



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



Edilson Vasconcelos Dantas Júnior

# Uma Nova Política para Distribuição de Conteúdo de Vídeo em Redes CDN

Manaus  
Dezembro de 2018

Edilson Vasconcelos Dantas Júnior

# Uma Nova Política para Distribuição de Conteúdo de Vídeo em Redes CDN

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luizzeiro Feitosa

**Manaus**  
**Dezembro de 2018**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D192u	Dantas Junior, Edilson Vasconcelos Uma Nova Política para Distribuição de Conteúdo de Vídeo em Redes CDN / Edilson Vasconcelos Dantas Junior. 2018 54 f.: il. color; 31 cm.  Orientador: Dr. Eduardo Luizeiro Feitosa Coorientador: Dr. César Augusto Viana Melo Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.  1. cdn. 2. distribuição de conteúdo. 3. infra-estrutura. 4. limitada. I. Feitosa, Dr. Eduardo Luizeiro II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
-------	---



PODER EXECUTIVO  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



# FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Uma Nova Política para Distribuição de Conteúdo de Vídeo em  
Redes CDN"**

**EDILSON VASCONCELOS DANTAS JÚNIOR**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos  
Professores:

Prof. Eduardo Luzeiro Feitosa - PRESIDENTE

Prof. César Augusto Viana Melo - MEMBRO INTERNO

Prof. Alexandre Passito de Queiroz - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 14 de Dezembro de 2018

## *Resumo*

Entre os mais variados conteúdos atualmente disponíveis para acesso na Internet, o vídeo é sem dúvida a mídia mais consumida. Para que isso seja possível, existem grandes provedores CDN (*Content Delivery Network*) com uma infraestrutura robusta capaz de entregar conteúdo de vídeo com baixa latência e alta disponibilidade. Entretanto, em regiões onde existem limitações de infraestrutura os grandes provedores CDN não estão presentes e existem poucos investimentos para expansão da capacidade de distribuição em tais localidades, como é o caso da Região Amazônica. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para avaliar o impacto de combinar estratégias de distribuição de conteúdo de vídeo, utilizando redes CDN, segmentação do conteúdo e distribuição seletiva considerando as condições de largura de banda do cenário, como meio de distribuição de conteúdo para cenários com infraestrutura limitada, visando garantir a distribuição de conteúdo multimídia a localidades com limitação de infraestrutura. Após analisar as condições de infraestrutura limitada e os principais cenários encontrados na literatura, foram escolhidos e implementados três (03) cenários de distribuição. Em seguida foi realizada a escolha do simulador, uma vez que a implementação de uma arquitetura CDN necessita de uma estrutura operacional complexa, o que envolve a utilização de equipamentos, links de comunicação e tecnologias para gerenciamento do conteúdo. Um terceiro momento foi realizada a medição do desempenho da rede CDN para identificar sua capacidade em atender os clientes com o conteúdo a ser replicado, além de possibilitar o monitoramento e gerenciamento do desempenho de uma rede CDN. De acordo com os resultados apresentados nas simulações, ao realizar a distribuição dos vídeos em todas as versões, sem a utilização de segmentação, os tempos necessários para transmissão foram os maiores apresentados, especialmente nos cenários com menor velocidade de largura de banda disponível. Mostrou ainda que ao se utilizar outras tecnologias em conjunto com redes CDN, as métricas obtidas eram melhores e que quando os vídeos distribuídos, foram segmentados, o processo de distribuição obteve métricas ainda melhores.

**Palavras-chave:** CDN, Distribuição de conteúdo, infra-estrutura limitada

## *Abstract*

Among the most varied content currently available for access on the Internet, video is undoubtedly the most consumed media. For this to be possible, there are large CDN (*Content Delivery Network*) providers with a robust infrastructure capable of delivering video content with low latency and high availability. However, in regions where there are infrastructure limitations, large CDN providers are not present and there are few investments to expand distribution capacity in such locations, as is the case in the Amazon Region. In this sense, the objective of this work was to propose a methodology to evaluate the impact of combining video content distribution strategies using CDN networks, content segmentation and selective distribution considering the scenario bandwidth conditions as a means of distributing content for scenarios with limited infrastructure, in order to guarantee the distribution of multimedia content to locations with infrastructure limitations. After analyzing the conditions of limited infrastructure and the main scenarios found in the literature, three (03) distribution scenarios were chosen and implemented. Then the choice of the simulator was made, since the implementation of a CDN architecture requires a complex operational structure, which involves the use of equipment, communication links and technologies for content management. A third step was to measure the performance of the CDN network to identify its ability to serve customers with the content to be replicated, as well as to enable the monitoring and performance management of a CDN network. According to the results presented in the simulations, when distributing the videos in all versions without the use of segmentation, the times required for transmission were the highest presented, especially in the scenarios with the lowest bandwidth available. It also showed that when using other technologies in conjunction with CDN networks, the obtained metrics were better and that when the distributed videos were segmented, the distribution process got even better metrics.

**Keywords:** CDN, Content distribution, limited infrastructure

# Lista de Figuras

2.1	Exemplo de uma rede <i>cdn</i> . . . . .	14
4.1	Cenário com a distribuição de todas as versões . . . . .	26
4.2	Cenário distribuição baseados nas características do cliente . . . . .	27
4.3	Cenário distribuição baseados na distribuição em segmentos . . . . .	28

# Lista de Tabelas

5.1 Bases de conteúdo de vídeos utilizadas . . . . . 32

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>9</b>
1.1	Motivação . . . . .	10
1.2	Justificativa . . . . .	11
1.3	Objetivos . . . . .	11
1.4	Contribuições Esperadas . . . . .	12
1.5	Organização do Trabalho . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Conceitos Básicos</b>	<b>13</b>
2.1	Content Delivery Network - CDN . . . . .	13
2.1.1	Escolha da localização de servidores substitutos . . . . .	14
2.1.2	Seleção de conteúdo . . . . .	15
2.1.3	Abordagens para replicação de conteúdo . . . . .	16
2.2	Adaptive Streaming . . . . .	17
2.2.1	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>20</b>
3.1	Distribuição de conteúdo de vídeo em todas as versões disponíveis . . . . .	20
3.2	Distribuição seletiva de conteúdo versionado . . . . .	21
3.3	Utilização de Adaptive Streaming na melhoria da distribuição de conteúdo . . . . .	22
3.4	Discussão dos Trabalhos . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Decisões de Projeto e Implementação</b>	<b>25</b>
4.1	Cenários de Distribuição . . . . .	25
4.2	Simulador . . . . .	28
4.3	Métricas . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Experimentos e Resultados</b>	<b>31</b>
5.1	Protocolo Experimental . . . . .	31
5.1.1	Ambiente de Experimentação . . . . .	31
5.1.2	Base de Vídeos . . . . .	31

5.1.3	Premissas . . . . .	32
5.2	Resultados . . . . .	32
5.2.1	Todas as versões do vídeo . . . . .	33
5.2.2	Versões Seleccionadas . . . . .	33
5.2.3	Distribuição em segmentos . . . . .	35
5.3	Discussão . . . . .	37
5.3.1	Cenário 256 Kbps . . . . .	37
5.3.2	Cenário 512 Kbps . . . . .	38
5.3.3	Cenário 1024 Kbps . . . . .	38
5.3.4	Análise das simulações . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>41</b>
6.1	Dificuldades Encontradas . . . . .	41
6.2	Contribuições Alcançadas . . . . .	42
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	42
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Codigos utilizados no simulador</b>	<b>46</b>
A.1	Tabela de arquivos - cenário arquivo único . . . . .	46
A.2	Tabela parcial de arquivos - cenário distribuição em segmentos . . . . .	46
A.3	Parte do script base.ned - largura de banda 256 kbps . . . . .	49
A.4	Script "networkGraph- descreve a topologia do cenário largura de banda 256 kbps . . . . .	51
A.5	Script desenvolvido em C# para geração dos arquivo "Traffic- arquivo que descreve a requisição dos segmentos pelos clientes . . . . .	51

# Capítulo 1

## Introdução

Entre os mais variados conteúdos atualmente disponíveis para acesso na Internet, o vídeo é sem dúvida a mídia mais consumida. Em relatório apresentado pela empresa Cisco [8], especializada em telecomunicações, o tráfego de vídeo representou, no ano de 2016, 73% de todo o tráfego da Internet. No mesmo relatório, a empresa prevê que até 2021 este valor cresça para 82%.

