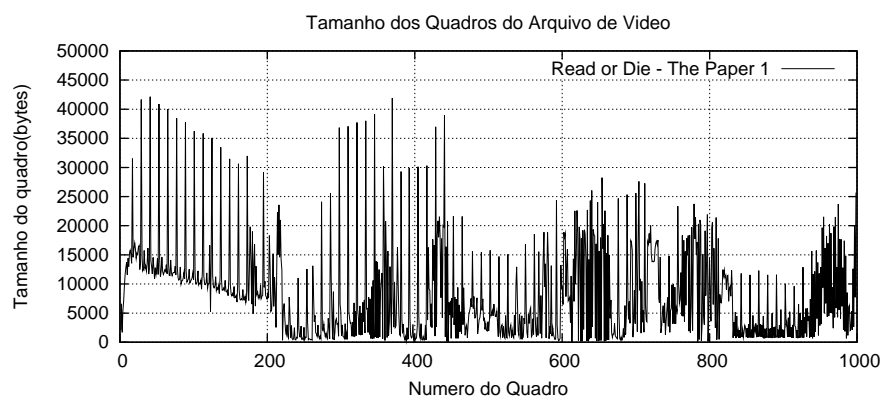


Figura 3.11: Tamanho dos quadros.

A utilização deste algoritmo garante que o servidor envie somente os dados necessários e suficientes ao cliente sem sobrecarregar a rede, permitindo que clientes que não utilizam *buffers* possam reproduzir os fluxos de vídeo sofrendo interferência somente dos atrasos impostos pela rede.

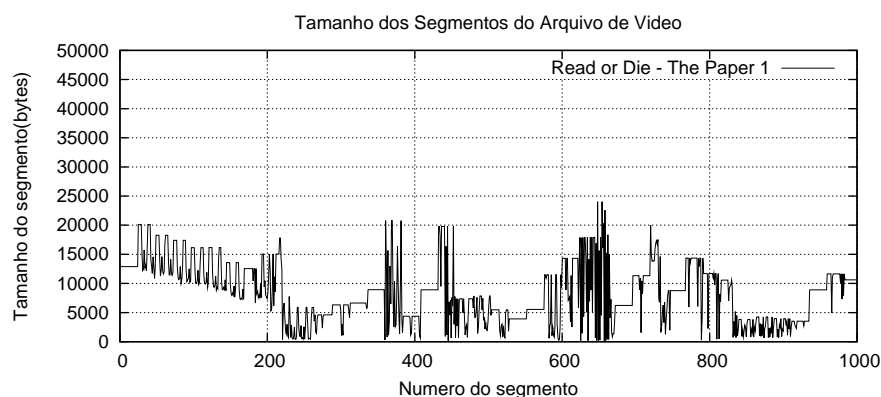


Figura 3.12: Tamanho dos segmentos.

### 3.4 Controle de recursos

Servidores de vídeo são um tipo de serviço disponibilizado em uma rede que pode ter o seu desempenho comprometido quando ocorrem carências de recursos no seu sistema, interferindo na qualidade do serviço oferecido aos clientes. Entende-se por *Qualidade de Serviço (QoS)* o conjunto de parâmetros (banda, *buffer* utilizado, uso da CPU, tempo de disco, etc..) que definem a qualidade de um fluxo de dados específico [R. Branden and Shender, 1994].

Em [Ferrari and Verma, 1990] são citados três níveis de *Qualidade de Serviço(QoS)* que

podem ser aplicados a servidores de vídeo. Os três níveis são:

1. *Determinístico*: todos os recursos utilizados tais como tempo de execução e largura de banda são assegurados dentro dos valores previamente propostos. Neste nível, os algoritmos de controle de recursos assumem sempre o pior caso para o cálculo da quantia utilizada, sub-utilizando os recursos controlados;
2. *Estatístico*: a garantia provida no cálculo dos recursos não é de 100%. Neste nível, os algoritmos utilizam de valores estatísticos para o cálculo dos recursos utilizados, permitindo que o sistema comporte mais usuários ocasionando pequenas diminuições na qualidade do serviço prestado.
3. *Melhor Esforço (Best Effort)*: nenhuma garantia é dada. O sistema procura executar da melhor forma possível até tornar-se sobrecarregado.

Vários trabalhos foram propostos na área de controle de recursos em servidores de vídeo para garantir a qualidade do serviço disponibilizado. No servidor *SVFserver* foi implementado algoritmo que controlam os recursos da banda de rede e do tempo de leitura do disco, além de um algoritmo de controle de admissão.

O algoritmo de controle de admissão é o algoritmo que recebe os pedidos de novas requisições, utiliza as informações referentes aos recursos utilizados pelo servidor fornecidas pelos algoritmos de controle de recursos do servidor, e determina se novas requisições serão admitidas. Este algoritmo evita que novas requisições sobrecarreguem algum recurso interferindo assim no desempenho do servidor. Nos próximos capítulos são explicados quais os algoritmos de controle foram implementados no servidor para controlar a banda de rede e o tempo de leitura do disco e é descrito o algoritmo de controle de admissão. Os arquivos de vídeo utilizados como carga nos testes do servidor de vídeo são descritos no início do próximo capítulo.

## Capítulo 4

# Carga de Teste

A carga utilizada no servidor de vídeo SVFserver para efetuar testes consiste de arquivos de vídeo com diversos graus de compressão. Os arquivos de vídeo de codificação *VBR* possuem melhor qualidade mas impõem maiores demandas ao servidor. Foram escolhidos portanto 10 arquivos de vídeo deste tipo de codificação como carga para os testes no servidor.

As características dos arquivos de vídeo utilizados estão descritos na tabela 4.1. Os gráficos com os tamanhos dos quadros e com a quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor encontram-se no Anexo I, neste anexo também encontram-se tabelas com informações detalhadas dos arquivos. Estes gráficos foram desenhados na mesma escala para que seja possível visualizar e comparar o grau de compressão de cada vídeo.

A tabela 4.1 contém as características que determinam a qualidade do vídeo tais como resolução, número de quadros por segundo, tempo de duração e informam a quantidade máxima de dados enviados em um ciclo do servidor para o arquivo correspondente. Este valor corresponde ao tamanho dos *buffers* reservados para requisições feitas àquele arquivo de vídeo.

Para tornar os testes mais realistas foram utilizados arquivos que correspondem a vídeos de filmes, desenhos e shows musicais. Foram escolhidos para os testes vídeos que possuem diferentes graus de compressão e que são codificados com algoritmos de compressão distintos, isto pode ser observado comparando os gráficos do Anexo I.

Nome	Tipo	Qps	Resolução	Duração[s]	Banda
O Senhor dos Anéis 1 (1)	filme	24	576x240	4623	474.028
O Senhor dos Anéis 1 (2)	filme	24	576x240	6151	467.292
Conan - O Bárbaro	filme	24	512x208	7822	437.396
Shrek	filme	25	352x288	4057	100.540
Nightwish	show	25	720x400	4796	437.070
Read or Die - The Paper 1	desenho	24	640x480	1905	943.320
Read os Die - The Paper 2	desenho	24	640x480	1850	722.550
O Senhor dos Anéis 1	filme	24	576x240	2163 (36m iniciais)	494.593
O Senhor dos Anéis 2	filme	24	640x272	877 (15m iniciais)	488.816
From the Hell	filme	24	595x240	1755 (30m iniciais)	491.600

Tabela 4.1: Característica dos filmes utilizados nos testes.

Pode ser observado nos gráficos referentes à quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor (Anexo I) que o vídeo de menor carga no teste corresponde ao desenho Shrek, o vídeo com maior carga na média é o video do desenho Read or Die 2 e o vídeo com maiores picos é o desenho Read or Die 1. Foram utilizados nos testes arquivos de vídeo completos e arquivos de vídeo que correspondem a intervalos iniciais de alguns filmes. Estes últimos foram utilizados para reduzir a duração de testes preliminares.

Os testes realizados no servidor foram executados em uma rede do tipo *LAN - Ethernet* 100Mbps, composta pela máquina servidora e mais três máquinas clientes. Todas as máquinas empregadas nos testes são modelos similares da linha *Presario* da Compac.

As máquinas contém processador Petium III de 933MHz, com memória RAM de 384Mbytes, um disco modelo Maxtor 36147H8 de 60GBytes, com 512kB de memória cache e uma placa de rede modelo Accton Technology Corporation SMC2-1211TX.

Nas próximas seções estão descritos os algoritmos de controle de recursos implementados no servidor incluindo a análise dos resultados obtidos nos testes destes algoritmos.



## Capítulo 5

# Controle de Banda de Rede

O algoritmo de controle de banda de rede é utilizado pelo servidor de vídeo para evitar que ocorram congestionamentos na interface de rede. Um dos grandes desafios enfrentados em projetos de servidores de vídeo é garantir o controle de recursos quando são utilizados arquivos de vídeos de largura de banda variável. Vários destes algoritmos foram propostos e são descritos em [D. Wrege and Liebeherr, 1996, Zhang and Ferrari, 1994, Knightly and Zhang, 1995, D. Makaroff and Hutchi, 1999, E. Knightly and Zhang, 1995, Knightly and Zhang, 1997].

No SVFserver foi implementado um método determinístico para controle da banda de rede e a implementação é baseada no trabalho de E. Knightly e H. Zhang [Knightly and Zhang, 1997]. Neste trabalho é analisada a diferença entre a utilização do tamanho do maior quadro de um arquivo de vídeo para o cálculo da banda de rede, e a utilização da maior soma dos tamanhos de uma quantia de quadros consecutivos para o cálculo da banda de rede.

É possível considerar o agrupamento de quadros para cálculo da banda de rede devido à seqüência dos tipos de quadros de um arquivo de vídeo. Um quadro do tipo I, que é grande, sempre é seguido de alguns quadros P e B pequenos.

Para exemplificar, considera-se as seguintes características para um arquivo de vídeo. O maior quadro I tem 50 kbytes, o número de quadros por segundo é de 25, os quatro quadros que seguem o quadro I são um quadro B de 1,1 kbytes, um quadro B de 1,2 kbytes, um quadro B de 1,0 kbytes e um quadro P de 4,5 kbytes, e a soma destes com o quadro I corresponde à maior soma de uma seqüência de cinco quadros de um arquivo de vídeo, que é de 57,8 kbytes. Para este arquivo, o valor da banda de rede estimada considerando somente o maior quadro é de  $50.000 * 25 = 1.250.000$  bytes/s. O valor da banda estimada considerando a maior seqüência de cinco quadros consecutivos é de  $57.800 * 5 = 289.000$  bytes/s.

Observa-se uma grande diferença nos resultados da estimativa para o recurso utilizado, e se o recurso for reservado com base no cálculo da banda de rede considerando somente o tamanho dos quadros I isolados, haverá desperdício porque este tipo de quadro é infreqüente em arquivos de vídeo.

Foi implementado no SVFserver um algoritmo que administra a utilização da banda de rede, na qual a estimativa da banda de rede utilizada para cada arquivo de vídeo é calculada através da determinação da maior soma de uma seqüência de quadros. A quantidade de quadros considerada na seqüência corresponde ao número de quadros por segundo do arquivo de vídeo, e a estimativa é baseada na maior quantidade enviada em um ciclo do servidor. Observa-se que este valor corresponde ao tamanho dos *buffers* reservados a cada requisição para o arquivo de vídeo. A estimativa da banda consumida por todas as requisições sendo atendidas é obtida pela somatória dos valores estimados da banda de cada requisição de vídeo que foi aceita.

O algoritmo de controle de banda de rede do SVFserver mantém uma estimativa da banda utilizada pelos vídeos que estão sendo exibidos. Quando é recebida uma nova requisição, o controle de admissão executa o algoritmo de controle de banda e decide se a nova requisição pode ser atendida. Sabendo quanto da banda de rede está sendo utilizada e adicionando a estimativa de banda da nova requisição, se o valor total não ultrapassar 80% da largura de banda disponível, a requisição é aceita.

Para verificar o funcionamento do algoritmo implementado foram realizados testes nos quais o tráfego na interface de rede é medido pelo programa *Xnetload*. Nestes testes o servidor aceita as requisições até o momento em que o algoritmo de controle de admissão detecta que a aceitação de uma próxima requisição acarretará em utilização acima de 80% da largura de banda disponível.

Após iniciado o teste e uma sobrecarga imposta à rede, é verificado se em algum momento o tráfego na interface de rede ultrapassa ao valor de 80% da banda disponível. Como os testes foram realizados em uma rede do tipo *Ethernet* de 100Mbps, o valor de banda disponível às requisições corresponde a 80Mbps.

## 5.1 Testes

Foram realizados três tipos de testes para comprovar a eficácia do método implementado, dois destes consistem de requisições ao servidor para o mesmo arquivo de vídeo, e o outro teste consiste de requisições feitas para arquivos diversos. Nos dois primeiros testes uma nova requisição é

realizada a cada segundo, possibilitando a sobreposição dos momentos em que são transmitidos os ciclos com maior quantidade de dados. No terceiro teste as requisições são realizadas em intervalos de até 5 segundos.

Em cada teste é criado um arquivo de log do servidor que registra a quantidade de dados que deve ser enviada a cada ciclo do servidor. Este arquivo também informa se ocorreram atrasos na entrega de fluxos de vídeo ocasionados por sobrecarga na interface de rede. Os atrasos são detectados através da medição do número de ciclos do servidor necessários para enviar cada arquivo de vídeo, que deve se igualar ao número de segundos da reprodução do vídeo. O log informa se os *sockets* não transmitiram todos os dados injetados pelo servidor, indicando assim que em algum momento os *sockets* foram sobrecarregados. Os gráficos que mostram a quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor deste capítulo e do Anexo I, foram plotados a partir do conteúdo destes registros.

A medição do tráfego da rede é realizada pelo programa *Xnetload*. Este programa informa ao final do teste qual a largura de banda máxima enviada através da interface de rede. Este valor é comparado com a quantidade máxima injetada pelo servidor em um ciclo do servidor, conforme registrado no arquivo de log. Os dois valores obtidos informam a carga na interface de rede durante o teste e comprovam se o método utilizado para estimar a utilização da banda de rede é válido. Cada um dos testes foi repetido 5 vezes.

No primeiro conjunto de testes foram realizadas requisições ao arquivo *Read or Die - The Paper 1*. Este arquivo possui a maior banda de rede calculada, e é o arquivo de vídeo que transmite a maior quantidade de dados em um ciclo do servidor, o que pode ser observado no gráfico da figura A.12. Observa-se que o valor 943.320 (ver tabela 4.1) é utilizado no cálculo da banda utilizada. Como novas requisições são emitidas a cada segundo, a região de maior carga do arquivo irá sobrecarregar a interface de rede, porque o servidor transmite os ciclos desta região a todos os clientes praticamente ao mesmo tempo.

O resultado dos testes realizados encontra-se na tabela 5.1. Nesta tabela consta o valor máximo enviado em um ciclo do servidor registrado no arquivo de log. Na terceira coluna estão os valores medidos pelo *Xnetload*. O gráfico da figura 5.1 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela), e estes correspondem à quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor. Os gráficos correspondentes às outras medições encontram-se no Anexo II.

Observa-se que o valor medido pelo *Xnetload* é um pouco superior ao valor indicado pelo

arquivo de log, isto ocorre porque o programa mede a quantia total transmitida na interface de rede incluindo o cabeçalho dos pacotes *TCP/IP*. Nestes testes o algoritmo de controle de admissão aceitou 10 requisições.

Observa-se nos resultados mostrados na tabela 5.1 que apesar de o servidor estimar que 80% da banda de rede está sendo consumida no teste, o tráfego máximo medido é de 6.594 kByte/s e que o valor médio obtido nas medições é de 6.361kBytes/s.

Teste	Banda	Banda
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	6.138	6.305
2	6.137	6.281
3	6.143	6.305
4	5.721	6.319
5	5.845	6.594

Tabela 5.1: Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (RoD-TP1).

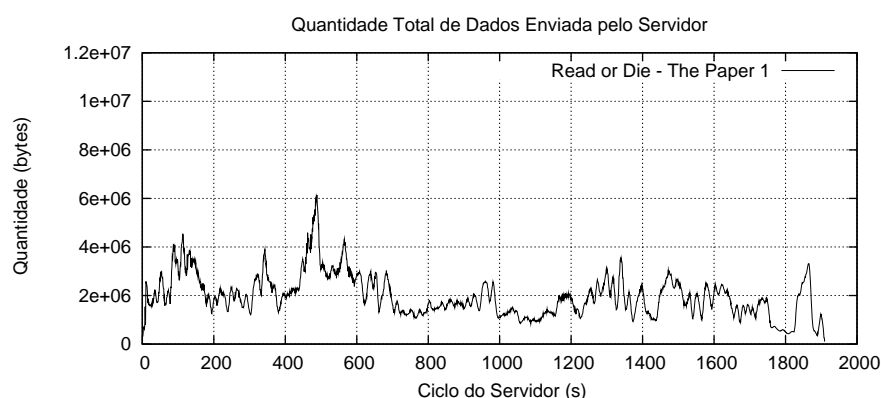


Figura 5.1: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1).

O arquivo *Senhor dos Anéis - As Duas Torres* foi utilizado no segunda conjunto de testes, efetuados com o mesmo método dos testes anteriores. Este arquivo utiliza o valor de 488.816 bytes no cálculo da banda utilizada.

O resultado dos testes encontra-se na tabela 5.2. O gráfico da figura 5.2 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela).O algoritmo de controle de admissão aceitou 20 requisições.

Teste	Banda	Banda
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	6.120	6.371
2	5.846	6.303
3	5.892	6.186
4	5.853	6.064
5	6.069	6.390

Tabela 5.2: Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (SdA2).

Observa-se que a banda máxima medida ficou em torno de 6.390 kBytes/s e que a banda média corresponde a 6.263 kbytes/s.

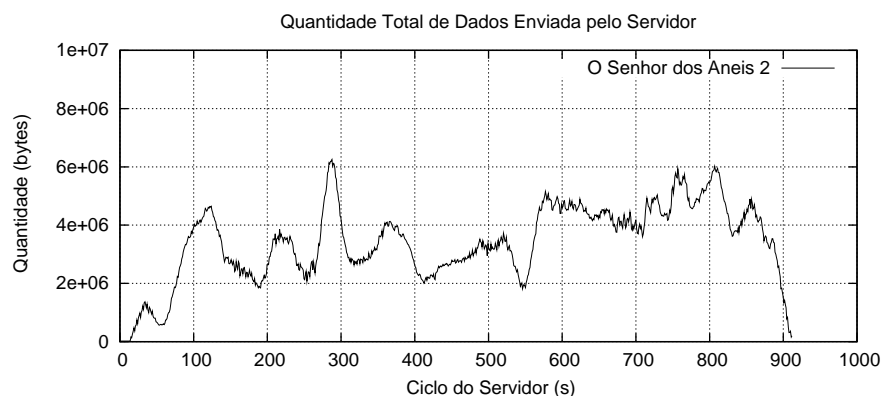


Figura 5.2: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2).

No terceiro conjunto de testes foram realizadas requisições aos 4 arquivos de vídeo cujo tempo de reprodução está em torno de 30 minutos (36 minutos iniciais de O Senhor dos Anéis 1, Read or Die - The Paper 1, e 2. e From the Hell). Foram escolhidos estes arquivos porque o tempo de execução do teste fica em torno do tempo de reprodução dos arquivos, reduzindo assim o tempo de execução dos testes. Nestes testes foram geradas requisições a cada 3 segundos de forma aleatória aos 4 arquivos disponibilizados, resultando em um número diferente de requisições aceitas para cada teste. Os valores utilizados no cálculo da banda correspondem aos valores mostrados nas tabelas do capítulo 4.

O resultado dos testes realizados encontram-se na tabela 5.3, e nesta tabela são informados a quantidade de requisições aceitas em cada teste. O gráfico da figura 5.3 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela).

Teste	N. de req.	Banda	
		Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	16	4.158	4.229
2	15	4.146	4.410
3	13	4.298	4.434
4	16	4.983	5.147
5	14	5.056	5.182

Tabela 5.3: Quantidade de dados enviada pelo servidor sem a utilização de filtro (Vários).

Observa-se nestes testes que a maior banda medida chegou a 5.182kbytes/s e o valor médio obtido nas medições é de 4.680kBytes/s. Observa-se nos resultados da tabela 5.3 que os valores são muito menores do valor esperado de 80%, e os picos medidos são menores que os valores obtidos nos testes realizados com requisições a somente um arquivo de vídeo. Isto ocorre porque em cada arquivo de vídeo os ciclos que enviam as maiores quantidades de dados ocorrem em períodos distintos, assim se são enviados fluxos de diversos arquivos, geralmente os picos deste arquivos não são sobrepostos.

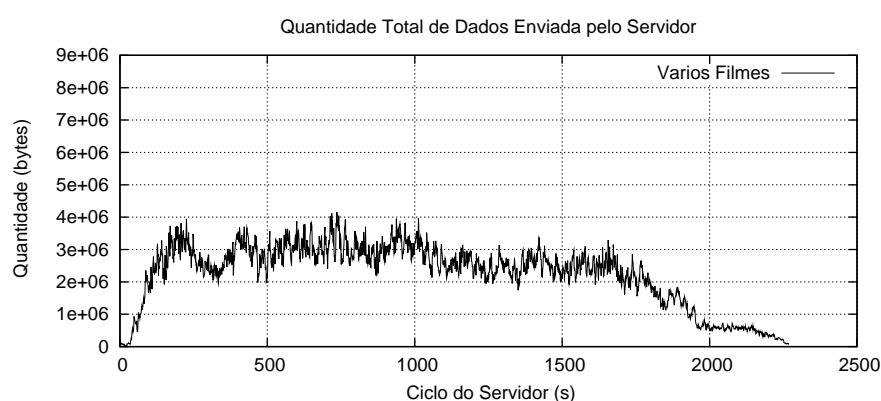


Figura 5.3: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários).

A tabela 5.4 mostra um resumo dos valores obtidos nos três conjuntos de testes realizados. Observa-se que a maior banda medida corresponde aos testes em que foram realizadas requisições ao arquivo de vídeo com a maior banda estimada. A terceira linha mostra que a banda máxima medida é menor quando as requisições são feitas a arquivos diversos.

Conjunto	Banda	
	Máxima[kB/s]	Média [kB/s]
1	6.594	6.361
2	6.390	6.263
3	5.182	4.680

Tabela 5.4: Quantidade de dados medidos pelo *Xnetload*.

Após realizados testes no servidor com o algoritmo implementado baseado no trabalho de E. Knightly e H. Zhang, foi comprovado que este impede a ocorrência de sobrecarga na rede, mas pode induzir a sua sub-utilização. Este fato ocorre porque a cada ciclo do servidor uma quantidade diferente de dados é enviada, podendo esta ser freqüentemente menor que a quantidade utilizada na estimativa da banda. Isto pode ser observado nos gráficos que mostram a quantidade de dados enviados a cada ciclo do servidor do Anexo I para os arquivos de vídeo utilizados nos testes (figuras B.1, B.2 e B.3, por exemplo). Para aumentar o aproveitamento da banda de rede disponível é proposto um método que utiliza filtros no calcula da estimativa da banda utilizada pelos arquivos de vídeo.

### 5.1.1 Filtros

Para diminuir o valor estimado da banda de rede, e portanto aumentar o número de requisições aceitas pelo servidor, é usado um filtro que determina o valor da banda de acordo com a quantidade de dados que deve ser transmitida durante um intervalo de vários ciclos contíguos. Este filtro é aplicado para calcular a média ponderada da quantidade de dados de um ciclo com relação aos ciclos vizinhos. Desta forma, se a quantidade de dados a serem enviados em um ciclo for muito grande comparada com os ciclos vizinhos, seu valor estimado é reduzido pela aplicação do filtro.

Os dois filtros abaixo, *filtro 1* definido pela Equação 5.1 e *filtro 2* definido pela Equação 5.2, são utilizados para estimar novos valores de banda de rede utilizada pelos arquivos de vídeo.

$$\begin{aligned}
 banda1 = & \sum_{-6 \leq n \leq -4} 0.05 \cdot ciclo_n + \sum_{-3 \leq n \leq +3} 0.1 \cdot ciclo_n + \\
 & \sum_{+4 \leq n \leq +6} 0.05 \cdot ciclo_n
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

$$banda2 = 0.025 \cdot ciclo_{n-10} + \sum_{-9 \leq n \leq +9} 0.05 \cdot ciclo_n + 0.025 \cdot ciclo_{n+10} \quad (5.2)$$

A equação 5.1 calcula o valor da banda considerando as quantias enviadas dos 6 ciclos adjacentes anteriores e posteriores. A equação 5.2 calcula o valor da banda considerando as quantias enviadas dos 10 ciclos adjacentes anteriores e posteriores.

A tabela 5.5 contém o valor estimado original da banda de cada filme e os novos valores calculados com as equações 5.1 e 5.2. Nesta tabela também são mostrados o percentual de redução dos novos valores calculados com relação ao valor da banda inicial estimada.

Arquivo	Banda Inicial	Banda Eq1	Redução (%)	Banda Eq2	Redução (%)
O Senhor dos Anéis 1 - 1	474,0	326,0	31,2	309,0	34,8
O Senhor dos Anéis 1 - 2	467,3	295,5	36,8	279,7	40,1
Conan - O Bárbaro	437,4	259,8	40,6	210,5	51,9
Shrek	100,5	87,0	13,4	76,9	23,5
Nightwish	437,1	263,1	39,8	238,3	45,5
Read or Die - The Paper 1	943,3	606,7	35,7	570,0	39,6
Read os Die - The Paper 2	722,5	483,6	33,1	449,7	37,8
O Senhor dos Anéis 1 (36 m.)	494,6	372,8	24,6	344,8	30,3
O Senhor dos Anéis 2 (15 m.)	488,8	380,7	22,1	330,8	32,3
From the Hell (30 m.)	491,6	322,8	34,3	291,8	40,6

Tabela 5.5: Banda de rede estimadas segundo às equações 5.1 e 5.2 [kB/s].

Observa-se na tabela 5.5 que a diferença entre os valores calculados entre o filtro 2 e o filtro 1 é muito pequena, da ordem de 13%, comparada com a diferença entre o resultado obtido com o filtro 1 e o valor original, cerca de 40%. Se fosse incluído um terceiro filtro com um intervalo maior de vizinhança o resultado obtido não seria muito menor dos valores obtidos com os outros filtros.

## 5.2 Testes Realizados utilizando o Primeiro Filtro

Os mesmos testes descritos na seção(5.1) foram repetidos considerando novos valores estimados de banda de rede calculados pelo filtro da equação 5.1.

O resultado dos cinco teste realizados com o desenho Read or Die - The Paper 1 encontram-se na tabela 5.6. O gráfico da figura 5.4 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log



do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela). Nestes testes o algoritmo de controle de admissão aceitou 16 requisições, 6 requisições a mais que o teste anterior.

Teste	Banda	
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	9.126	9.927
2	9.961	10.023
3	8.364	8.840
4	9.599	10.089
5	8.817	9.109

Tabela 5.6: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (RoD-TP1).

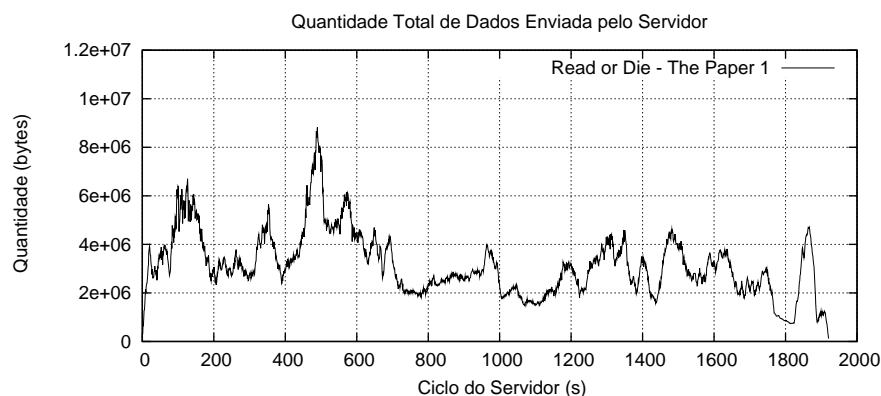


Figura 5.4: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1).

Observa-se nos resultados obtidos, mostrados na tabela 5.6, que nas medições feitas pelo *Xnetload* o segundo e o quarto testes ultrapassaram o valor de 80% da banda de rede disponível. Nestes dois testes não ocorreram atrasos na entrega dos fluxos de vídeo, pois estes valores são muito próximos ao valor de 10Mbytes/s. O tráfego máximo medido é de 10.089kByte/s e o valor médio obtido nas medições é de 9.598kBytes/s.

O resultado dos cinco teste realizados com o trecho de 15 minutos iniciais do filme O senhor dos Anéis - As Duas Torres encontram-se na tabela 5.7. O gráfico da figura 5.5 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela). Nestes testes o algoritmo de controle de admissão aceitou 26 requisições, 6 requisições a mais que o obtido anteriormente.

Teste	Banda	
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	7.410	7.678
2	7.495	7.800
3	7.538	7.700
4	7.491	7.607
5	7.322	7.568

Tabela 5.7: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (SdA2).

Observa-se nestes testes que a maior banda medida chegou a 7.800kbytes/s e o valor médio obtido nas medições é de 7.671kBytes/s, q que nos resultados da tabela 5.7 os valores são inferiores ao valor esperado de 80%. Neste teste ainda existe uma fração de banda de rede sendo desperdiçada.

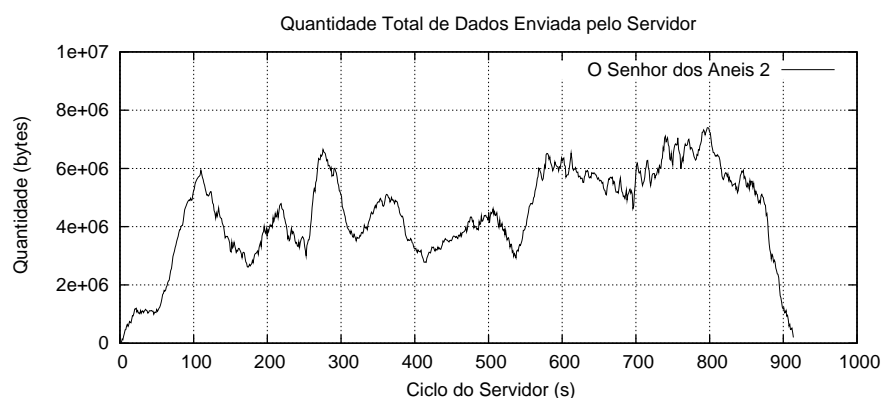


Figura 5.5: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2).

No terceiro conjunto de testes foram realizadas requisições aos 4 arquivos de vídeo utilizados como carga, e neste conjunto foi obtido um número diferente de requisições aceitas para cada teste devido a aleatoriedade das requisições. Os valores utilizados no cálculo da estimativa da banda correspondem aos valores mostrados na tabela 5.5.

O resultado dos cinco testes realizados encontram-se na tabela 5.8. O gráfico da figura 5.6 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela).

Teste	N. de req.	Banda	
		Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	22	5.934	5.969
2	24	6.485	6.600
3	19	6.795	6.851
4	26	6.514	6.630
5	21	6.525	6.653

Tabela 5.8: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.1 (Vários).

Observa-se nestes testes que a maior banda medida chegou a 6.851kbytes/s e o valor médio obtido nas medições é de 6.541kBytes/s. O maior valor de banda medido corresponde ao teste com menor número de requisições aceitas, porque neste teste ocorreram muitas requisições ao arquivo de vídeo de maior banda. Observa-se nos resultados da tabela 5.8 que os valores são inferiores ao valor esperado de 80%. Nestes testes ainda existe uma fração de banda de rede sendo mal utilizada porque a estimativa é exagerada.

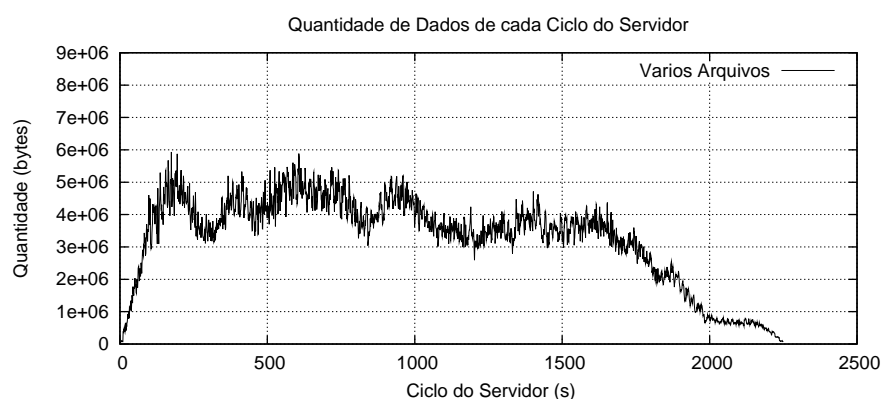


Figura 5.6: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários).

### 5.3 Testes Realizados com o Filtro 5.2

Os mesmos conjuntos de testes foram repetidos, desta vez, considerando os novos valores estimados de banda de rede utilizando no seu cálculo o filtro da equação 5.2.

O resultado dos cinco testes realizados com o desenho Read or Die - The Paper 1 encontram-se na tabela 5.9. O gráfico da figura 5.7 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela). Nestes testes o algoritmo de controle de admissão aceitou 17 requisições, 1 a mais que no teste com o filtro 5.1.

Teste	Banda	
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	9.775	9.997
2	10.708	10.561
3	9.951	10.053
4	9.515	9.578
5	10.236	10.299

Tabela 5.9: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (RoD-TP1).

Observa-se nos resultados mostrados na tabela 5.9 que nas medições com o *Xnetload* o segundo, o terceiro e o quinto testes ultrapassaram o valor de 80% da banda de rede disponível, e o primeiro teste aproximou-se do valor limite. Em nenhum dos testes ocorreram atrasos na entrega dos fluxos de vídeo, nem mesmo no segundo teste que acusou medição do tráfego na rede inferior ao valor enviado pelo servidor. Isto ocorreu porque não existe um sincronismo entre o período em que sistema enviou os dados na interface de rede e o período em que o *Xnetload* mediu a interface de rede, e a quantidade não medida pelo *Xnetload* em uma medição é computada na próxima medição realizada.