Um dos fatores que explicam esse crescimento é o desenvolvimento tecnológico dos dispositivos (*Smartphones*, *Tablets* e *SmartTVs*, por exemplo), que permitem o consumo de mídia digital através da Internet. Outro fator é o crescimento da velocidade média de largura de banda disponível para o usuário final. Segundo relatório de tráfego mais recente apresentado pela empresa [3], do primeiro quadrimestre de 2015 ao mesmo período de 2017 houve um crescimento de 44% na largura média de banda para acesso a Internet. No mesmo período, o relatório diz que houve um aumento de 63% para 82% na quantidade de conexões globais de acesso à Internet com velocidades acima de 4Mbps.

De forma geral, o conteúdo de vídeo é distribuído na Internet principalmente através de CDN (*Content Delivery Network*), redes estruturadas para fornecer conteúdo - imagens, vídeo, músicas, entre outros - aos usuários, de maneira transparente e descentralizada. Além disso, são oferecidos serviços que auxiliam a manter o desempenho da rede e a distribuição de largura de banda através da replicação de conteúdo [17]. Ainda de acordo com relatório elaborado pela empresa Cisco [8], CDNs têm prevalecido como um método dominante para entregar conteúdo de vídeo. No ano de 2016, 67% de todo tráfego de vídeo na Internet foi entregue através de CDNs e a estimativa é que até 2021 esse percentual aumente para 77%.

Com o crescimento da utilização de redes CDN, os grandes provedores continuaram a expansão de sua infraestrutura para fornecer conteúdo em velocidade e disponibilidade cada vez maior. A empresa Akamai, provedor que iniciou a oferta de serviço de CDN por volta do ano de 1998, possui hoje mais de 240.000

servidores em mais de 130 países em uma estrutura de mais 1.700 redes em todo o mundo, tendo tráfego estimado em mais de 30 terabits por segundo [2]. Contudo, todo esse crescimento e expansão é realizado em locais onde existe uma infraestrutura de boa qualidade, com capacidade de crescer a custos mensuráveis e com público capaz de pagar para consumir grandes volumes de conteúdo.

Diante de deste contexto, obtêm-se o seguinte questionamento que baliza a pesquisa deste trabalho: Em regiões com limitação de infraestrutura e baixa densidade populacional, seria inviável a utilização de tecnologias que melhorem o processo de distribuição de conteúdo multimídia, como por exemplo, redes CDN?

## 1.1 Motivação

Dispondo de servidores espalhados por várias regiões do mundo, os grandes provedores CDN possuem uma infraestrutura robusta capaz de entregar conteúdo de vídeo com baixa latência e alta disponibilidade. Entretanto, em regiões onde existem limitações de infraestrutura (largura de banda restrita, paradas não programadas de comunicação, quedas de energia, entre outros problemas) os grandes provedores CDN não estão presentes e existem poucos investimentos para expansão da capacidade de distribuição em tais localidades.

Um bom exemplo deste cenário é a Amazônia legal brasileira, uma região com grande extensão territorial, porém é caracterizada por limitações de infraestrutura e pelo baixo número de habitantes na região.

Sendo assim, é possível concluir que a região amazônica é um território extenso, com uma infraestrutura de comunicação não proporcional às suas dimensões e propensa a diferentes falhas e qualquer iniciativa governamental visando, por exemplo, melhorias na educação, ao tentar levar conteúdo de vídeo (aulas, palestras e apresentações) que ajude alunos do ensino médio a terem maiores chances de aprovação nos diversos processos seletivos existentes, teria grandes problemas ou até mesmo não conseguiria levar adiante tal iniciativa em virtude da infraestrutura de comunicação da região. Com base neste cenário, a solução aparentemente óbvia para melhorar tal situação seria o investimento de grandes valores financeiros em infraestrutura tecnológica de comunicação.

Porém, ao considerar o cenário de comunicação disponível, os seguintes questionamentos podem ser levantados: Existe a possibilidade de melhorar a distribuição de conteúdo utilizando a infraestrutura existente? É possível elaborar um esquema diferenciado de distribuição de conteúdo de vídeo para essas regiões? Em ambiente com infraestrutura limitada, o processo de distribuição de conteúdo de vídeo pode ser melhorado se a replicação de conteúdo utilizar conceitos de *adaptive streaming*, como a segmentação do vídeo em pequenos blocos? Existe melhoria na distribuição de conteúdo de vídeo ao se encaminhar apenas

as versões que melhor se adaptam às características da largura de banda dentro de um cenário com infraestrutura limitada?

## 1.2 Justificativa

A distribuição de conteúdo é diretamente influenciada pela largura de banda disponível, sendo que em localidades com infraestrutura de conexão precária este processo é afetado negativamente. Desta forma, o investimento em melhoria da infraestrutura de comunicação possibilita o aumento da largura de banda e no tempo de disponibilidade da rede, beneficiando o processo de distribuição de conteúdo de vídeo à regiões remotas. Porém, esta é uma alternativa complexa, pois envolve fatores como: recursos financeiros para investimento, disponibilidade de recursos tecnológicos de comunicação (centrais de comutação, cabeamento estruturado), infraestrutura elétrica e interesse por parte de entes governamentais e operadoras de telecomunicação. Tomando mais uma vez como exemplo a região da Amazônia legal, o investimento financeiro para abranger sua grande área territorial com pouca densidade populacional poderia ser considerado inviável por não representar um retorno financeiro expressivo para operadoras de telecomunicações em virtude da pouca densidade populacional.

Em cenários onde essa infraestrutura é precária e não se dispõe de recursos financeiros para melhorias, se faz necessária a adoção de outras estratégias para que o conteúdo de vídeo seja distribuído, mesmo em um ambiente com a infraestrutura limitada. Para atenuar essa questão, é proposto neste trabalho a utilização de estratégias de distribuição de conteúdo de vídeo, através de redes CDN em conjunto com outras tecnologias, como o *adaptive streaming*.

## 1.3 Objetivos

O objetivo desta dissertação é propor e avaliar uma abordagem para distribuição de conteúdo de vídeo, através do uso de rede CDN, segmentação e distribuição seletiva de conteúdo, em ambiente que simula condições limitadas de largura de banda, visando garantir a distribuição de conteúdo multimídia a localidades com limitação de infraestrutura.

Especificamente, pretende-se:

- Avaliar como a combinação de redes CDN, distribuição seletiva conforme as características da infraestrutura e segmentação de conteúdo podem ser empregadas em conjunto em um cenário com limitação de largura de banda.
- Implementar uma prova de conceito em um ambiente simulado, avaliando a

operação em diferentes cenários a fim de provar a efetividade da abordagem proposta.

## 1.4 Contribuições Esperadas

A principal contribuição deste trabalho consiste em propor uma abordagem para distribuição de conteúdo de vídeo utilizando redes CDN em conjunto com uma abordagem de distribuição seletiva considerando as características de largura banda e conceitos de *adaptive streaming*, como a segmentação do vídeo em pequenos blocos, a fim de contribuir positivamente no consumo de conteúdo de vídeo em ambiente com infraestrutura limitada.

## 1.5 Organização do Trabalho

Este documento está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta os conceitos básicos necessários para a compreensão desta dissertação. Os trabalhos relacionados são discutidos no Capítulo 3, objetivando apresentar e discutir trabalhos referentes aos conceitos apresentados no capítulo anterior. O Capítulo 4 apresenta a proposta da dissertação, na qual destaca-se de maneira detalhada uma visualização geral do mecanismo proposto. No capítulo 5 são listadas as atividades que serão realizadas para que o objetivo desta proposta seja alcançado.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e dificuldades encontradas no decorrer da pesquisa, assim como, a identificação de trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Conceitos Básicos

Este Capítulo apresenta os principais conceitos necessários para compreensão dos temas abordados nesta dissertação. São apresentadas as definições e classificações sobre *Content Delivery Network* - CDN, bem como alguns conceitos referentes à *adaptive streaming*.

### 2.1 Content Delivery Network - CDN

O conceito de CDN surgiu por volta de 1998, com a empresa Akamai, com o principal objetivo de evitar que um grande volume de tráfego, direcionado a um único servidor, prejudicasse seu desempenho ou mesmo o tirasse do ar [18]. Ao longo dos anos seguintes, outras empresas observaram que esta infraestrutura era uma alternativa que possibilitava a redução de investimentos na aquisição de hardware, além de ser mais confiável e escalável [9]. A RFC (*Request For Comments*) 6770 [23] define que CDN são comumente usadas para melhorar a experiência do usuário final de um serviço de entrega de conteúdo, mantendo o custo a um nível razoável.