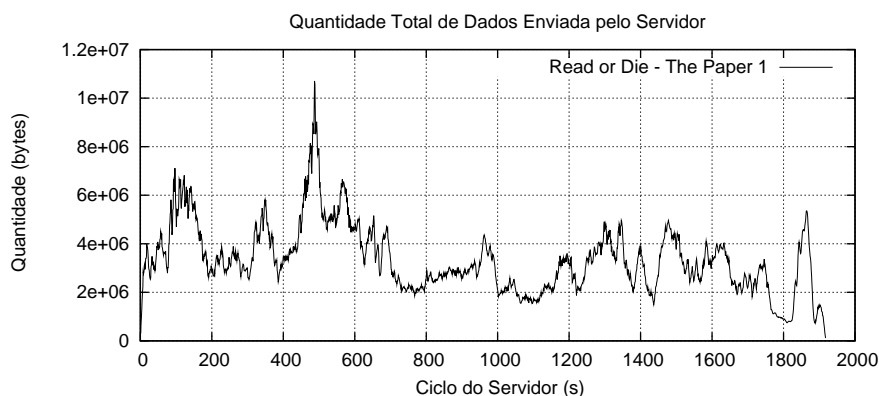


Figura 5.7: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (RoD-TP1).

O tráfego máximo medido é de 10.561kByte/s e o valor médio obtido nas medições é de 10.098kBytes/s. Estes valores não são muito maiores que os valores obtidos no conjunto de testes com o filtro 5.1 porque este filtro permitiu que somente uma requisição a mais fosse satisfeita pelo servidor.

O resultado dos cinco testes realizados com o trecho de 15 minutos iniciais do filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres encontram-se na tabela 5.10. O gráfico da figura 5.8 mostra os dados registrados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela).

Nestes testes o algoritmo de controle de admissão aceitou 30 requisições, 4 requisições a mais que no teste com o filtro 5.1.

Teste	Banda	
	Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	8.465	8.602
2	8.594	8.889
3	8.322	8.437
4	8.578	8.693
5	8.518	8.672

Tabela 5.10: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (SdA2).

Observa-se nestes testes que a maior banda medida chegou a 8.889kbytes/s e o valor médio é de 8.859kBytes/s. Observa-se nos resultados da tabela 5.10 que os valores são inferiores ao valor esperado de 80%, o que mostra que uma fração da banda disponível é mais utilizada. Neste teste ainda existe uma quantidade de banda de rede sendo desperdiçada.

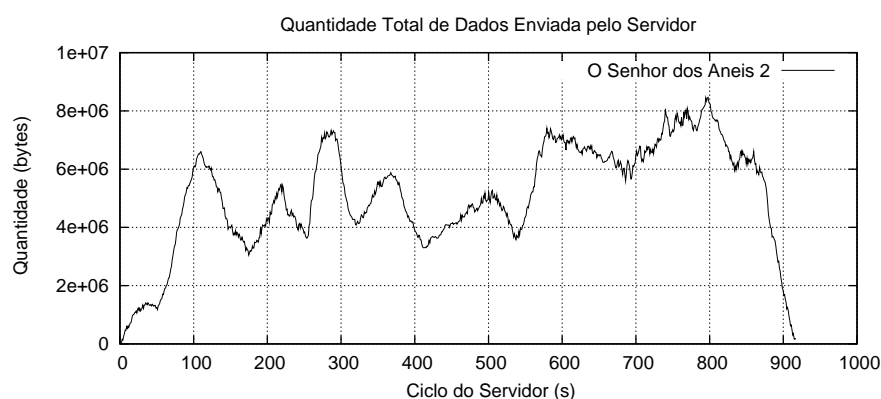


Figura 5.8: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (SdA2).

No último conjunto de testes foram realizadas requisições aos 4 arquivos de vídeo utilizados como carga de testes. Este conjunto foi obtido um número diferente de requisições aceitas para cada teste devido a aleatoriedade das requisições. Os valores utilizados na estimativa do cálculo da banda correspondem aos valores mostrados na tabela 5.5.

O resultado dos cinco testes realizados encontram-se na tabela 5.11. O gráfico da figura 5.9 corresponde aos dados armazenados no arquivo de log do primeiro teste realizado (primeira linha da tabela). O número de requisições aceitas encontra-se na tabela 5.11.

Teste	N. de req.	Banda	
		Enviada[kB/s]	Medida [kB/s]
1	24	6.575	6.598
2	26	6.967	7.043
3	22	8.276	8.358
4	23	7.584	7.759
5	26	6.563	6.864

Tabela 5.11: Quantidade de dados enviada pelo servidor utilizando o filtro 5.2 (Vários).

Observa-se nestes testes que a maior banda medida chegou a 8.358kbytes/s e o valor médio obtido nas medições é de 7.324kBytes/s. Observa-se nos resultados da tabela 5.11 que os valores são um pouco inferiores ao valor esperado de 80%. Neste teste nota-se que há uma fração de banda de rede sendo mal utilizada.

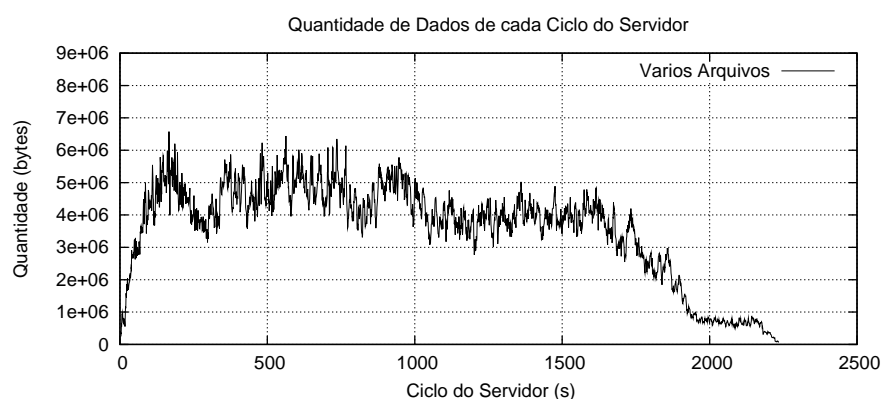


Figura 5.9: Quantidade de dados enviada em cada ciclo do servidor (Vários) .

Analisando os resultados obtidos nos testes conclui-se que o filtro 5.2 permite um aumento na utilização da banda de rede quando esta disponibiliza fluxos de vídeo de diversos arquivos. Na situação em que são feitas requisições a um mesmo arquivo de vídeo, e este possui intervalos em que são enviados quantidades muito grandes de dados se comparados com o valor médio, podem ocorrer períodos em que a quantidade enviada ultrapassa o valor limite do servidor, sem que tenham sido observadas interrupções na exibição dos vídeos.

Considerando-se os resultados dos testes deste capítulo aqui relatados, foi decidido pelo uso do filtro 5.2 no servidor. No caso da banda de rede ser sub-utilizada, o responsável pela execução do servidor pode eventualmente modificar o valor limite da banda de rede para um valor maior, permitindo assim que um número maior de requisições sejam aceitas pelo servidor, já que dificilmente ocorrerão situações em que todas as requisições serão feitas ao arquivo de

vídeo com os maiores picos de transmissão ao mesmo tempo.

Conclui-se então que o método proposto por E. Knightly e H. Zhang para estimar a banda é válido mas sub-utiliza a banda de rede. Este método torna-se eficaz quando é utilizado junto com um filtro que auxilia na avaliação da banda de rede de cada arquivo de vídeo.

O próximo capítulo descreve o algoritmo implementado no servidor para controlar o tempo de leitura de disco, e analisa os resultados obtidos nos testes realizados com este algoritmo.

## Capítulo 6

# Controle de

# Tempo de Leitura de Disco

O controle de banda de rede limita o número de requisições quando o servidor é executado em uma rede com banda limitada, como por exemplo uma rede de 100Mbps. Quando o servidor é executado em uma rede de 1Gbps, o serviço pode sofrer interferências devido a sobrecargas nos outros recursos, como por exemplo o recurso disco.

Além do controle da banda de rede, discutido no capítulo 5, o outro recurso controlado no servidor é o tempo de leitura de disco. Há trabalhos publicados que consideram aproximações determinísticas que inclui no cálculo do tempo de leitura de dados do disco o tempo de busca, o tempo de rotação e o tempo de transporte dos dados do disco à memória principal [Rangan and Vin, 1991, P. Rangan and Ramanathan, 1992, D. Anderson and Govindan, 1992, Rangan and Vin, 1993].

A escolha do método utilizado para o controle do tempo de leitura dos dados do disco depende da forma como os dados são armazenados. Os dados podem ser armazenados de três formas:

1. *Tempo Contante (Constant Time Length CTL)*: A quantidade de dados é armazenada em blocos correspondendo a um tempo fixo de reprodução. Se a codificação dos arquivos de vídeo é CBR, então todos os blocos possuem tamanhos iguais. Se a codificação dos arquivos de vídeo é VBR, então os blocos possuem tamanhos distintos;
2. *Tamanho Constante (Constant Data Length CDL)*: A quantidade de dados armazenada no disco corresponde a blocos com uma quantidade fixa de dados, neste caso o tempo de reprodução para cada bloco será equivalente se a codificação dos arquivos é CBR e distinto



se a codificação dos arquivos é VBR;

3. *Aleatoriamente*: Os dados são armazenados em qualquer posição do disco e em blocos de tamanhos variados, a decisão quanto ao local de escrita é tomada pelo sistema operacional.

Em [Chang and Zakhor, 1994, Chang and Zakhor, 1996] é comparado o desempenho de dois algoritmos determinísticos distintos para arquivos de vídeo com codificação *VBR* e que utilizam a forma *CTL* de armazenamento no disco. Em [H. Vin and Goyal, 1994a, H. Vin and Goyal, 1994b] são discutidos algoritmos de controle estatísticos considerando a forma *CTL* de armazenamento no disco.

Para controlar o tempo de leitura do disco no servidor *SVFserver* foi escolhida uma forma de cálculo determinístico, onde a soma total dos tempo de leitura dos dados de todas as requisições é limitada em um determinado valor.

O servidor de vídeo *SVFserver* é normalmente executado em um sistema que permite que os arquivos de vídeo sejam armazenados de forma aleatória no disco, e os dados são gravados em qualquer posição e em blocos de tamanhos variados independentemente do tempo de reprodução, resultando assim em tempos de busca distintos, tanto para arquivos *CBR* como para arquivos *VBR*.

Em cada ciclo do servidor é preenchido um *buffer* com os dados lidos do disco para cada requisição. Desta forma, a soma dos tempos das leituras de todas as requisições deve ser menor que o ciclo do servidor, evitando assim atrasos na entrega dos fluxos de vídeo.

A chamada de sistema utilizada na leitura dos dados é a função *read()*. A implementação desta função no servidor viabiliza o preenchimento ordenado dos *buffers* de acordo com a ordem de chegada das requisições e de acordo com a ordem do seu esvaziamento. Quando se utiliza a função *read()*, o algoritmo de escalonamento de leitura de disco não modifica a ordem de preenchimento dos *buffers* no servidor.

Para implementar o controle determinístico nesta configuração é medido o tempo de leitura dos dados a cada *read()* executado pelo servidor. A medida de tempo é obtida com a chamada de sistema *gettimeofday()*, esta função permite uma medição com resolução de microssegundos. O servidor mede o tempo através de *gettimeofday90*, invoca a função de leitura dos dados do disco, e mede o tempo novamente. A duração do intervalo de leitura corresponde à diferença do último tempo medido com relação ao primeiro. Para evitar que outros processos interfiram na medição de leitura dos dados do disco, o servidor é executado com prioridade máxima.

O tempo total dispendido na leitura dos dados do disco em um ciclo do servidor corresponde à soma de todas as medições efetuadas no ciclo. O algoritmo de controle de leitura de disco utiliza a soma das medições realizadas em um ciclo do servidor para decidir se o recurso de disco está sobrecarregado.

Para medir a carga na interface de disco foram realizados testes com as requisições dos clientes efetuadas na mesma máquina em que o servidor é executado, evitando assim que ocorram sobrecargas na interface de rede. Nestes testes foram criados arquivos de log que informam os tempos medidos pelo servidor e através destes arquivos são plotados gráficos com o tempo total de leitura em cada ciclo do servidor.

## 6.1 Testes Realizados

O primeiro teste realizado tem o objetivo de mostrar qual é o comportamento quando 50 requisições são aceitas pelo servidor. As requisições são a arquivos distintos, sendo estes os 10 arquivos descritos no capítulo 4. Efetuar requisições a arquivos distintos pode ocasionar um aumento no percentual do tempo de busca do disco no tempo final de leitura de cada requisição, pois cada arquivo é armazenado em locais diferentes do disco.

Através deste teste detectou-se que em alguns ciclos o tempo total de leitura ficou acima de 1 segundo. Isto ocorre por dois motivos: primeiro porque os arquivos são codificados no formato VBR podendo resultar em períodos longos para leitura dos dados nos ciclos que envolvem a transmissão de grande quantidade de dados; e segundo porque os dados são armazenados aleatoriamente no disco provocando tempos de busca relativamente longos devido à movimentação do braço do disco.

O gráfico da figura 6.1 mostra a soma dos tempos gastos nas leituras de disco em cada ciclo do servidor no teste realizado.

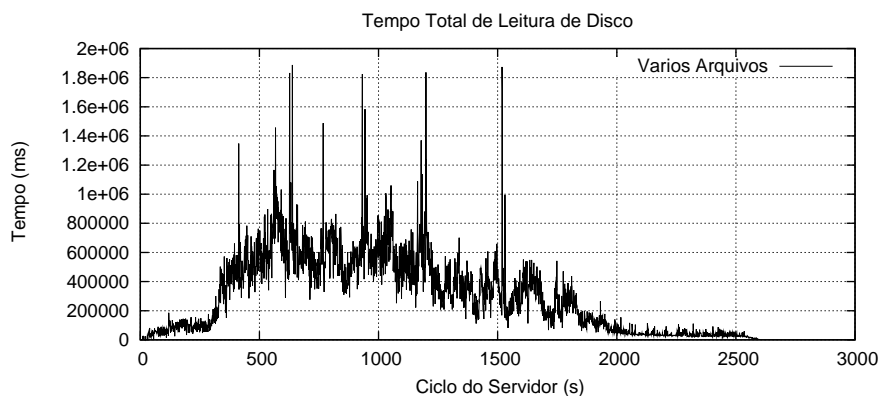


Figura 6.1: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor.

Observa-se na figura 6.1 que em vários momentos o tempo total medido ultrapassou 1 segundo. Nestes momentos o servidor fica a espera de que os últimos *buffers* sejam preenchidos para poder iniciar o envio dos segmentos de vídeo aos respectivos clientes, ocasionando assim atrasos na sua entrega. Observa-se que o servidor dá tratamento independente às requisições, e se uma das requisições tem o envio do seu fluxo atrasado pelo servidor, o envio dos fluxos de vídeo das outras requisições não sofre qualquer interferência.

Perante o resultado do teste foi decidido implementar um algoritmo de controle de tempo de leitura de disco que informa ao algoritmo de controle de admissão se este recurso está sobrecarregado.

O algoritmo de controle de disco utiliza a soma dos tempos de leitura medidos para verificar se o recurso está sobrecarregado. Se alguma medição for superior a 850 milissegundos, o algoritmo de controle de admissão somente aceita novas requisições se pelo menos uma das requisições correntes for concluída. Assim, a cada medida acima de 850ms o algoritmo impede a admissão de novas requisições. Quando uma requisição é concluída o algoritmo libera a admissão de novas requisições até a detecção de novos valores acima do tempo determinado.

O valor de 850ms foi escolhido porque foi observado que em algumas medições acima deste valor a finalização do preenchimento dos *buffers* ultrapassou o intervalo de um ciclo do servidor e o intervalo total para preenchimento de todos os *buffers* excedeu a de 1 segundo. O intervalo total para preenchimento de todos os *buffers* ultrapassa o intervalo de um ciclo do servidor quando o servidor possui muitas requisições e a liberação para o preenchimento de alguns destes *buffers* ocorre quase no final do ciclo.

Além do algoritmo de controle de disco impor um limite na admissão de requisições quando o tempo de leitura atinge o valor de 850ms, o algoritmo deve considerar também os momentos

quando a soma total dos tempos esteja aproximando-se do valor limite, como por exemplo 840 ms, permitindo mesmo assim que o servidor aceite novas requisições.

Para contornar esta situação foi implementado no servidor um mecanismo de controle que não admite novas requisições quando, em pelo menos uma das últimas medições efetuadas o tempo total de leitura esteve acima de um determinado valor considerado crítico, porém inferior a 850ms.

A versão inicial do mecanismo de controle de tempo de leitura de disco contém um vetor de 270 posições para armazenar as últimas 270 medições realizadas no servidor, e foi definido o valor de 700 ms como limiar de tempo de leitura crítico para impedir a admissão de novas requisições. Estes valores foram escolhidos arbitrariamente para observação dos resultados dos testes.

Foram realizados testes para verificar se este método evita que os tempos medidos ultrapassem o valor de 1 segundo. Os testes foram realizados da seguinte forma. Inicialmente foram feitas 30 requisições ao servidor para arquivos de vídeo distintos. Após 3 minutos foram efetuadas 5 novas requisições para os arquivos. Este processo é repetido de 3 em 3 minutos até a finalização do teste, que tem a duração de uma hora. Neste teste o algoritmo de controle de disco informa ao algoritmo de controle de admissão se algum dos valores armazenados no vetor é maior ou igual a 700ms. Se existir pelo menos um valor igual ou acima de 700ms o servidor não admite novas requisições.

Este método evita que novas requisições sobrecarreguem o servidor quando os tempos medidos se aproximam de valores críticos, e ao mesmo tempo permite que sejam aceitas novas requisições logo que os novos valores medidos sejam inferiores a 700ms, sem a necessidade de esperar que pelo menos 1 requisição seja concluída, aumentando assim a utilização do servidor.

A figura 6.2 mostra o resultado do teste. Observa-se nesta figura que o valor médio das medições fica abaixo de 400ms, mas ocorreram intervalos em que o tempo total de leitura do disco ultrapassou o valor de 1 segundo.

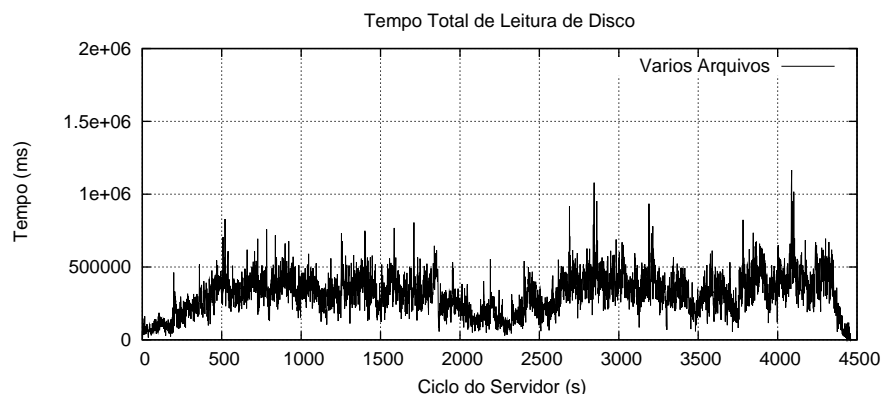


Figura 6.2: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas).

Para eliminar os picos que ultrapassaram 1 segundo foram realizados mais 2 testes com tamanho do vetor de 500 e de 1000 posições. Aumentando o tamanho do vetor, o servidor armazena por mais tempo as medições que ficaram no intervalo entre 700 e 850ms, limitando o número de requisições aceitas.

As figuras 6.3 e 6.4 mostram os resultados dos testes para vetores com 500 e 1000 posições, respectivamente. O gráfico da figura 6.3 mostra que foram obtidos valores acima de 1 segundo quando o vetor armazena as 500 últimas medições, mesmo que o valor médio tenha diminuído, comparando-se com o primeiro teste. O gráfico da figura 6.4 mostra que a utilização de um vetor de 1000 posições pode impedir a admissão de novas requisições por um período acima de 16 minutos. Isto pode ser observado entre os ciclos 1900 e 3000, quando foi obtido um único valor acima de 800ms. Observa-se que após este ciclo a utilização do servidor ficou muito pequena e que nenhuma nova requisição foi admitida. Mesmo assim, foram obtidas medições acima de 1 segundo, nos ciclos de número 3.666, 3.739, 3.741 e 3.742.

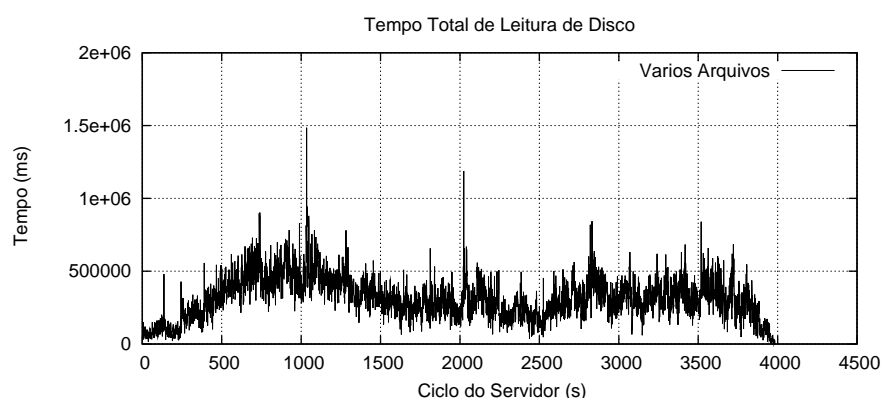


Figura 6.3: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (500 medidas armazenadas).

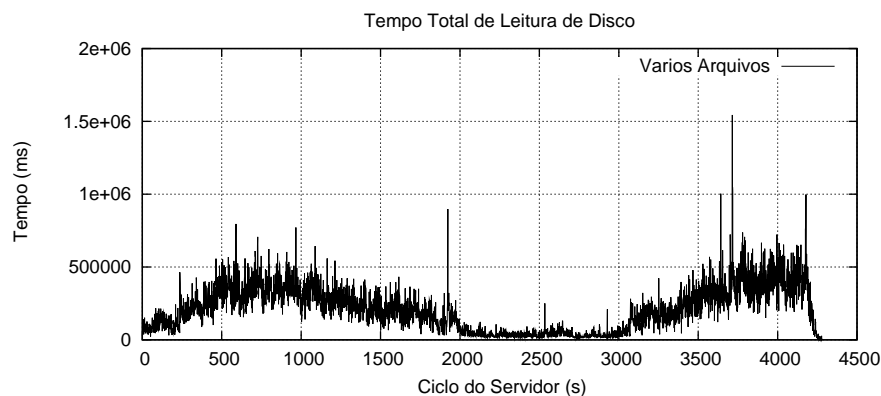


Figura 6.4: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (1000 medidas armazenadas).

A partir destes 3 testes foi concluído que o tamanho do vetor que contém o histórico das medições do servidor não é suficiente para evitar a ocorrência de picos acima de 1 segundo, mesmo que a utilização do servidor seja prejudicada. Para tentar resolver este problema foram realizados mais dois testes com o vetor de 270 posições nos quais os intervalos de tempo que impedem a admissão de novas requisições são de 600 a 850ms, e 500 a 850ms.

A figura 6.5 mostra o resultado do teste com o intervalo de 600 a 850ms. No gráfico observa-se que ocorreram algumas medições acima de 1 segundo. A figura 6.6 mostra o resultado do teste com intervalo de 500 a 850ms, observa-se também foram obtidas medições acima de 1 segundo.

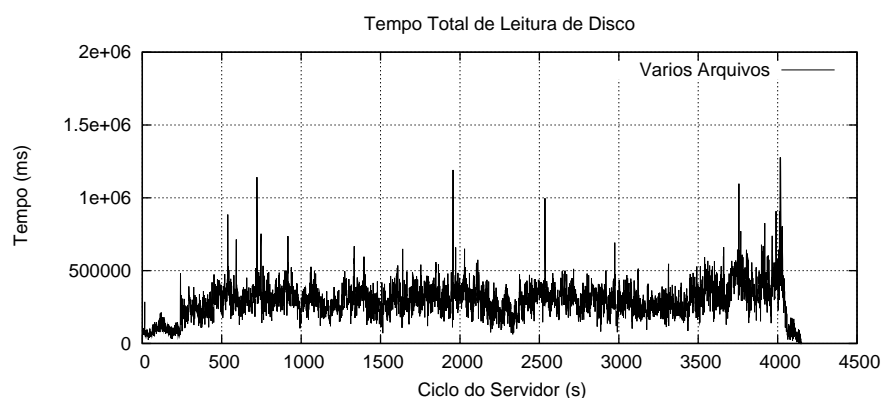


Figura 6.5: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas).

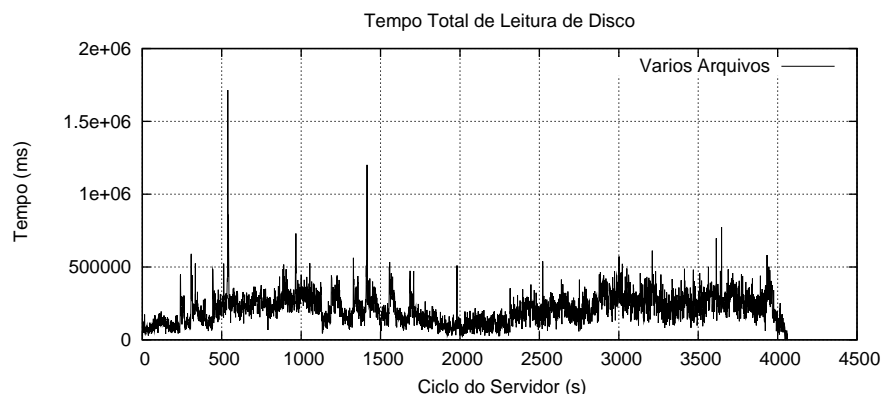


Figura 6.6: Tempo total de leitura dos dados do disco em cada ciclo do servidor (270 medidas armazenadas).

Estes dois últimos testes mostram que a expansão do intervalo que limita a admissão de novas requisições não é suficiente para eliminar as medições acima de 1 segundo. Estes intervalos acontecem devido à disposição aleatória dos arquivos de vídeo no disco, que pode ocasionar tempos de busca muito longos devido à movimentação do braço do disco.

Conclui-se então que este método de controle de tempo de leitura de disco não é robusto e confiável, pois leva sub-utilização do servidor e não evita que ocorram os instantes de sobrecarga. A partir destes resultados conclui-se que é necessário o emprego de uma forma de armazenamento para os arquivos de vídeo diferente do método aleatório, para que seja possível obter um melhor desempenho, aumentando assim o número de requisições aceitas pelo servidor.

Os gráficos da figura 6.7 e 6.8 mostram o número de requisições admitidas e a banda de rede estimada, respectivamente. Observa-se no gráfico 6.8 que o algoritmo de controle de tempo de disco permite aceitar um número de requisições que utiliza o dobro da banda de rede disponível.

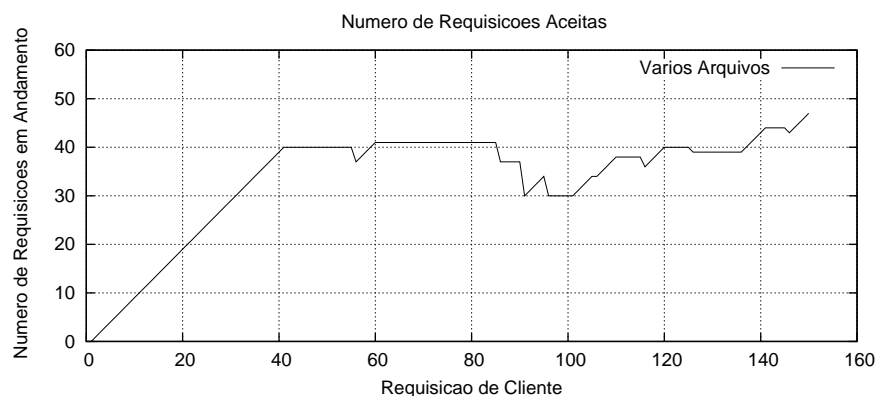


Figura 6.7: Quantidade de requisições em andamento quando chegam nova requisição ao servidor.

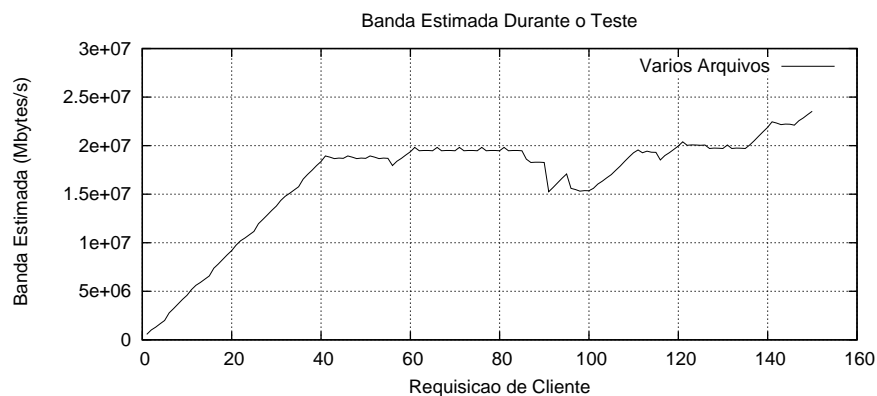


Figura 6.8: Banda estimada quando chega uma nova requisição ao servidor.

Partindo dos dados obtidos no gráfico 6.8 conclui-se que o servidor *SVFserver* pode ser executado normalmente em uma rede de 100Mbps mesmo não tendo um mecanismo válido para controlar o recurso do disco, pois a banda de rede é menor que a banda da interface de disco e permite que umas poucas requisições sejam aceitas sem sobrecarregar o disco. Note-se que quando o servidor for instalado em uma rede que possua uma banda maior, esta situação poderá se inverter e o sistema de discos limitará o número de requisições que podem ser atendidas.



## Capítulo 7

# Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho descreve a implementação do servidor de vídeo *SVFserver* que disponibiliza fluxos de vídeo a partir de arquivos armazenados em disco com codificação do tipo VBR. O servidor *SVFserver* contém algoritmos que controlam a utilização dos recursos da rede, e de disco, e um algoritmo de controle de admissão. Este servidor estende a implementação do servidor de vídeo *FFserver*.

Neste servidor foram implementados e analisados algoritmos de envio de fluxos de vídeo para a situação em que o cliente conectado não aloca espaço na memória principal. A partir destas análises conclui-se que o método que proporciona melhores resultados é o do algoritmo Rate-Constrained Bandwidth Smoothing.

O algoritmo de controle de banda de rede utiliza uma forma determinística para calcular a utilização da banda para cada arquivo de vídeo disponibilizado pelo servidor, e é baseado no trabalho de E. Knightly e H. Zhang [Knightly and Zhang, 1997]. Este método torna-se eficaz quando é utilizado em conjunto com um filtro que estima o valor da banda de rede de acordo com o quantidade de dados dos ciclo vizinhos. Para aumentar a capacidade de transmissão do servidor foram testados dois filtros e o que obteve melhor desempenho foi implementado no servidor.

O algoritmo de controle de tempo de disco utiliza uma forma determinística baseada na medição direta do tempo de leitura realizado pelo servidor. Este método foi escolhido devido à forma aleatória em que são armazenados os arquivos de vídeo. Através dos resultados obtidos nos testes com algoritmo de controle de tempo de disco chegou-se à conclusão que existe a necessidade de se aplicar uma forma específica para o armazenamento físico de arquivos de vídeo, pois a forma aleatória pode provocar intervalos muito longos para a movimentação do

braço do disco, introduzindo assim atrasos na entrega dos fluxos de vídeo aos clientes.

O servidor *SVFserver* foi implementado para ser executado em uma rede do tipo *LAN Ethernet* de 100Mbps, desta forma o algoritmo de controle de banda de rede limita o número de requisições aceitas pelo servidor para servir ao maior número possível de requisições sem congestionar a rede, permitindo que o servidor seja executado sem um controle no recurso do disco. Se o servidor for instalado em uma rede de maior capacidade deverá ser empregada uma forma de armazenamento específico para os arquivos de vídeo e deverá ser implementado um algoritmo de controle de tempo de disco que administre o recurso de disco.

Vários trabalhos podem ser desenvolvidos a partir da implementação descrita aqui. Além de implementar um método robusto para controlar o recurso de disco, pode-se implementar funções que decodificam os quadros de vídeo viabilizando a execução de funções do tipo *VCR*.

O servidor *SVFserver* utiliza o protocolo *TCP/IP* para enviar os fluxos de vídeo na rede, mas é possível tornar o transporte de fluxos de vídeo mais rápido e também confiável utilizando protocolos específicos para tráfego de vídeo, como o protocolo *RTP*.

Outro trabalho que pode ser desenvolvido consiste em reprojeter a parte referente à transmissão de fluxos de vídeo ao vivo herdado do servidor *FFserver* e que tem baixo desempenho.

# Bibliografia

- [Al-Marri and Ghandejarizadeh, 1998] Al-Marri, J. and Ghandejarizadeh, S. (1998). An evaluation of alternative disk scheduling techniques in support of variable bit rate continuous media. *International Conference on Extending Database Technology - EDTB*.
- [B. Ozden and Siberschatz, 1995] B. Ozden, R. R. and Siberschatz, A. (1995). Demand paging for video-on-demand servers. *International Conference on Multimedia Computing and Systems*.
- [B. Ozden and Siberschatz, 1996] B. Ozden, R. R. and Siberschatz, A. (1996). Buffer replacement algorithms for multimedia storage systems. *In Proceedings of the Third IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*.
- [Bellard, 2003] Bellard, F. (2003).
- [Chan and Tobagi, 1999] Chan, S. H. G. and Tobagi, F. A. (1999). Providing distributed on-demand video services using multicasting and local caching. *IEEE Mini-Conference on Multimedia Applications, Services, and Technologies*.
- [Chang and Garcia-Molina, 1999] Chang, E. and Garcia-Molina, H. (1999). Accounting for memory use, cost, throughput and latency in the design of a media server. Technical report, Stanford University Sity Technical Report SIDL-WP.
- [Chang and Zakhor, 1994] Chang, E. and Zakhor, A. (1994). Variable bit-rate mpeg video storage on parallel disk arrays. *First International Workshop on Community Networking Integrated Multimedia Services to the Home*.
- [Chang and Zakhor, 1996] Chang, E. and Zakhor, A. (1996). Cost analyses for vbr video servers. *International Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology*.