Redes CDN são compostas por uma infraestrutura de comunicação distribuída, onde existem servidores de origem de conteúdo (*origin server*) e servidores substitutos (*surrogate servers*) espalhados por diversas localidades. Os servidores substitutos recebem o conteúdo replicado pelos servidores de origem e o encaminham aos usuários do serviço [24]. A Figura 2.1 apresenta um cenário abstrato de funcionamento da distribuição de conteúdo entre um servidor principal (origem) e servidores substitutos localizados próximos aos usuários finais.

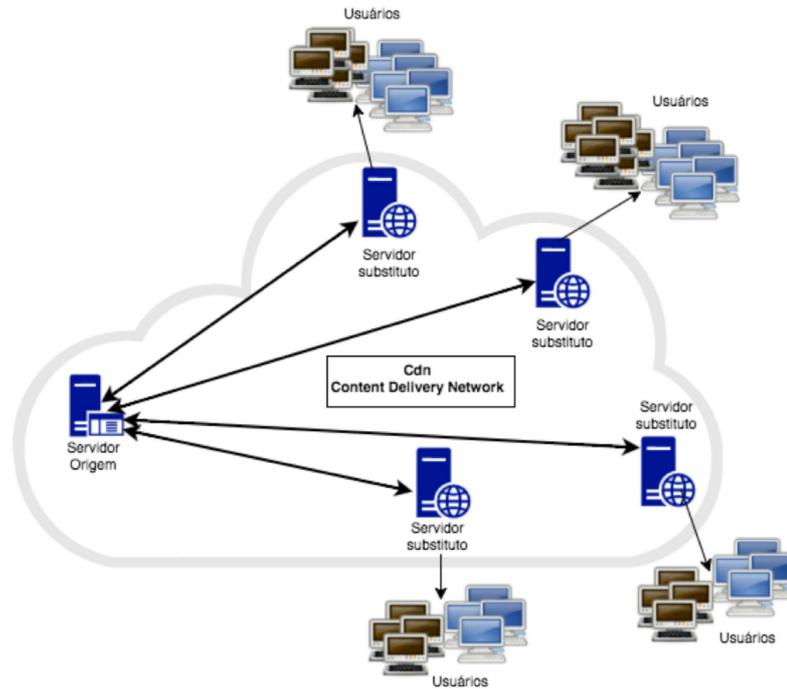


Figura 2.1: Exemplo de uma rede CDN

Nesse cenário, a solicitação do cliente é direcionada para os servidores substitutos mais próximos ou com melhor disponibilidade, através da estrutura de roteamento. A escolha dos locais onde estarão os servidores réplica varia conforme a topologia da rede CDN e a implementação de distribuição utilizada.

As seções seguintes identificam as principais organizações de replicação de conteúdo em ambientes CDN bem como estratégias de replicação de conteúdo.

### 2.1.1 Escolha da localização de servidores substitutos

A escolha da melhor localização dos servidores substitutos, também conhecido como *surrogate placement*, é um processo importante para cada infraestrutura de CDN, pois a localização destes está relacionada a aspectos importantes no processo de entrega de conteúdo. Determinar os melhores locais de rede para servidores substitutos é crítico para o desempenho da replicação e distribuição de conteúdo [7].

O posicionamento adequado do servidor substituto pode reduzir o número de servidores necessários e o tamanho do conteúdo replicado para estes, o que pode resultar no aumento da qualidade dos serviços e reduzir os custos operacionais de uma rede CDNs [20]. Neste contexto, vários algoritmos de posicionamento podem ser utilizados [4] (como o *Greedy*, *HotZone*, *HotSpot*, *Random* e *Tree-based*).

Esses algoritmos especificam o local mais adequado dos servidores substitutos que serão utilizados para replicação de conteúdo na rede CDN de acordo com o tipo de conteúdo a ser replicado e a topologia da rede, a fim de obter melhor desempenho com baixo custo de infra-estrutura .

### 2.1.2 Seleção de conteúdo

Em uma rede CDN, o servidor de origem possui o conteúdo para atender às solicitações dos usuários e a partir destas solicitações este conteúdo passa a ser replicado aos servidores substitutos, que ficam localizados mais próximos ao usuário [10]. Contudo, de forma a garantir a melhor utilização dos recursos de rede ou o melhor processo de resposta às requisições dos usuários, é necessário um processo de seleção do conteúdo a ser replicado, o que pode ser feito de duas maneiras: o processo ser completo ou parcial.

Na seleção do conteúdo completa, todo o conteúdo armazenado no servidor de origem é enviado aos servidores substitutos. A maior vantagem é sua simplicidade. No entanto, sua implementação é restritiva, pois implica em recursos de *hardware* de maior capacidade para armazenamento de grande quantidade de dados, bem como maior demanda por largura de banda para replicação do conteúdo. Além disso, em caso de conteúdo dinâmico seria um grande volume de tráfego constante para manter os servidores réplica com conteúdo atualizado [7].

Na seleção parcial, os servidores recebem parcialmente o conteúdo disponível no servidor de origem (como por exemplo, apenas imagens de páginas *Web*). Esse tipo de seleção apresenta melhor desempenho quando comparado a seleção completa, pois diminui a demanda por armazenamento e largura de banda devido à alteração com menor frequência do conteúdo replicado. O processo de seleção parcial de conteúdo pode ser subdividido em: empírico, baseado em popularidade e baseado em cluster [17].

Na seleção parcial empírica, o administrador da rede CDN seleciona empiricamente, a partir de critérios como experiência e previsão, o conteúdo a ser encaminhado para os servidores réplica. A principal desvantagem desta está na incerteza da escolha do conteúdo correto. Na seleção parcial baseada em popularidade, os itens de conteúdo mais populares são enviados para os servidores réplica. Essa abordagem pode ser demorada, pois as estatísticas de requisições de cada item de conteúdo podem apresentar variação de popularidade. Além disso, um conteúdo recém hospedado no servidor de origem não possui nenhum histórico estatístico que permita classificar sua popularidade.

Na seleção baseada em cluster, o conteúdo é agrupado com base na correlação ou na frequência de acesso e é replicado em unidades de grupos de conteúdo. Esse agrupamento de conteúdo pode ser baseado em sessões ou baseado em URL dos usuários. No agrupamento de conteúdo baseado em sessão do usuário, os

arquivos de log de acesso são usados para agrupar um conjunto de sessões de navegação dos usuários que mostram características semelhantes. Essa abordagem é útil para determinar os grupos de usuários com padrões de navegação semelhantes e os grupos de páginas com conteúdo relacionado. O agrupamento baseado em URL é realizado com base na topologia do site que hospeda o conteúdo. Os objetos mais populares são identificados e replicados em unidades de *clusters*, onde a distância de correlação entre cada par de URLs é baseada em uma determinada métrica de correlação, estabelecida pela rede CDN. O conteúdo é agrupado usando a topologia do site (que é considerada como um grafo direcionado) em que as páginas Web são vértices e os hiperlinks são arcos. As páginas Web (URLs) são agrupadas, eliminando os arcos entre páginas diferentes. Ao usar esse tipo de agrupamento, o desempenho dos serviços Web pode ser significativamente aprimorado, porém essa abordagem de agrupamento apresenta complexidade envolvida para ser implantada.

Em todas as formas apresentadas, a escolha da estratégia de gerenciamento adequada de seleção e replicação de conteúdo deve observar a relação entre o tipo de conteúdo em questão e a eficiência de entrega deste aos usuários finais. Uma abordagem de seleção de conteúdo apropriada pode auxiliar na redução do tempo de *download* do cliente e da carga do servidor.

### 2.1.3 Abordagens para replicação de conteúdo

Dado um conjunto de servidores substitutos devidamente colocados em uma infraestrutura CDN e um conteúdo escolhido para entrega, escolher uma prática eficiente de replicação de conteúdo é crucial. A replicação de conteúdo é realizada usando as seguintes abordagens [7] [17]:

- *Cooperative push-based*: essa abordagem é baseada na pré-busca de conteúdo para os servidores substitutos. O conteúdo é enviado aos servidores substitutos a partir da origem, que cooperam entre si para reduzir a carga de replicação. Nesse modelo, a rede CDN mantém um mapeamento entre o conteúdo e os servidores substitutos, e cada solicitação é direcionada para o servidor substituto mais próximo ou, caso contrário, a solicitação é direcionada para o servidor de origem.
- *Uncooperative pull-based*: nessa abordagem, as solicitações do cliente são direcionadas para seus servidores substitutos mais próximos. Se houver uma falha de cache, os servidores substitutos extraem conteúdo do servidor de origem. Os provedores de CDN mais populares (por exemplo, Akamai e Mirror Image) usam essa abordagem [7]. A desvantagem dessa abordagem é que um servidor ideal nem sempre é escolhido para atender à solicitação de conteúdo.