- [D. Anderson and Govindan, 1992] D. Anderson, Y. O. and Govindan, R. (1992). A file systems for continuous media. *ACM Transactions on Computer Systems*.
- [D. Eager and Zahorjan, 1999] D. Eager, M. V. and Zahorjan, J. (1999). Minimizing bandwidth requirements for on-demand data delivery. *Proc. MIS'99, Indian Wells*.
- [D. Makaroff and Hutchi, 1999] D. Makaroff, G. N. and Hutchi, N. (1999). *Network Bandwidth Allocation and Admission Control for a Continuous Media File Server*.
- [D. Makaroff and Hutchinson, 1997] D. Makaroff, G. N. and Hutchinson, N. (1997). An evaluation of vbr disk admission algorithms for continuous media file server. *ACM Multimedia*.
- [D. Wrege and Liebeherr, 1996] D. Wrege, E. Knightly, H. Z. and Liebeherr, J. (1996). Deterministic delay bounds for vbr video in packet-switching networks: Fundamental limits and practical tradeoffs. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pages 352–362.
- [E. Knightly and Zhang, 1995] E. Knightly, D. Wrege, J. L. and Zhang, H. (1995). Fundamental limits and tradeoffs of providing deterministic guarantees to vbr video traffic. *Proceedings of ACM Sigmetrics*.
- [Feng, 1997] Feng, W. (1997). Rate-constrained bandwidth smoothing for the delivery of stored video. *Multimedia Networking and Computing*.
- [Feng and Sechrest, 1995a] Feng, W. and Sechrest, S. (1995a). Critical bandwidth allocation for delivery of compressed video. *Computer Communications*.
- [Feng and Sechrest, 1995b] Feng, W. and Sechrest, S. (1995b). Smoothing and buffering for delivery of prerecorded compressed video. *Proceedings of the IS&T/SPIE Symposium on Multimedia Computing and Networking*.
- [Ferrari and Verma, 1990] Ferrari, D. and Verma, D. (1990). A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*.
- [Gall, 1991] Gall, D. (1991). Mpeg: A video compression standard for multimedia applications. *Communications of ACM*, 34(4):47–58.
- [Grob, 1989] Grob, B. (1989). *Televisão e Sistema de Vídeo*. Editora Guanabara S.A.
- [H. Vin and Goyal, 1994a] H. Vin, A. G. and Goyal, P. (1994a). An observation-based admission control algorithm for multimedia servers. Technical report, University of Texas at Austin.

- [H. Vin and Goyal, 1994b] H. Vin, A. G. and Goyal, P. (1994b). A statistical admission control algorithm for multimedia servers. Technical report, University of Texas at Austin.
- [K. Lee and Yeom, 1999a] K. Lee, J. B. K. and Yeom, H. Y. (1999a). Caching strategies for continuous media server.
- [K. Lee and Yeom, 1999b] K. Lee, J. B. K. and Yeom, H. Y. (1999b). Exploiting caching for realtime multimedia systems. *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*.
- [Kang and Yeom, 1999] Kang, S. and Yeom, H. Y. (1999). Transmission of video streams with constant bandwidth allocation. *Computer Communications*, pages 173–180.
- [Kang and Yeom, 2000] Kang, S. and Yeom, H. Y. (2000). Statistical admission control for soft real-time vod servers. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2000)*,.
- [Knightly and Zhang, 1995] Knightly, E. and Zhang, H. (1995). Traffic characterization and switch utilization using a deterministic bounding interval dependent traffic model. *Proc. of IEEE INFOCOM*, pages 1137 – 1145.
- [Knightly and Zhang, 1997] Knightly, E. and Zhang, H. (1997). D-bind: An accurate traffic model for providing qos guarantees to vbr traffic. *IEEE/ACM Transactions on Network*.
- [M. Grossglauser and Tse, 1995] M. Grossglauser, S. K. and Tse, D. (1995). Rcdr: A simple and efficient service for multiple time-scale traffic. *Proceedings of the ACM SIGCOMM*, pages 219 – 230.
- [McManus and Ross, 1995] McManus, J. and Ross, K. (1995). Pre-recorded vbr sources in atm networks: Piecewiseconstant -rate transmission and transport. Technical report, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.
- [McManus and Ross, 1996] McManus, J. and Ross, K. (1996). Video on demand over atm: Constant rate transmission and transport. *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pages 1357 – 1362.

- [N. G. Duffield and Reibman, 1998] N. G. Duffield, K. K. R. and Reibman, A. R. (1998). Save: An algorithm for smoothed adaptive video over explicit rate networks. *IEEE/ACM Transactions on Network.*
- [Noll, 1999] Noll, P. (1999). Digital audio for multimedia.
- [P. Rangan and Ramanathan, 1992] P. Rangan, H. V. and Ramanathan, S. (1992). Designing an on-demand multimedia service. *IEEE Communications Magazine.*
- [Pan, 1995] Pan, D. (1995). A tutorial on mpeg/audio compression. *IEEE Multimedia Journal.*
- [R. Branden and Shender, 1994] R. Branden, D. C. and Shender, S. (1994). Integrated services in the internet architecture: an overview. Technical report, RFC 1633.
- [R. Rastogi and Silberschatz, 1996] R. Rastogi, B. O. and Silberschatz, A. (1996). On the design of a low-cost video-on-demand storage systems. *Multimedia Systems Journal.*
- [Rangan and Vin, 1991] Rangan, P. and Vin, H. (1991). Designing file system for digital video and audio. *In Proc. of the 13th ACM Symposium on Operating Systems Principles.*
- [Rangan and Vin, 1993] Rangan, P. and Vin, H. (1993). Designing a multi-user hdtv storage server. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.*
- [S. Gringeri and Basch, 1998] S. Gringeri, A. Lewis, B. K. and Basch, B. (1998). Traffic shaping, bandwidth allocation, and quality assessment for mpeg video distribution over broadband networks. *IEEE Network.*
- [S. H. G. Chan and Ko, 1998] S. H. G. Chan, F. A. T. and Ko, T. M. (1998). Bandwidth planning in near video-on-demand. *Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems.*
- [Tobagi and Chan, 1997] Tobagi, F. A. and Chan, S. G. (1997). Hierarchical storage systems for on-demand video servers. Technical report, Computer Systems Laboratory, Stanford University, Stanford, CA.
- [Vernick, 1996] Vernick, M. (1996). The design, implementation and evolution of the stony brook video server. Technical report, State University of New York, NY.

- [W. Feng and Sechrest, 1995] W. Feng, F. J. and Sechrest, S. (1995). Optimal buffering for the delivery of compressed prerecorded video. *Proceedings of the IASTED/ISMM International Conference on Networks*.
- [X. Li and Paul, 1999] X. Li, M. H. A. and Paul, S. (1999). Video multicast over the internet. *IEEE Network*.
- [Zhang and Ferrari, 1994] Zhang, H. and Ferrari, D. (1994). Improving utilization for deterministic service in multimedia communication. *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*.

# Apêndice A

## Anexo I

Nas próximas páginas deste anexo contém informações referente às características dos arquivos de vídeo utilizados nos testes realizados no servidor. As tabelas possuem características específicas referente à codificação dos arquivos. Também neste anexo estão os gráficos que mostram o tamanho dos quadros e a quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor dos arquivos.

Estes gráficos foram desenhados na mesma escala para que seja possível visualizar e comparar o grau de compressão de cada vídeo. As correspondentes características dos arquivos de vídeo encontram-se no capítulo 4.



## O Senhor dos Anéis 1 - parte 1

Características	Dados
Nome	Filme: O Senhor dos Anéis 1 - parte 1
Qps / Resolução	24, 576x240
Codificação vídeo	msmpeg4
Codificação áudio	mp3 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	474.028
Tempo de reprodução	4623 s

Tabela A.1: Características da primeira parte do filme Senhor dos Anéis.

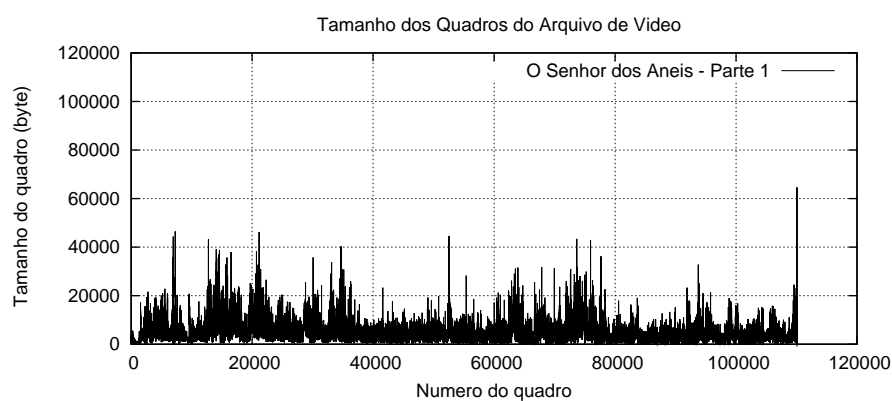


Figura A.1: Tamanho dos quadros do filme Senhor dos Anéis - parte 1.

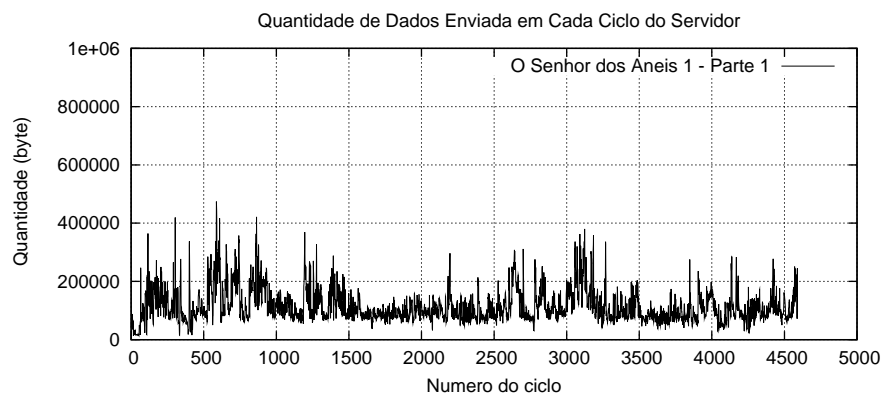


Figura A.2: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme Senhor dos Anéis - parte 1.

## O Senhor dos Anéis 1 - parte 2

Características	Dados
Nome	Filme: O Senhor dos Anéis 1 - parte 2
Qps / Resolução	24, 576x240
Codificação vídeo	msmpeg4
Codificação áudio	mp3 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	467.292
Tempo de reprodução	6151 s

Tabela A.2: Características da segunda parte do filme Senhor dos Anéis.

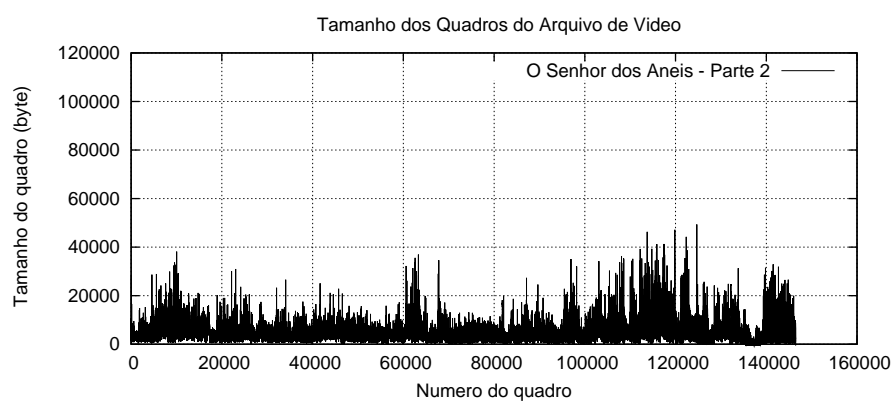


Figura A.3: Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - parte 2.

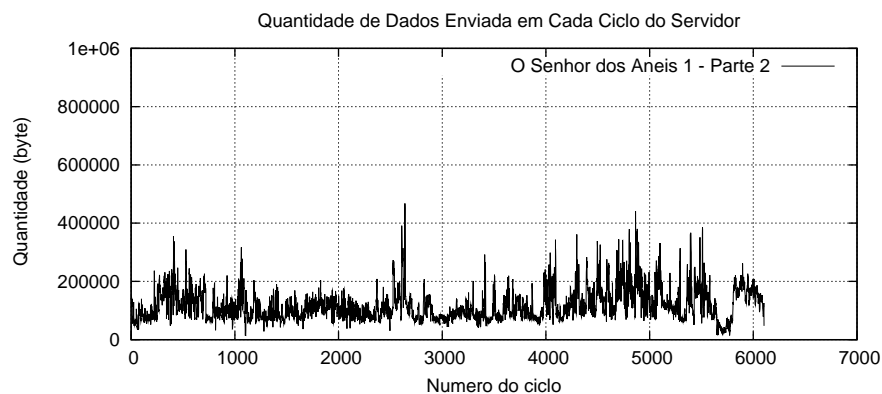


Figura A.4: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis - parte 2.

## Conan - O Bárbaro

Características	Dados
Nome	Filme: Conan - O Bárbaro
Qps / Resolução	24, 512x208
Codificação vídeo	msmpeg4
Codificação áudio	mp3 44,1kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	437.396
Tempo de reprodução	7822

Tabela A.3: Características do filme Conan O Bárbaro.

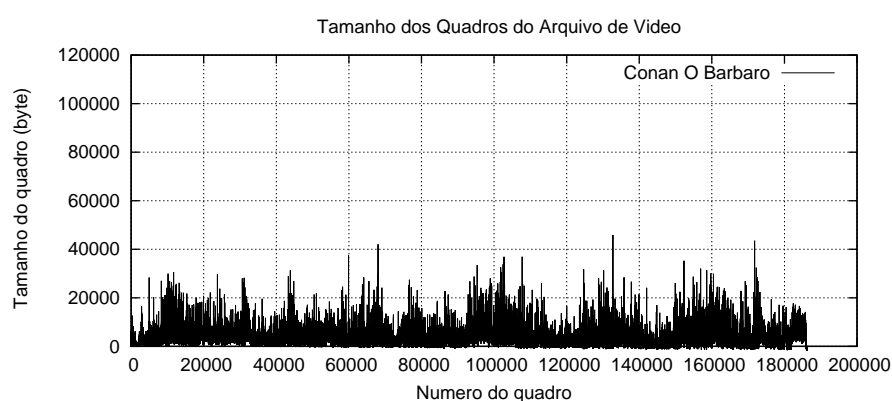


Figura A.5: Tamanho dos quadros do filme Conan O Bárbaro.

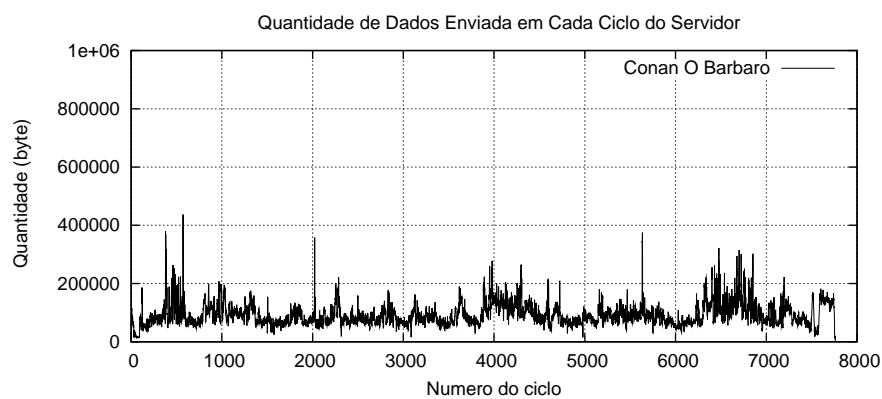


Figura A.6: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme Conan O Bárbaro.

## Shrek

Características	Dados
Nome	Desenho: Shrek
Qps / Resolução	25, 352x288
Codificação vídeo	msmpeg4
Codificação áudio	mp3 22,05kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	100.540
Tempo de reprodução	4057 s

Tabela A.4: Características do desenho Shrek.

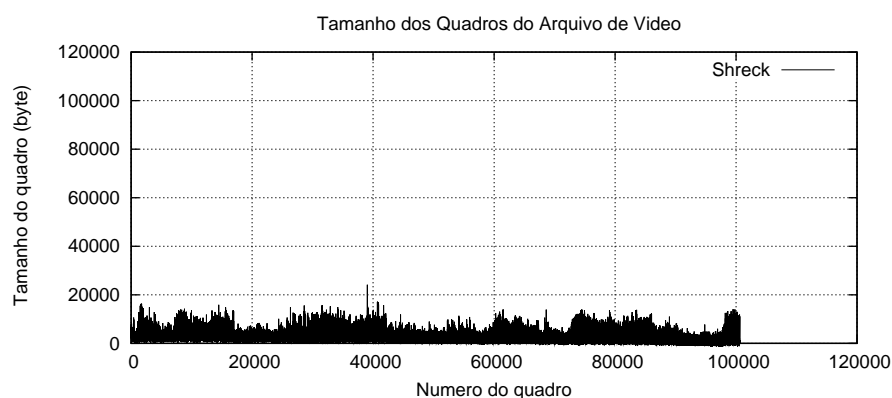


Figura A.7: Tamanho dos quadros do desenho Shrek.

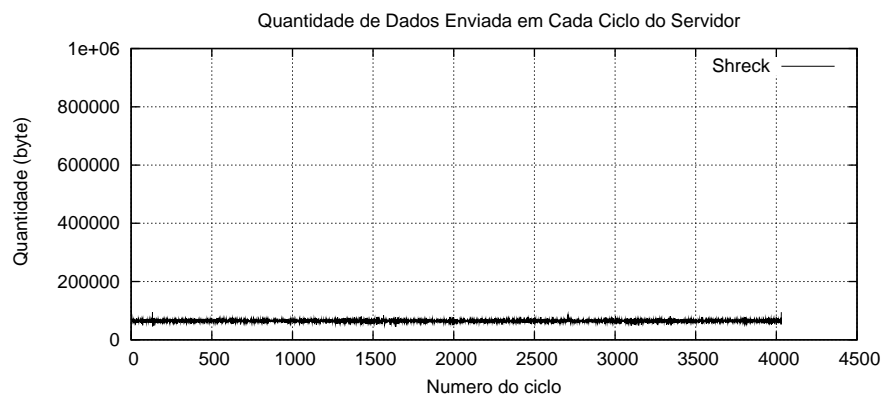


Figura A.8: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Shrek.