- *Cooperative pull-based*: nesta abordagem, os servidores substitutos cooperam entre si para obter o conteúdo solicitado em caso de falha no cache. Essa abordagem é reativa, pois um objeto de dados é armazenado em cache somente quando o cliente o solicita.

## 2.2 Adaptive Streaming

O processo de visualização de conteúdo multimídia, especialmente de vídeo, apresenta sensibilidade em relação a largura de banda disponível e a carga de utilização no momento da visualização de um vídeo. Para atenuar essas características podem ser utilizadas tecnologias que visam diminuir o tempo de espera necessário para consumir tal tipo de conteúdo. Dentre elas, a mais recente é o *Adaptive Streaming* sobre *HTTP (Hypertext Transfer Protocol)*, que utiliza o versionamento do vídeo disponível em várias taxas de bits e divide a execução do vídeo em pequenos segmentos contendo alguns segundos de tempo de reprodução. Os vários segmentos são organizados em múltiplas versões, onde cada versão é ajustada para uma condição de execução específica (largura de banda, resolução do vídeo, por exemplo) [21].

Na implementação do *Adaptive Streaming*, existem diversas técnicas, algumas criadas e mantidas por empresas de forma proprietárias, mas também padrões abertos como o *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)* [15].

### 2.2.1 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)

O Dynamic Adaptive Streaming sobre HTTP (DASH) é um abordagem que implementa uma padronização de uso para *streaming* adaptativo compatível com o protocolo HTTP, definindo a organização do MPD, formatos de segmentos e guias de implementação [21].

O DASH destina-se a suportar um modelo de transmissão de mídia para entrega de conteúdo de mídia em que o controle é exclusivamente do cliente. Os clientes podem solicitar dados usando o protocolo HTTP a partir de servidores da Web padrão que não possuem recursos específicos do DASH [1].

O DASH adota alguns termos e definições de funcionamento, um de seus componentes é o *Media Presentation Description* (MPD), que fornece as informações necessárias para que os clientes estabeleçam um fluxo dinâmico adaptável sobre HTTP. O MPD contém os metadados, como uma URL HTTP de cada segmento, para fazer uma requisição ao segmento. O segmento (*chunk*) contém uma certa duração de dados de mídia e metadados para decodificar e apresentar o conteúdo de mídia incluído. Cada representação consiste em vários segmentos de mídia e representa a opção de codificação, como taxa de bits codificada, resolução es-

pacial e temporal. A representação é identificada por meio de um identificador exclusivo (ID). O cliente pode obter o número disponível de representações e as propriedades correspondentes acessando o MPD.

A Figura 2.2, retrata o funcionamento do MPD no processo requisições entre cliente e servidor DASH.

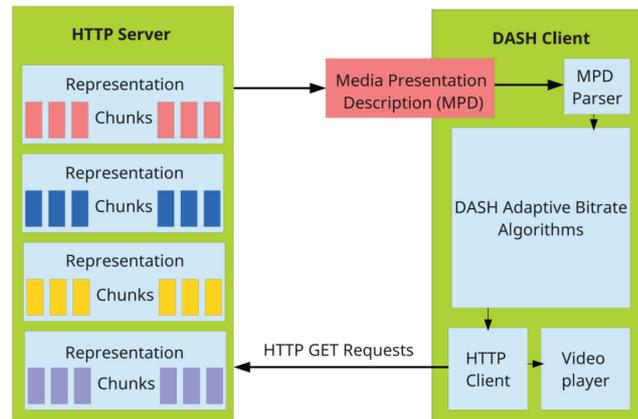


Figura 2.2: Arquitetura DASH comunicação entre servidor e cliente [14]

A preparação do conteúdo DASH prepara o conteúdo de mídia em um modo de criação de segmento *offline* ou em uma criação de segmento reativo. No modo de criação de segmento off-line, o MPD e os segmentos de mídia para as representações são criados antes de fornecer acesso do cliente ao conteúdo. No modo de criação de segmento reativo, o provedor de conteúdo constrói os segmentos de mídia de acordo com a solicitação HTTP GET recebida de um arquivo de mídia, como um arquivo de vídeo, que contém várias representações. No segundo modo, a solicitação do cliente pode conter a hora de início do segmento, a duração do segmento e o nível de representação. O provedor de conteúdo primeiro analisa a solicitação HTTP e encapsula parte de um arquivo de vídeo em um segmento, conforme especificado na solicitação HTTP. Um provedor de conteúdo DASH envia dados de mídia compatíveis com DASH para um servidor DASH para *streaming*. O servidor DASH pode ser um servidor da Web padrão para fornecer *streaming* adaptativo dinâmico em clientes HTTP para DASH. O cliente DASH primeiro acessa o MPD para obter a representação e o endereço para localizar cada segmento para fazer uma solicitação de segmento HTTP GET. O cliente solicita e recebe continuamente os segmentos do servidor DASH. O DASH também permite que o cliente solicite segmentos de mídia a partir de diferentes representações para reagir a vários recursos da rede. A adaptação da taxa pode ocorrer a cada vez antes de solicitar um segmento [16]. A Figura 2.3, retrata o

funcionamento do *streaming* adaptativo na comunicação entre um cliente e servidor DASH, onde no início da transmissão, o cliente solicita o MPD ao servidor HTTP, e após recebê-lo, inicia a solicitação de conteúdo, requisitando ao servidor o primeiro bloco de segmentos (no caso do exemplo descrito na figura, os primeiros segmentos solicitados são os de mais baixa qualidade), conforme o algoritmo Dash presente no cliente detecta as características do vínculo de comunicação com o servidor, o cliente passa a solicitar novos blocos de segmentos com qualidades superiores, até que o algoritmo detecta que houve uma redução de largura de banda no canal de comunicação com o servidor e então, solicita segmentos de menor qualidade, porém, quando o algoritmo detecta foi restituída a largura de banda disponível no canal de comunicação, este torna a solicitar ao servidor segmentos com qualidade superior.

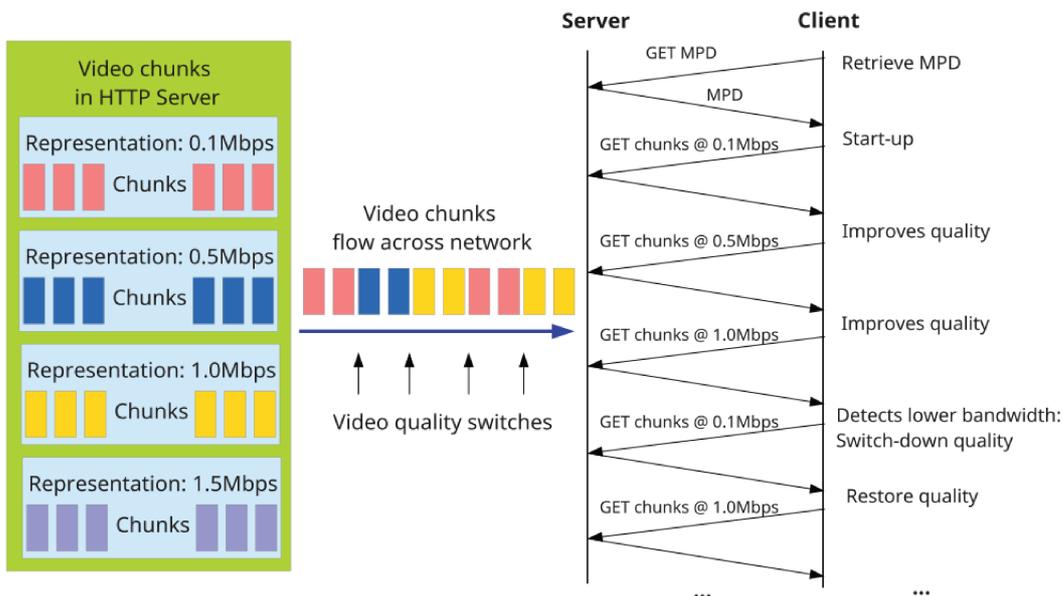


Figura 2.3: Ilustração de *streaming* adaptativo comunicação entre cliente e servidor DASH [14]

# Capítulo 3

## Trabalhos Relacionados

Este Capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados, em três seções, de forma a melhorar o entendimento em relação ao tema abordado. A primeira discute trabalhos que abordam a distribuição de conteúdo de vídeo em todas as versões disponíveis, quando utilizadas técnicas de versionamento. A segunda apresenta trabalhos que definem como premissa a distribuição seletiva de conteúdo versionado. A terceira aborda a utilização de Adaptive Streaming na melhoria da distribuição de conteúdo. Por fim é feita uma discussão destes artigos

### 3.1 Distribuição de conteúdo de vídeo em todas as versões disponíveis

Krishnappa *et. al.* [13], no artigo "Optimizing the Video Transcoding Workflow in Content Delivery Networks", propõe e avaliam um modelo de transcodificação *on-line*. Neste trabalho, os autores afirmam que nos modelos mais utilizados para transcodificação em *streaming* de taxa de bits adaptável, os vídeos são transcodificados em todas as possíveis taxas de bits, o que desperdiça recursos de transcodificação e espaço de armazenamento, uma vez que uma grande fração dos segmentos de vídeo transcodificados nunca são utilizados pelos usuários. Para reduzir o trabalho de transcodificação, os autores propuseram políticas de transcodificação *on-line*, que transcodificam os segmentos de vídeo de maneira "just-in-time", de modo que um segmento é transcodificado apenas para as taxas de bits realmente solicitadas pelo usuário e também apresentaram a previsão antecipada como uma política, usando um modelo de previsão de Markov, com uma precisão de 99,7%. Para análise dos dados, os autores coletaram e analisaram uma grande quantidade de rastreamentos de solicitações de um dos maiores CDNs de vídeo do mundo, com mais de 200 mil usuários únicos assistindo 5 milhões de vídeos em um período de três dias.

Como resultado, os autores perceberam que os algoritmos propostos realizaram a transcodificação do segmento desejado antes de ser solicitado pelo usuário, reduzindo a possibilidade de congelamentos na reprodução de vídeo, e com o modelo de transcodificação online proposta, observaram a redução dos recursos de transcodificação em mais de 95% sem um grande impacto na qualidade de experiência dos usuários.

Wang *et. al.* [26], no artigo "A joint online transcoding and delivery approach for dynamic adaptive streaming", relatam sua experiência ao verificar a distribuição de conteúdo de vídeo codificado em várias versões, baseado em estratégias de popularidade. Segundo os autores, nesse modelo um vídeo popular é distribuído em todas as suas versões, o que é um processo que desperdiça recursos de largura de banda e de armazenamento.

Os autores realizaram uma pesquisa nos provedores chineses Wang e BesTV, onde foi observado que os vídeos mais acessados não usavam todas as versões disponíveis do vídeo e que conforme a região dos usuários eram direcionados a servidores CDN mais lentos ou com banda limitada.

Para superar essas dificuldades, foi proposta a alteração do modelo de distribuição. O modelo proposto foi testado em 30 regiões diferentes de distribuição de conteúdo, onde cada uma destas recebia as versões dos vídeos proporcionais aos recursos de largura de banda do servidor. Conforme a velocidade de acesso do usuário, ele era redirecionado para o servidor que possuía a versão do vídeo proporcional a largura de banda do usuário.

Como resultado, à medida que o número de versões dos vídeos aumenta os recursos do servidor (consumo de largura de banda e armazenamento de arquivos) salvos aumentaram. Nos testes mais de 90% dos recursos de computação foram salvos quando o número de versões de um vídeo era superior a 8. O processo de distribuição foi otimizado, reduzindo a replicação de versões em alta qualidade a regiões onde os usuários geralmente demandavam vídeo de pouca resolução em virtude da baixa velocidade, e a experiência do usuário foi melhorada.

## 3.2 Distribuição seletiva de conteúdo versionado

Wang *et. al.* [25], no trabalho intitulado "Joint online transcoding and geo-distributed delivery for dynamic adaptive streaming", estudam separadamente a transcodificação e a distribuição de vídeo em um ambiente com *streaming* de vídeo adaptável. Segundo os autores, quando essas duas abordagens são consideradas de maneira distinta, resulta em um desperdício significativo de recurso de computação para transcodificar segmentos inúteis, que não são solicitados pelos

usuários, e também quando se considera a qualidade de *streaming* abaixo do ideal devido à replicação homogênea de segmentos de diferentes versões.

Os autores propuseram uma estratégia conjunta de transcodificação on-line e replicação de vídeo geo-distribuída, realizando a transcodificação de vídeo e entrega de vídeo com base em preferências dos usuários de regiões CDN e preferência regional de versões para transcodificar. Em seu trabalho, através das preferências dos usuários de regiões CDN, implementaram um modelo que realiza estrategicamente o redirecionamento de usuários para servidores que hospedam vídeos que podem ser transmitidos em grandes taxas de bits. Os autores agendaram as tarefas de transcodificação para que os segmentos sejam transcodificados de modo a satisfazer as demandas dos usuários em cada região, o que inclui também a necessidade de replicação entre regiões. Como resultado, baseados no monitoramento do processo de distribuição, os autores relatam que a implementação economizou significativamente recursos de computação para transcodificação de segmentos, melhorou a qualidade da transmissão para os usuários e reduziu a replicação custo para entrega de vídeo.

### 3.3 Utilização de Adaptive Streaming na melhoria da distribuição de conteúdo

Liu *et. al.* [16], em seu trabalho "Rate adaptation for dynamic adaptive streaming over HTTP in content distribution network" propõe e avaliam um método para distribuição de segmentos de vídeo de maneira paralela, onde em um bloco de segmentos de vídeo são encaminhados simultaneamente (Figura 3.1) e o compara com a distribuição de segmentos serializada (Figura 3.2), em uma Rede de Distribuição de Conteúdo (CDN) em conjunto com um algoritmo que faz a adaptação da taxa de *bitrate* de acordo com as condições da rede de distribuição.

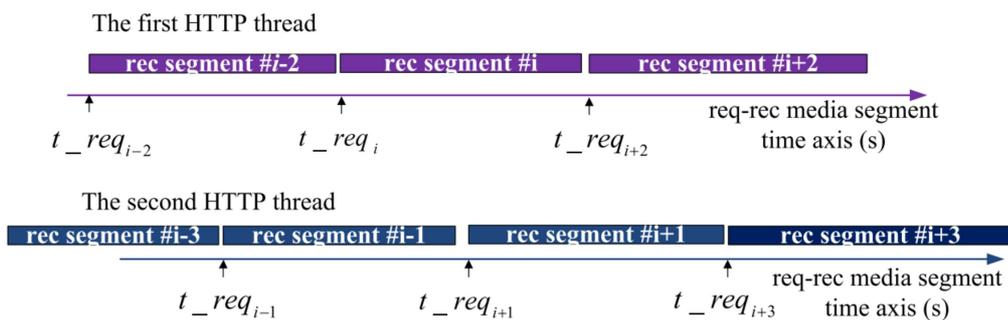


Figura 3.1: Distribuição de segmentos paralelos DASH. Disponível em [16]

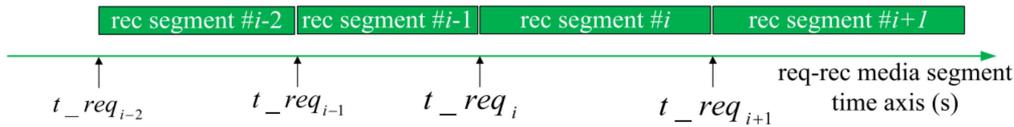


Figura 3.2: Distribuição de segmentos serializada DASH. Disponível em [16]

O objetivo do trabalho era avaliar qual destes métodos obtém melhor comportamento ao utilizar *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (DASH) em conjunto com CDN, para tal, os autores simularam uma topologia CDN.

Os resultados de simulação demonstraram que a distribuição de segmentos de vídeo em paralelo permitiu visualização do vídeo com segmentos em maior qualidade média do que a distribuição de segmentos em serial, ao se comparar as taxas de transferência alcançadas pelos clientes durante a requisição da mídia, porém a distribuição paralela se mostrou um pouco inferior que a serial em relação ao *buffer underflow*, que ocorre quando o conteúdo do *buffer* de reprodução do cliente é consumido completamente antes que seja repostado, ocasionando paradas temporárias durante a execução.