## Nightwish 1

Características	Dados
Nome	Show: Nightwish
Qps / Resolução	25, 720x400
Codificação vídeo	msmpeg4
Codificação áudio	mp3 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	437.070
Tempo de reprodução	4796 s

Tabela A.5: Características do show Nightwish.

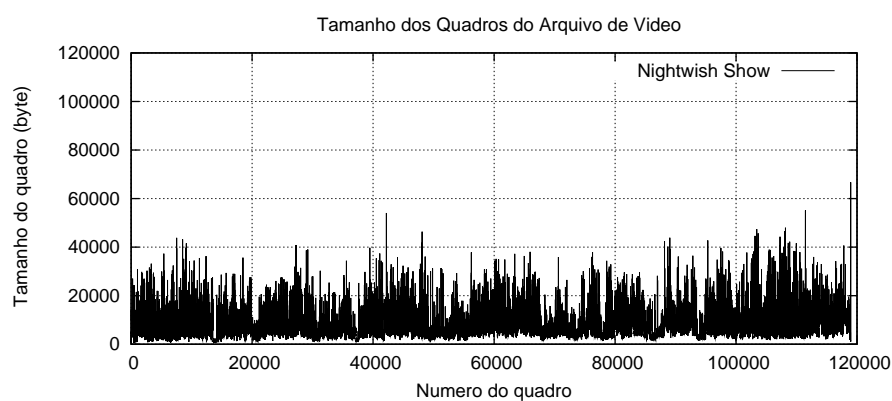


Figura A.9: Tamanho dos quadros do show Nightwish.

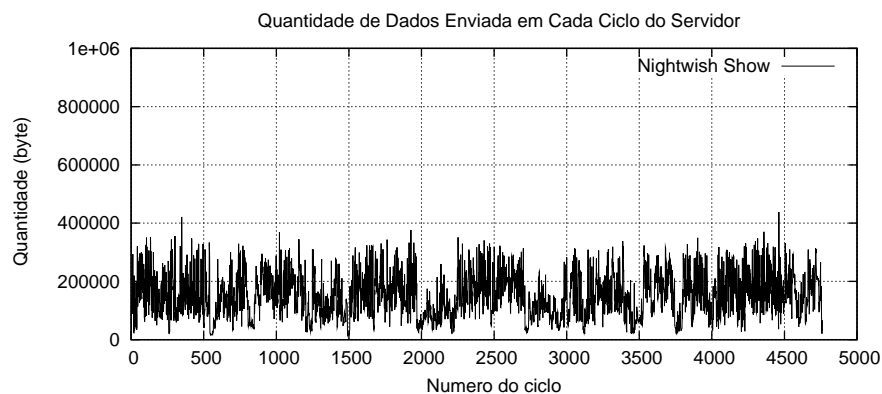


Figura A.10: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o show Nightwish.

## Read or Die - The Paper 1

Características	Dados
Nome	Desenho: Read or Die - The Paper 1
Qps / Resolução	24, 640x480
Codificação vídeo	mpegvideo
Codificação áudio	mp2 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	943.320
Tempo de reprodução	1905 s

Tabela A.6: Características do desenho Read or Die - The Paper 1.

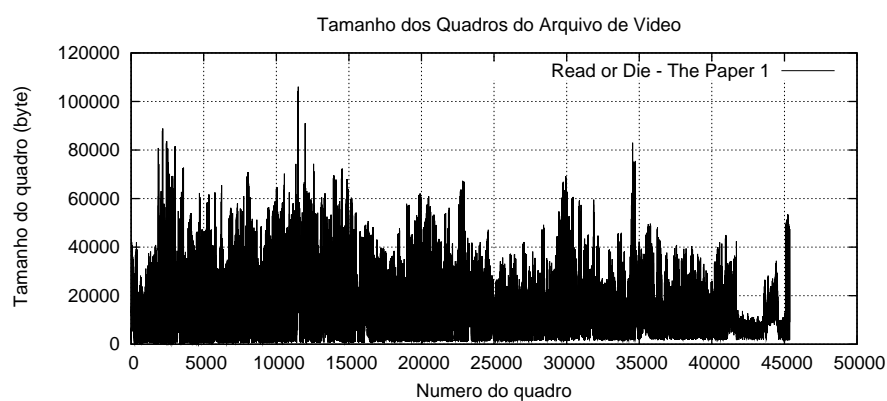


Figura A.11: Tamanho dos quadros do desenho Read or Die - The Paper 1.

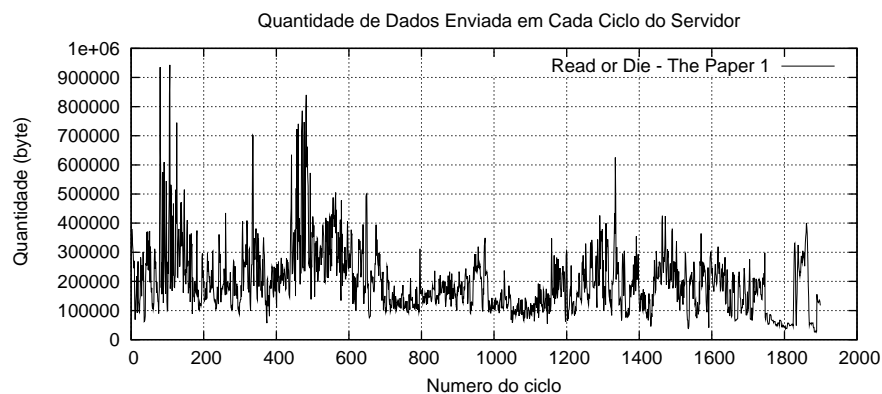


Figura A.12: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Read or Die - The Paper 1.

## Read os Die - The Paper 2

Características	Dados
Nome	Desenho: Read os Die - The Paper 2
Qps / Resolução	24, 640x480
Codificação vídeo	mpegvideo
Codificação áudio	mp2 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	722.550
Tempo de reprodução	1850 s

Tabela A.7: Características do desenho Read or Die - The Paper 2.

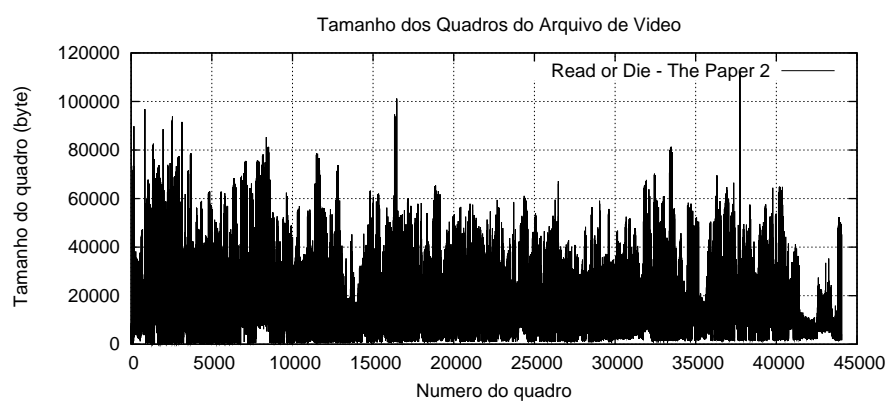


Figura A.13: Tamanho dos quadros do desenho Read or Die - The Paper 2.

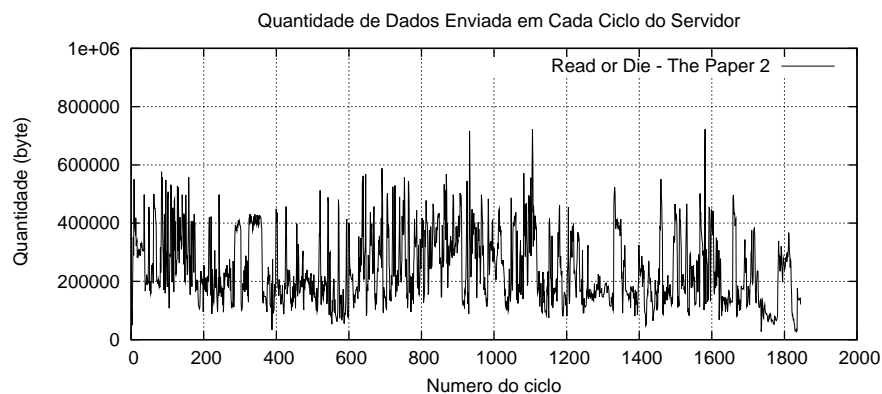


Figura A.14: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o desenho Read or Die - The Paper 2.

## O Senhor dos Anéis 1 (36 m. iniciais)

Características	Dados
Nome	Filme: O Senhor dos Anéis 1 (36 m. iniciais)
Qps / Resolução	24, 576x240
Codificação vídeo	mpegvideo
Codificação áudio	mp2 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	494.593
Tempo de reprodução	2163 s

Tabela A.8: Características do filme O Senhor dos Anéis 1, 36 minutos iniciais.

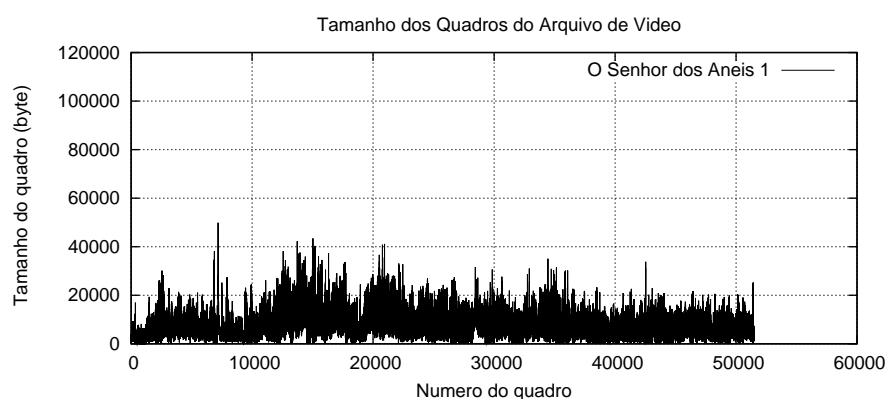


Figura A.15: Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - parte 1, 36 minutos iniciais.

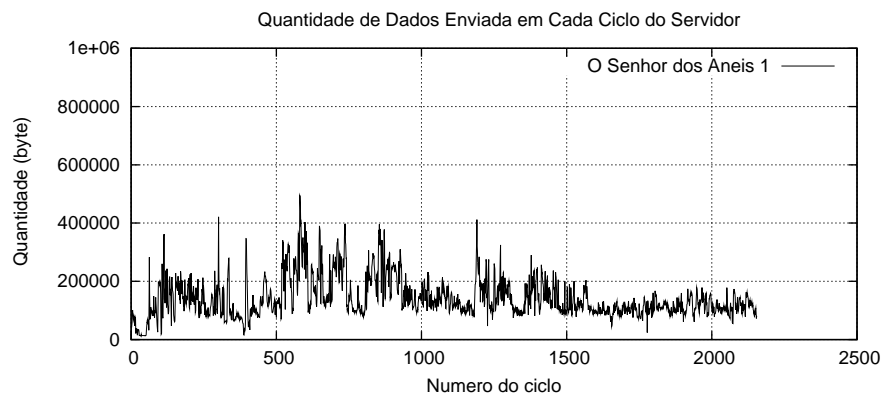


Figura A.16: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis parte 1, 36 minutos iniciais.



## O Senhor dos Anéis - As Duas Torres (15 m. iniciais)

Características	Dados
Nome	Filme: O Senhor dos Anéis - As Duas Torres (15 m. iniciais)
Qps / Resolução	24, 640x272
Codificação vídeo	mpegvideo
Codificação áudio	mp2 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	488.816
Tempo de reprodução	877 s

Tabela A.9: Características do filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais.

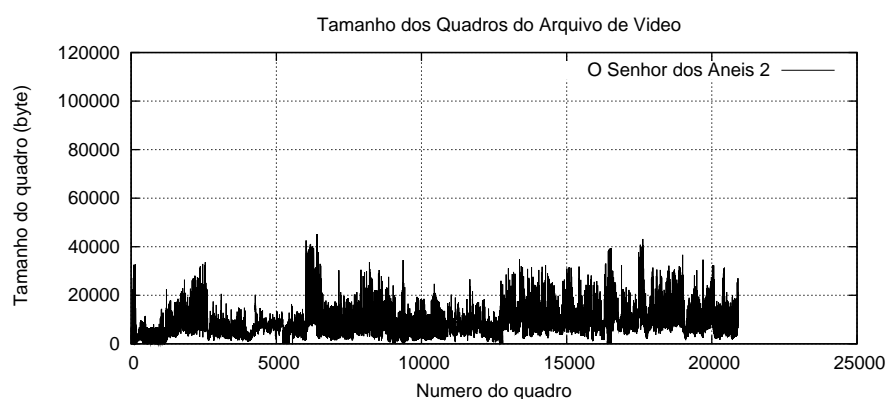


Figura A.17: Tamanho dos quadros do filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais.

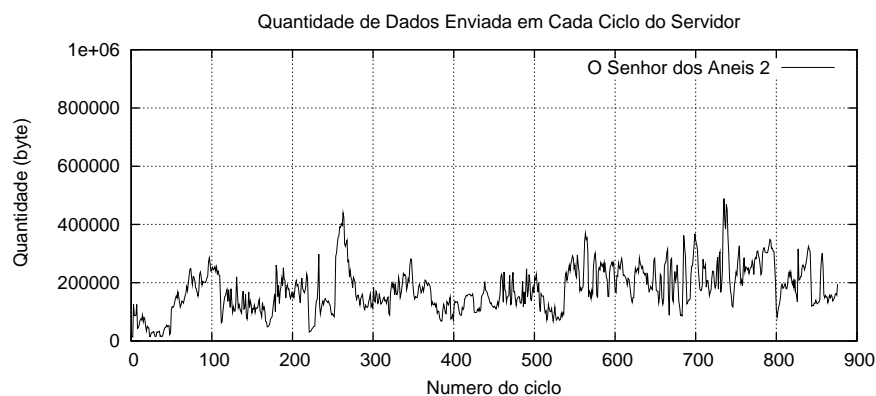


Figura A.18: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme O Senhor dos Anéis - As Duas Torres, 15 minutos iniciais.

## From The Hell

Características	Dados
Nome	Filme: From the Hell (30 minutos iniciais)
Qps / Resolução	24, 595x240
Codificação vídeo	mpegvideo
Codificação áudio	mp2 48kHz stereo
Banda ou <i>Buffer</i>	491.600
Tempo de reprodução	1755 s

Tabela A.10: Característica do filme From the Hell.

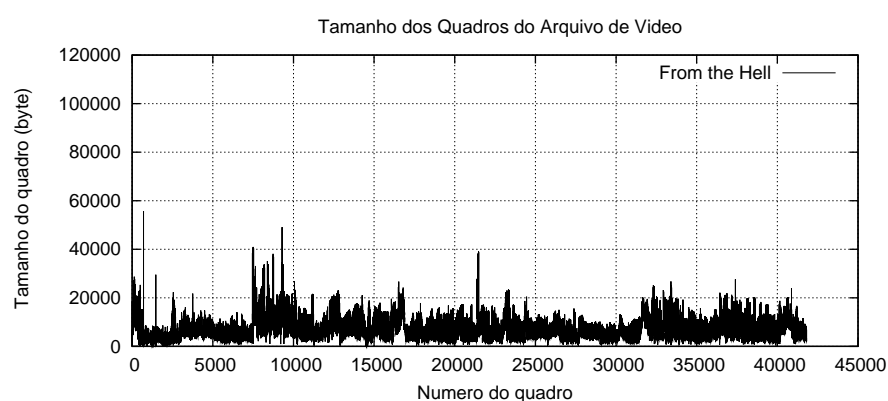


Figura A.19: Tamanho dos quadros do filme From the Hell, 30 minutos iniciais.

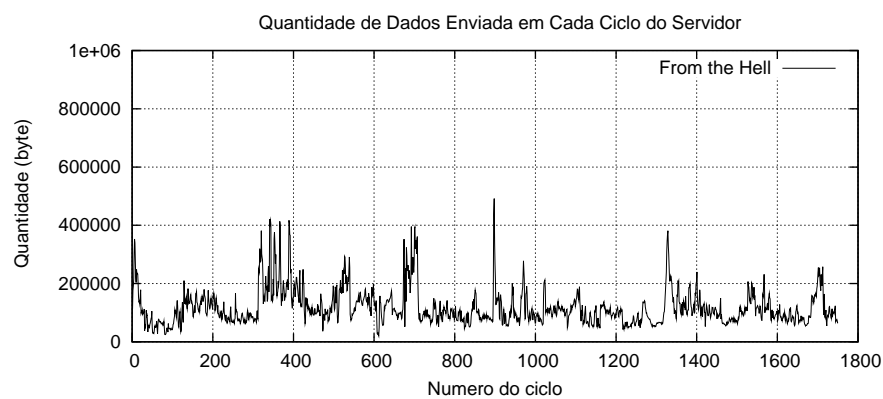


Figura A.20: Quantidade de dados enviada a cada ciclo do servidor para o filme From the Hell, 30 minutos iniciais.

## Apêndice B

As próximas páginas contém gráficos com as medições de quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor, obtidos nos testes de utilização de banda de rede discutidos no Capítulo 5. Cada figura mostra os gráficos de quatro dos cinco testes de cada conjunto de testes.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Read or Die - The Paper 1 considerando o valor da banda original.

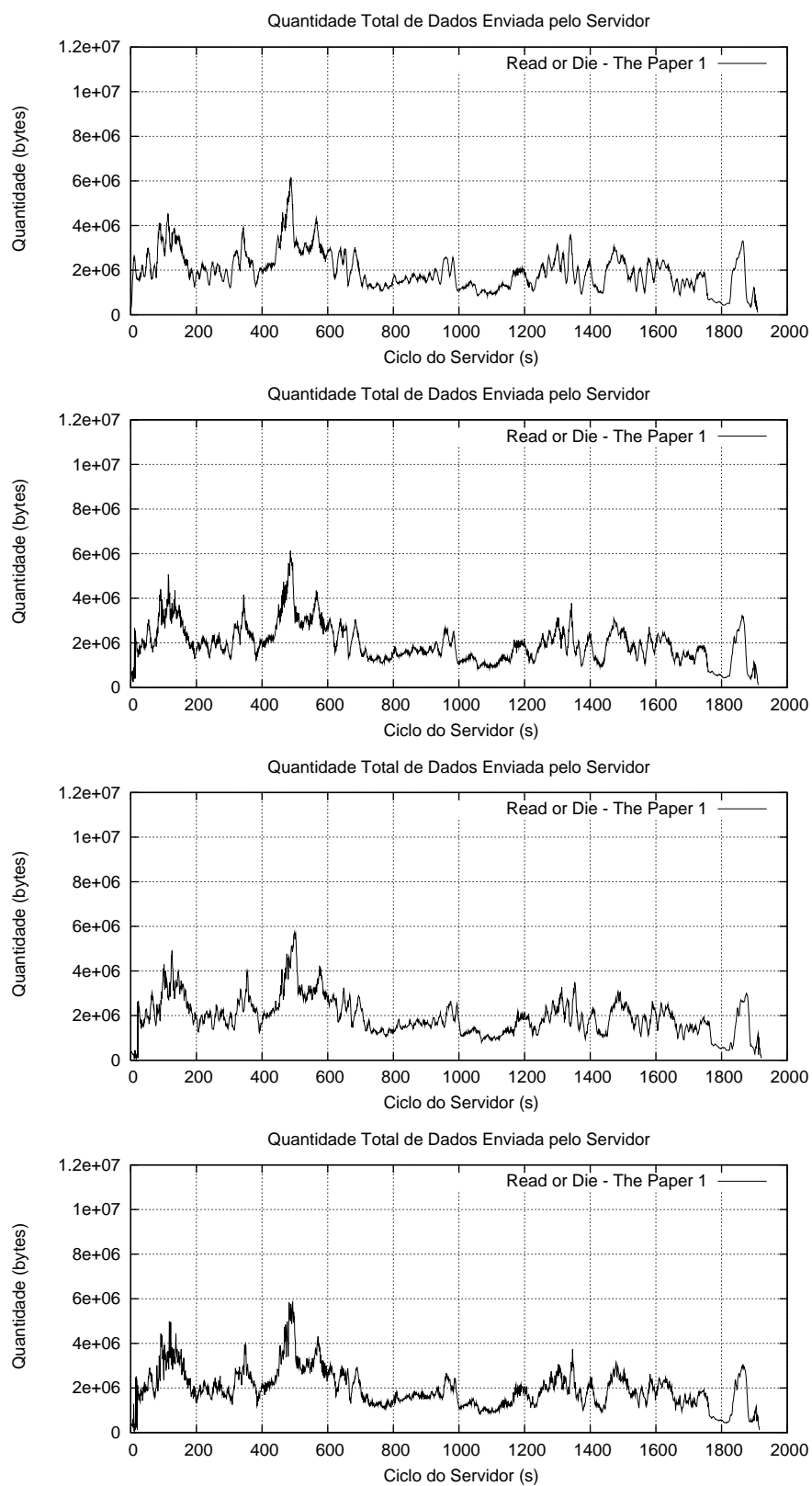


Figura B.1: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Senhor dos Anéis 2, primeiros 15 minutos, considerando o valor da banda original.

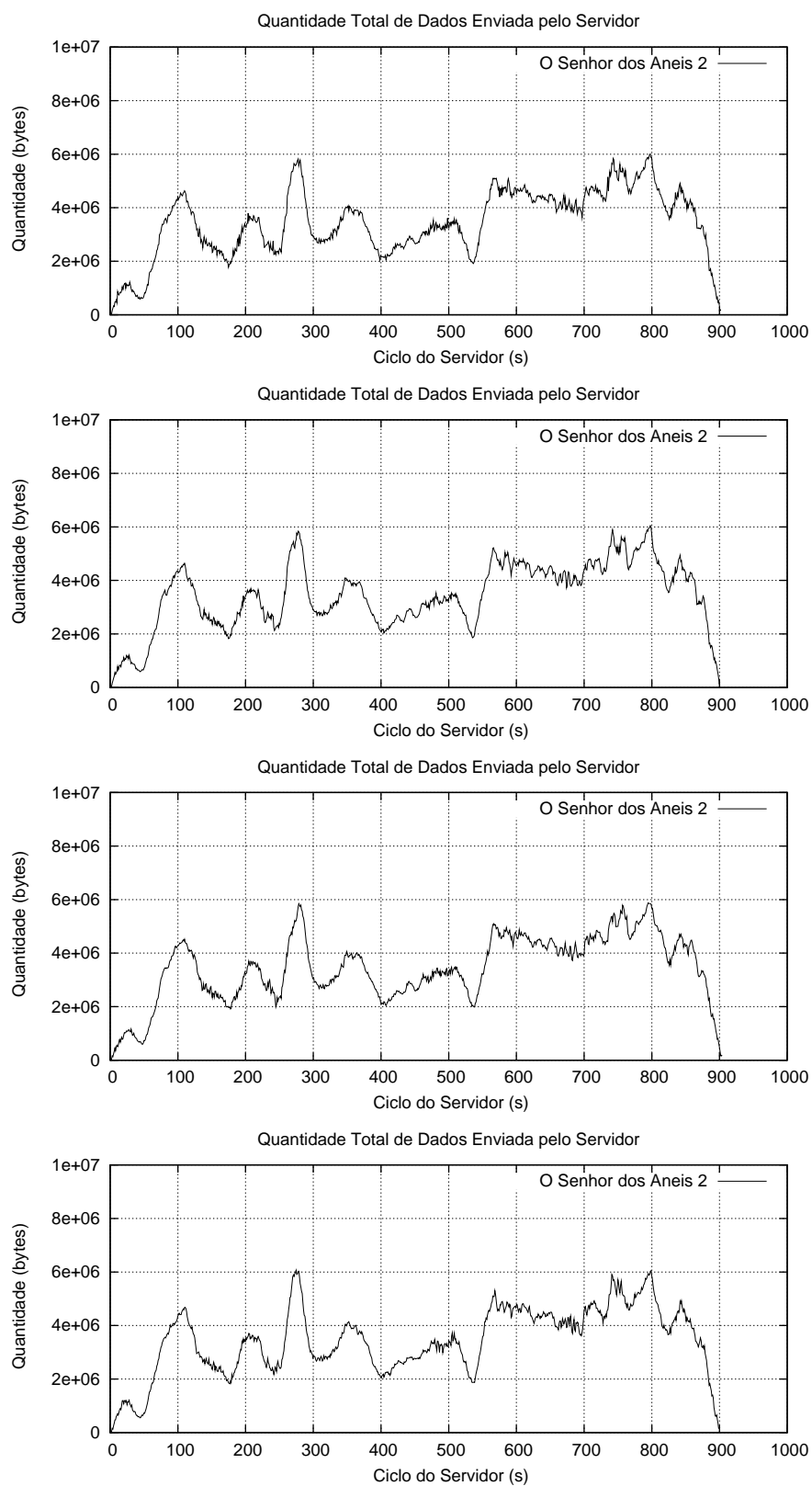


Figura B.2: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com 4 arquivos distintos, considerando o valor da banda original.

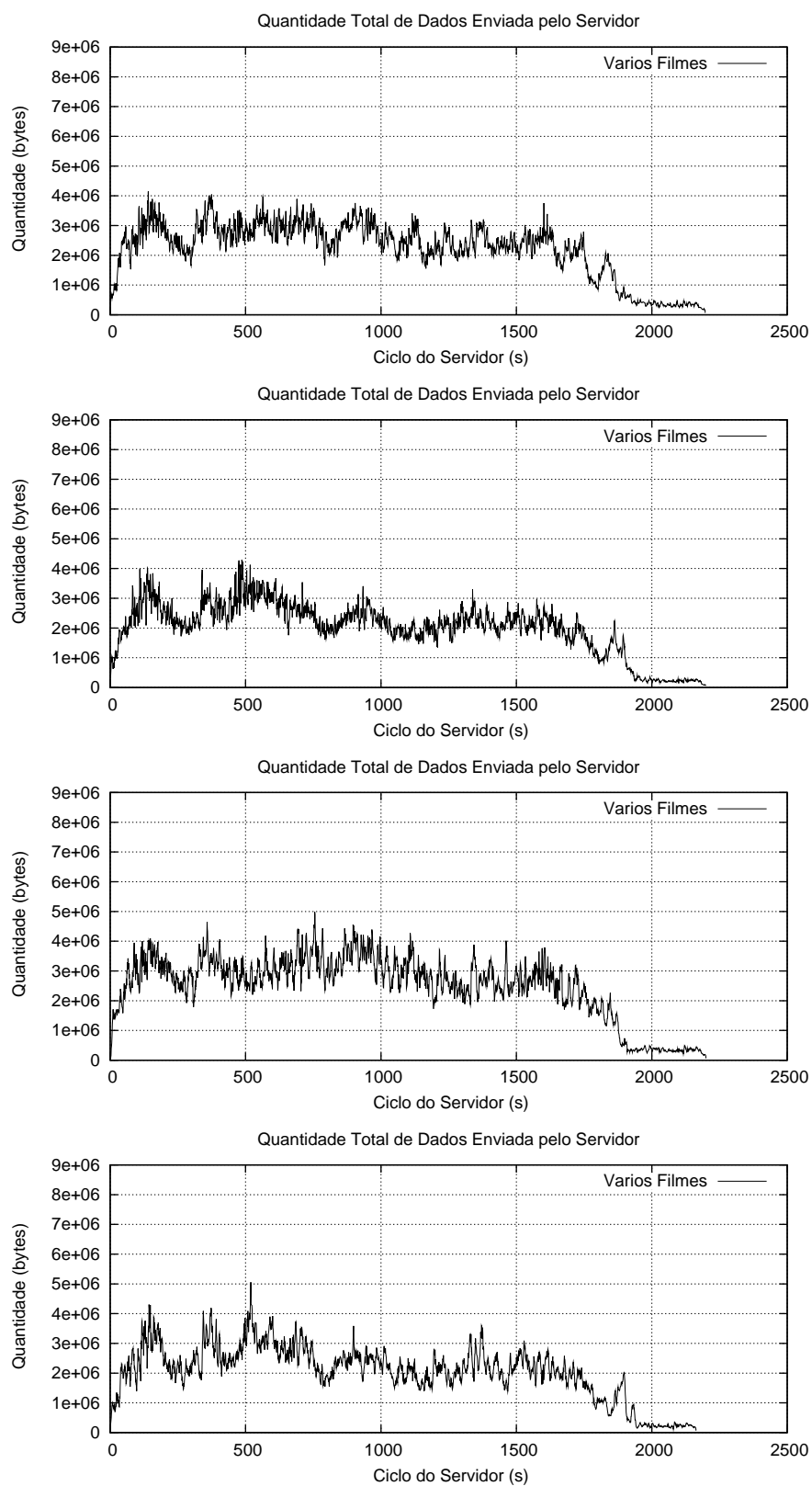


Figura B.3: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Read or Die - The Paper 1 considerando o valor da banda calculada segundo a equação 5.1.

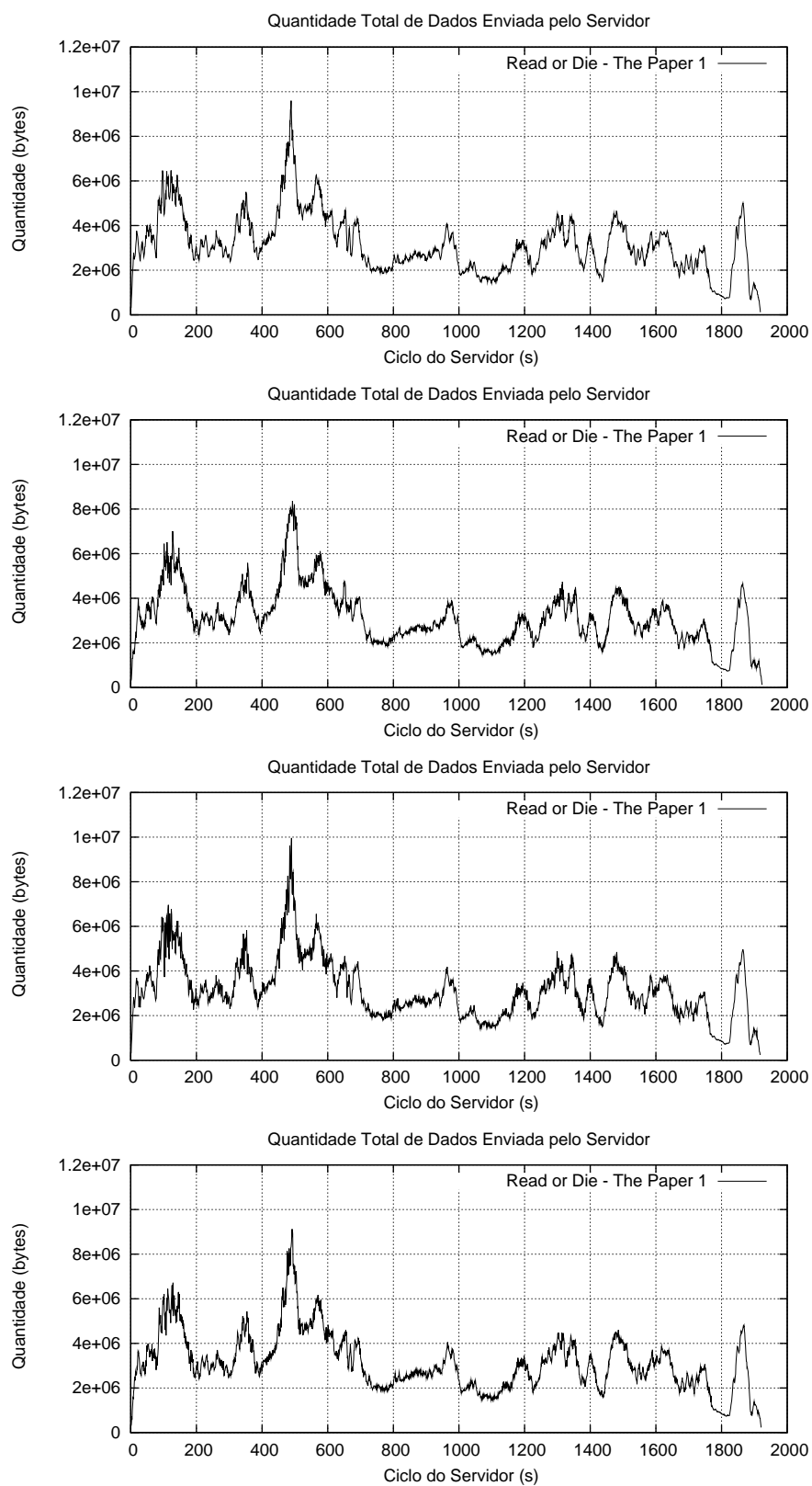


Figura B.4: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Senhor dos Anéis 2, primeiros 15 minutos, considerando o valor da banda calculado segundo a equação 5.1.

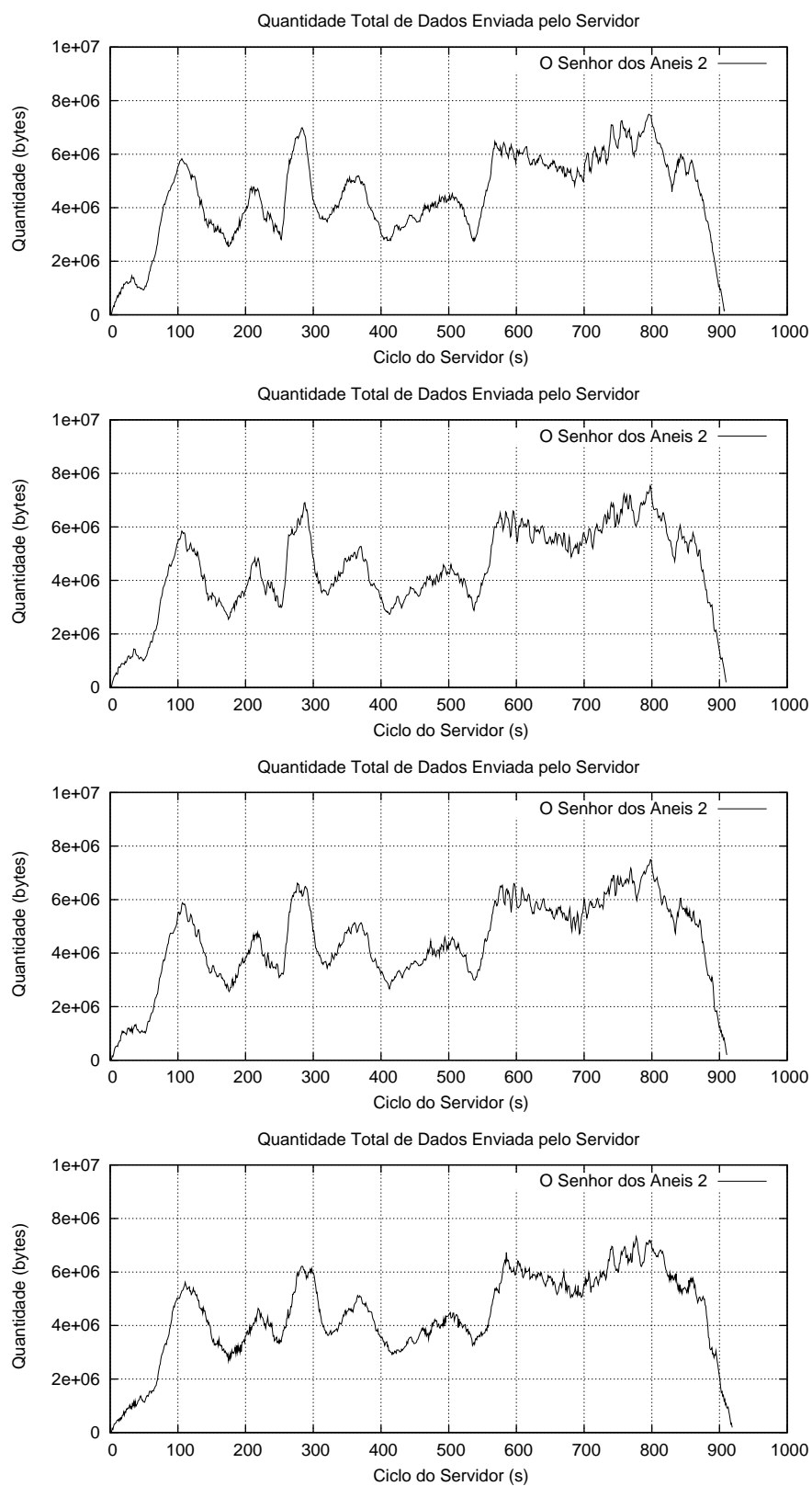


Figura B.5: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.



Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com 4 arquivos distintos, considerando o valor da banda calculada com a equação 5.1.

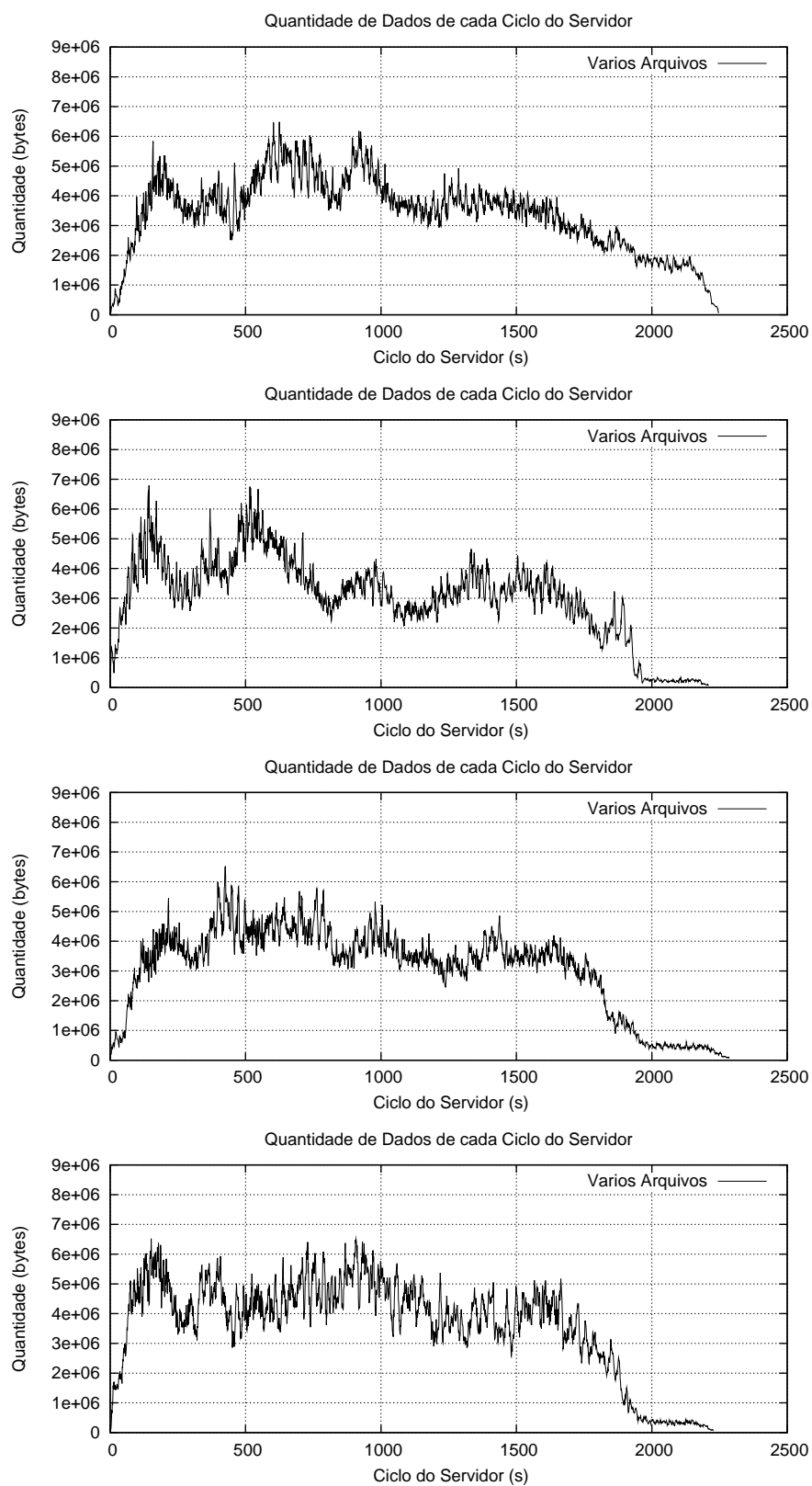


Figura B.6: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Read or Die - The Paper 1 considerando o valor da banda calculada segundo a equação 5.2.

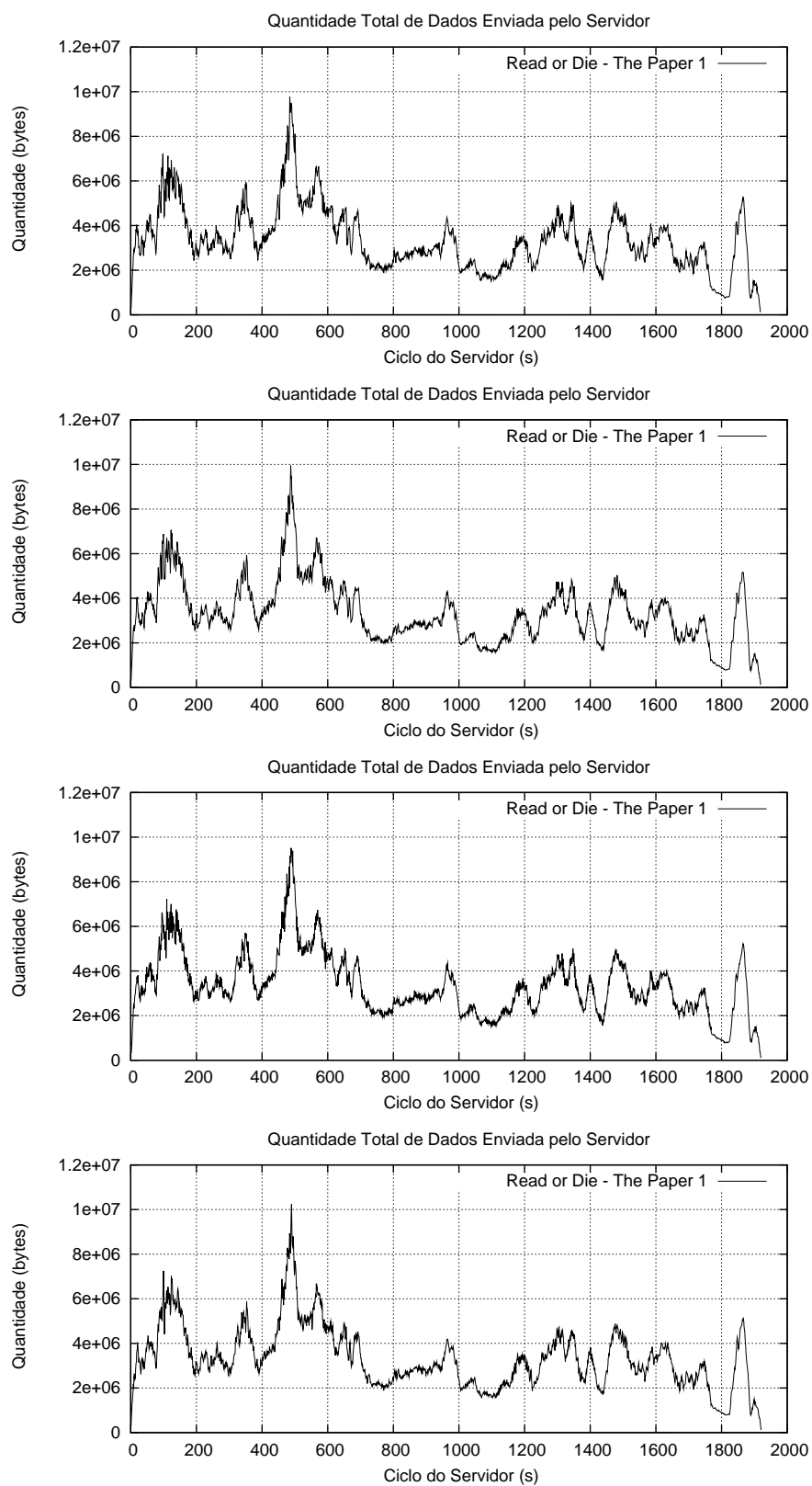


Figura B.7: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com o arquivo Senhor dos Anéis 2, primeiros 15 minutos, considerando o valor da banda calculado segundo a equação 5.2.

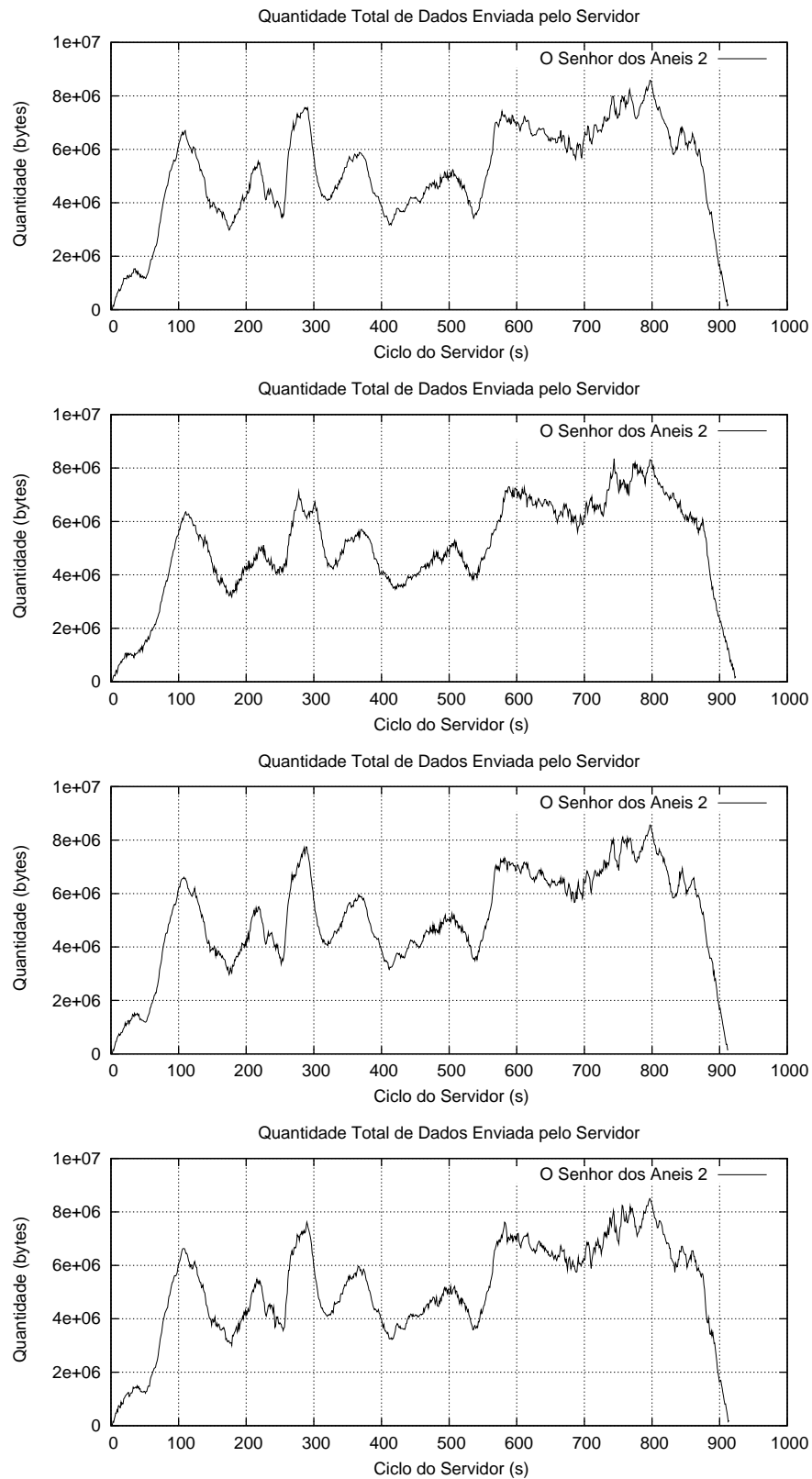


Figura B.8: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.

Gráficos do arquivo de log do servidor para os testes realizados com 4 arquivos distintos, considerando o valor da banda calculada com a equação 5.2.

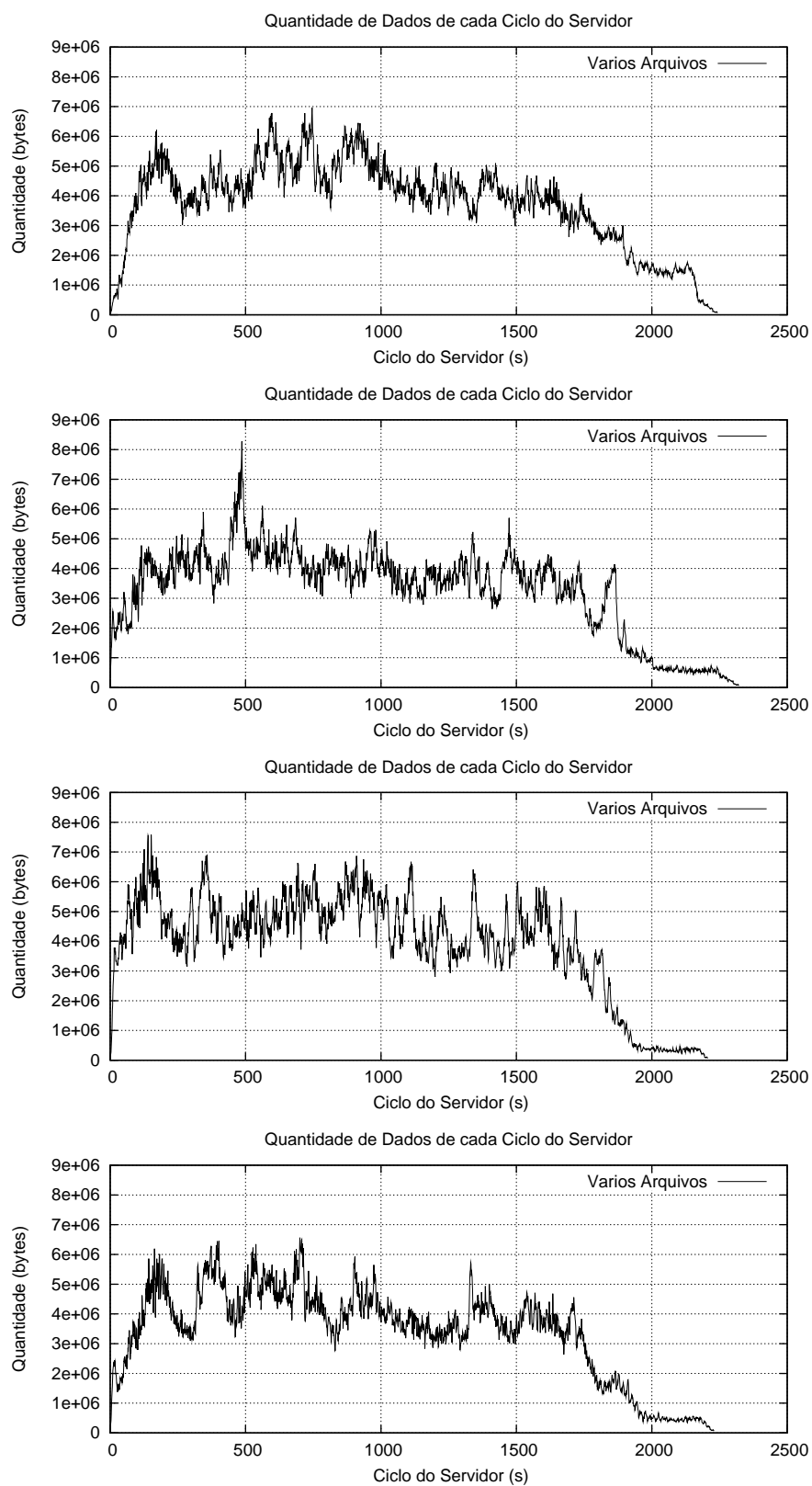


Figura B.9: Quantidade de dados enviados em cada ciclo do servidor.