### 3.4 Discussão dos Trabalhos

Os trabalhos apresentados utilizam os conceitos de CDN e DASH, buscando maneiras de otimizar o funcionamento de ambos, com variações propostas, e inclusive modelos que unem as duas abordagens. Foi possível observar que as variações propostas, visam obter melhor utilização de largura de banda e tanto por parte do servidor que distribui o conteúdo, quando por parte do cliente que o consome.

Tais abordagens se mostram como alternativas às condições de consumo de conteúdo multimídia em ambientes diversos, o que pode vir a ser cada vez mais utilizado na distribuição de tal tipo de conteúdo.

Ambas tecnologias foram concebidas com o propósito de otimização na distribuição e consumo de conteúdo multimídia, todavia, apesar do constante acréscimo de largura de banda disponíveis aos clientes que o consomem, tal tipo de conteúdo continua também a ser massificado e possui proporções maiores em quantidade e qualidade de definição, o que se faz necessário a adoção de estratégias que continuem a otimizar sua distribuição aos clientes.

Sem a adoção de estratégias de otimização de distribuição, servidores e clientes em cenários com limitação de largura de banda serão prejudicados no consumo de conteúdo multimídia, mesmo em ambientes que possuem implementação de CDN e DASH, sendo que a junção de ambos, já constitui uma otimização do

cenário de consumo de conteúdo multimídia.

# Capítulo 4

## Decisões de Projeto e Implementação

Este Capítulo apresenta as decisões de projeto e de implementação que permitem investigar critérios para distribuição de conteúdo de vídeo em cenários com infraestrutura limitada.

### 4.1 Cenários de Distribuição

A primeira decisão a ser tomada para investigar os critérios para distribuição de vídeo é qual o cenário de distribuição será adotado. Após analisar as condições de infraestrutura limitada e os principais cenários encontrados na literatura, foram escolhidos e implementados, nesta dissertação, três (03) cenários de distribuição:

1. **Todas as versões do vídeo:** Um vídeo selecionado para distribuição é replicado do servidor de origem para os servidores réplica, em todas as versões disponíveis. Após a replicação, o servidor réplica irá ofertar todas as versões aos clientes sem a necessidade de solicitar conteúdo ao servidor réplica, aumentando a disponibilidade do conteúdo para os clientes. Porém, a adoção desse critério pode aumentar a carga de utilização da rede de distribuição e o espaço em disco consumido pelo servidor réplica para armazenamento do conteúdo replicado. A Figura 4.1 apresenta o cenário onde o servidor de origem possui um vídeo em várias versões, e quando este vídeo é replicado, os servidores réplica recebem todas as versões durante a replicação do conteúdo.

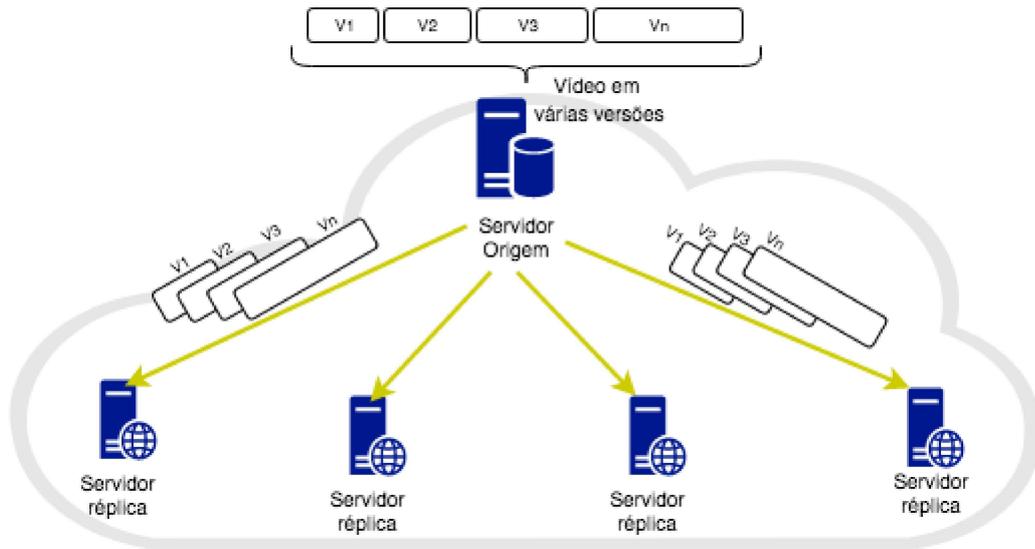


Figura 4.1: Cenário com a distribuição de todas as versões

2. **Versões Selecionadas:** Este cenário considera que através da características de largura de banda disponível, o servidor de origem distribui aos servidores réplica as versões dos vídeos que melhor se adequam a estas características presentes no cenário de distribuição. Desta forma, o processo de distribuição de conteúdo pode ser mais seletivo, podendo ocasionar menor uso de largura de banda e espaço em disco pelo servidor réplica para armazenamento de conteúdo. A Figura 4.2 apresenta o cenário de funcionamento de distribuição de conteúdo seletivo, onde o servidor de origem encaminha apenas as versões do vídeo correspondentes à largura de banda do cenário de distribuição.

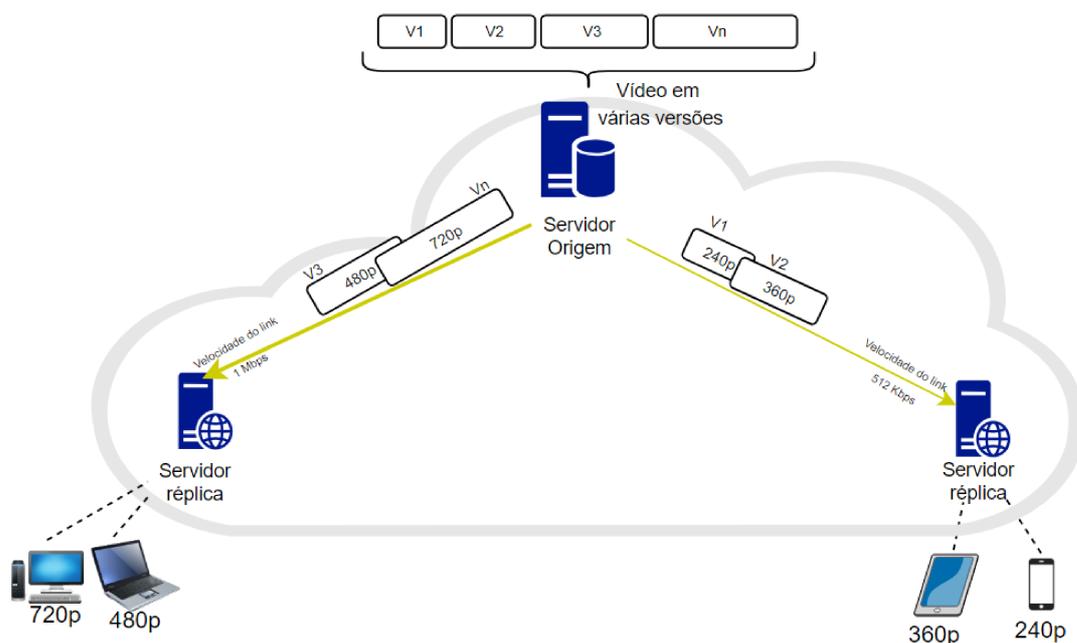


Figura 4.2: Cenário distribuição baseados nas características do cliente

- Distribuição em Segmentos:** Neste cenário, as versões dos vídeos são primeiramente divididas em pequenos segmentos (*chunks*) e, posteriormente, os segmentos são replicados, ao invés de em um único arquivo de conteúdo. As versões segmentadas do vídeo são encaminhados de duas maneira: todos os segmentos de todas as versões do vídeo ou apenas os segmentos das versões que atendam às condições de distribuição selecionadas. A Figura 4.3 apresenta o cenário de funcionamento de distribuição de conteúdo, onde a distribuição encaminha os segmentos de todas as versões do vídeos realizando a distribuição do conteúdo vídeo em pequenos segmentos.

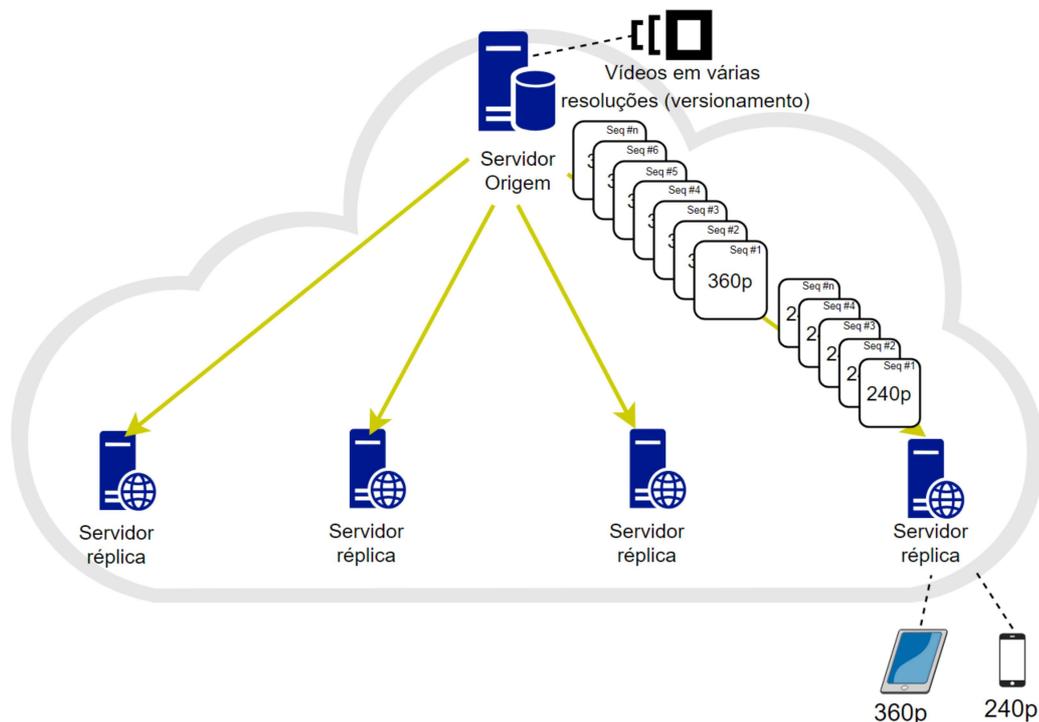


Figura 4.3: Cenário distribuição baseados na distribuição em segmentos

4. **Largura de banda:** Para todos os cenários propostos, serão utilizadas larguras de bandas reduzidas, com o propósito de simular um ambiente com limitações em relação a esse quesito importante no processo de distribuição de conteúdo. Serão adotadas na simulação de cada cenário, três velocidades possíveis de largura de banda: 256 kbps, 512 kbps e 1024 kbps.

## 4.2 Simulador

A segunda decisão de projeto foi a escolha do simulador, uma vez que a implementação de uma arquitetura CDN necessita de uma estrutura operacional complexa, o que envolve a utilização de equipamentos, links de comunicação e tecnologias para gerenciamento do conteúdo. Em outras palavras, o desenvolvimento e implementação de uma infraestrutura CDN geralmente inclui altos investimentos. Assim, em um contexto experimental ou com limitação de recursos, pode-se adotar a simulação de tal estrutura, o que permite a operação de diversos modelos de distribuição de conteúdo em um ambiente virtualmente simulado e controlado, possibilitando a configuração e monitoramento do comportamento do serviço, para que posteriormente esta possa ser implementado em infraestrutura condizente à operação do modelo de serviço de distribuição desejado [22].

Uma rede CDN pode ser virtualmente simulada, através de *softwares* simuladores, que permitem emular uma infraestrutura operacional de distribuição de conteúdo. Dentre os simuladores de CDN disponíveis, cada um possui características singulares de configuração, capacidade e tipo de arquitetura emulada.

Foram avaliados para utilização neste trabalho, os simuladores ns-2<sup>1</sup>, ns-3<sup>2</sup>, OMNeT++<sup>3</sup> e CDNSim<sup>4</sup>, amparado por trabalhos que realizaram comparativos entre os simuladores, e pela experiência de configuração dos cenários propostos.

Através de testes de implementação e estudo em trabalhos que comparam os atributos de funcionamento dos simuladores, se observou que o ns2, ns-3 e OMNeT são capazes de realizar simulações de redes de grande escala de maneira eficiente com cenários variados. No entanto, o simulador ns-2, possui uma coleção maior de modelos de simulações, comparado a sua versão mais recente, o ns-3, o que facilitaria a estruturação de uma série de ambientes diferentes. O simulador OMNeT++ pode ser considerado uma alternativa viável, pois nos últimos anos um conjunto abrangente de modelos foi desenvolvido para este simulador, além disso, o OMNeT++ fornece uma rica interface gráfica de usuário e uma linguagem de modelagem abstrata, enquanto o ns2 e ns3 contam com código-fonte puro para o desenvolvimento de toda a simulação [27]. O CDNSim é um simulador construído sobre o *framework* do simulador OMNeT++; ele fornece um ambiente automatizado para conduzir experimentos e extrair estatísticas de clientes, servidores e redes. Entre as suas características pode se citar a sua capacidade específica para simular a operação de uma rede CDN e a distribuição de conteúdo entre o servidor de origem e os servidores réplica, bom desempenho operacional, extensibilidade e uma boa interface com o usuário, que é usada para configurar o parâmetros do ambiente a ser simulado [22].

Considerando que todos os simuladores fornecem possibilidades para construção de ambientes de redes variados para simulação, optou-se pelo CDNSim, pelo fato de este fornecer a possibilidade de possuir atributos específicos para simulação de uma rede CDN, e este ser baseado em um *framework* confiável e consolidado.

## 4.3 Métricas

A medição de desempenho de uma rede CDN é feita para medir sua capacidade de atender os clientes com o conteúdo a ser replicado, além de possibilitar o monitoramento e gerenciamento do desempenho de uma rede CDN.

---

<sup>1</sup><http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

<sup>2</sup><https://www.nsnam.org/>

<sup>3</sup><https://omnetpp.org/>

<sup>4</sup><http://oswinds.csd.auth.gr/cdnsim/>

Nesta dissertação, é realizada com o objetivo de comparar qual estratégia de distribuição de conteúdo, apresentou maior efetividade de utilização no cenário proposto. As métricas utilizadas neste trabalho, tem o objetivo de comparar qual das estratégias utilizadas para distribuir conteúdo em um rede CDN, apresentou melhor efetividade nos cenários simulados, sendo estas, definidas a partir dos principais indicadores utilizados por provedores de conteúdo [17].

Os indicadores para comparação, foram obtidos a partir do software de simulação utilizado, e são estes:

1. Quantidade de requisições completas: indica a quantidade de requisições de conteúdo realizadas pelos servidores réplicas, que foram atendidas pelo servidor de origem.
2. Utilização de servidor substituto: refere-se a carga de armazenamento (em MB) ocupada no servidor réplica para armazenamento de conteúdo proveniente das solicitações de conteúdo atendidas.
3. Tempo de resposta: refere-se ao tempo de resposta necessário para a replicação do conteúdo armazenado, que fora solicitado ou encaminhado aos servidores.
4. Tráfego total da requisição: mede o tráfego total que foi transferido do servidor de origem para o servidor réplica, durante o processo de replicação de conteúdo [19]. Essa métrica é usada pelos administradores para calcular a carga de uso de armazenamento de conteúdo nos servidores de uma rede CDN.

# Capítulo 5

## Experimentos e Resultados

Este Capítulo descreve, inicialmente, o protocolo experimental necessário (ambiente de teste, base de vídeos e premissas) para execução dos experimentos. Por fim, apresenta os resultados obtidos.

### 5.1 Protocolo Experimental

#### 5.1.1 Ambiente de Experimentação

Os experimentos realizados na elaboração desta dissertação foram executados em uma estação de trabalho Intel Core 7 de 3.4 Ghz, com 16 GB de memória RAM, disco de 1 TB, com sistema operacional CentOS versão 6.9. Para a reprodução do ambiente de uma rede CDN foi utilizado o simulador CDNSim (<http://oswinds.csd.auth.gr/cdnsim/>).

#### 5.1.2 Base de Vídeos

Para avaliar as diferentes abordagens de distribuição de vídeo, uma base de vídeos com múltiplas versões e com segmentação de cada versão em vários *chunks* foi montada. A ideia foi dispor de conteúdo de vídeo com diferentes características, de forma a permitir analisar a efetividade das abordagens de distribuição. Assim, para elaboração dessa dissertação, foi utilizada uma base com conteúdo vídeo versionado (7 versões) com taxas de *bitrate* distintas, onde a versão 0 apresenta a menor taxa e, conseqüentemente, menor qualidade de imagem e a versão 6 apresenta a maior taxa e possui a maior qualidade de definição de imagem.

A Tabela 5.1 apresenta a base de dados utilizada, onde cada uma das versões do vídeo utilizado foi segmentada em 1000 *chunks* por versão.

Tabela 5.1: Bases de conteúdo de vídeos utilizadas

Versão	classificação	segmentos	megabytes	duração cada <i>chunk</i> (ms)	duração total (min)	Bitrate (kbps)
0	uggly	1000	22,25	950	0:15:50	168,78
1	bad	1000	34,9	966,95	0:16:07	273,82
2	poor	1000	58,95	966,96	0:16:07	478,61
3	low	1000	88,21	980,01	0:16:20	724,87
4	medium	1000	160,47	980,01	0:16:20	1330,03
5	high	1000	439,70	1000,92	0:16:41	3741,72
6	hd	1000	615,42	1000,92	0:16:41	5259,46

Em cada versão do vídeo, a medida que a taxa de *bitrate* cresce a qualidade de definição de imagem é elevada, o que ocasiona o aumento do tamanho médio e a duração de cada *chunk*.

### 5.1.3 Premissas

Para realização dos experimentos, algumas premissas foram assumidas. São elas:

1. **Topologia:** Os dispositivos clientes obtêm conteúdo apenas através dos servidores réplica, que por sua vez possuem comunicação direta com o servidor de origem para obtenção de conteúdo.
2. **Replicação de conteúdo:** Ao iniciar o processo de simulação, o servidor de origem sempre irá encaminhar um conteúdo recém adicionado a todos os servidores réplica.
3. **Gestão do Cache:** Sempre haverá espaço disponível nos servidores réplica para receber o conteúdo replicado, desconsiderando a aplicação de políticas de gestão de cache.
4. **Versionamento e replicação:** O conteúdo de vídeo presente no servidor de origem possui versionamento em diversas resoluções e quando este conteúdo é replicado, todas as versões são encaminhadas na implementação padrão.
5. **Visualização dos segmentos:** A prévia existência da implementação necessária (servidor MPD, protocolo Dash) para consumo do conteúdo de vídeo que foi transmitido de maneira segmentada.

## 5.2 Resultados

Esta seção apresenta os resultados encontrados na simulação em cada cenário:

### 5.2.1 Todas as versões do vídeo

A figura 5.1 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado onde foi realizada a distribuição de todas as versões do vídeo.

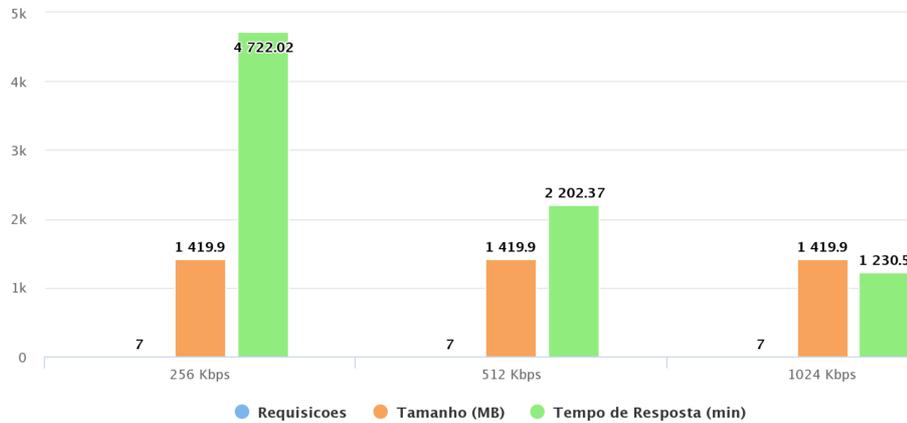


Figura 5.1: Resultados das simulações em cenário com todas as versões do vídeo

Neste cenário, todas as versões do vídeo (conforme 5.1) foram replicadas do servidor de origem para os servidores réplica. Ao todo foram encaminhadas as 7 versões do vídeos, cada versão em um arquivo único.

Analisando os dados obtidos na simulação, conforme a figura 5.1, pode-se observar:

- O tráfego total da requisição das 7 versões do vídeo, totalizou 1.419 MB.
- No menor link, com velocidade de 256 Kbps, o tempo de transmissão, foi de 4722.02 minutos, o equivalente a 78 horas e 42 minutos de tempo transmissão.
- Proporcionalmente com o aumento da largura de banda disponível, o tempo de transmissão foi sendo reduzido. O percentual de redução do tempo foi quase que a mesma proporção inversa do aumento da velocidade do link no cenário, onde no maior link disponível com velocidade de 1024 Kbps, houve um acréscimo de 75% velocidade comparado com o menor link (256 Kbps), e uma redução de 73,94% no tempo de transmissão, totalizando 1230.5 minutos, o equivalente a 20 horas e 30 minutos de tempo de transmissão.

### 5.2.2 Versões Selecionadas

A figura 5.2 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado onde foi realizada a distribuição de versões selecionadas do vídeo.

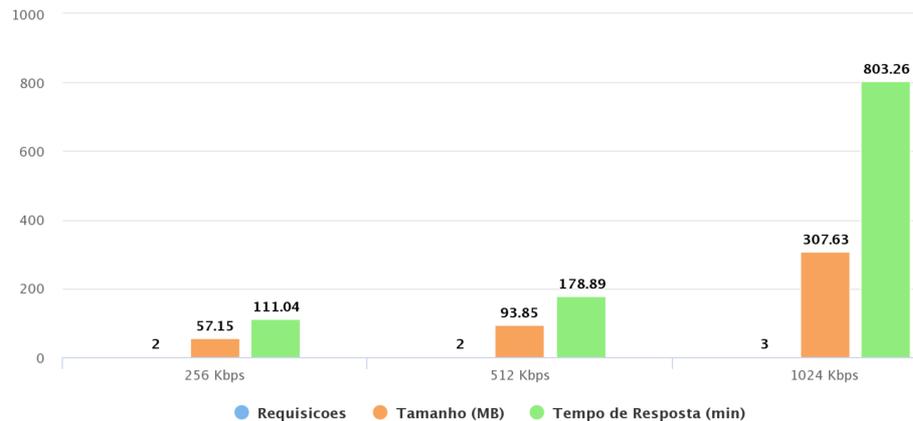


Figura 5.2: Resultados das simulações em cenário com versões selecionadas do vídeo

Neste cenário, foram escolhidas para replicação versões específicas do vídeo, considerando o tamanho de cada versão do vídeo e a largura de banda disponível para replicação, com o objetivo de otimizar o processo de replicação, o adequando às condições do cenário.

Considerando as versões do vídeo apresentadas na tabela 5.1, foram selecionadas as seguintes versões de acordo com a largura de banda:

- As versões 0 e 1, para o link de 256 kbps;
- As versões 1 e 2, para o link de 512 kbps;
- As versões 2, 3 e 4, para o link de 1024 kbps;

Conforme a figura 5.2, é possível realizar as seguintes observações sobre os dados obtidos através da simulação:

- O tráfego total da requisição das versões selecionadas, foi de 57.15 MB (link 256 kbps), 93.85 MB (link 512 kbps) e 307.63 MB (link 1024 kbps); O crescimento do tráfego, é amparado pela seleção de versões com maior qualidade, e conseqüentemente maior tamanho em MB, para os links com maior capacidade de largura de banda.
- Pode-se observar que no link de 256 Kbps, as versões selecionadas somaram 57.15 MB e precisaram de 111.04 minutos, o equivalente a 1 hora e 51 minutos, para serem replicadas.
- Considerando que o link com largura de banda de 1024 kbps, em virtude de sua maior velocidade, recebeu 3 (três) versões do vídeo, e estas com resolução superior aos dos links com menor velocidade (256 e 512 kbps), foi possível observar que o tamanho total das três versões, totalizaram 307.63

MB, o que é mais que o dobro do tamanho combinado das versões selecionadas para os outros dois links. Tal fato, acresceu o tempo de total de transmissão em 2,7 vezes a mais que tempo combinado dos links com menor velocidade.

### 5.2.3 Distribuição em segmentos

Neste cenário, as versões dos vídeos são divididas em pequenos segmentos (*chunks*) e, posteriormente os segmentos são replicados, ao invés de em um único arquivo de conteúdo.

#### 5.2.3.1 Todas as versões do vídeo

A figura 5.3 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado onde foi realizada a distribuição de todas as versões do vídeo, replicadas em pequenos segmentos.

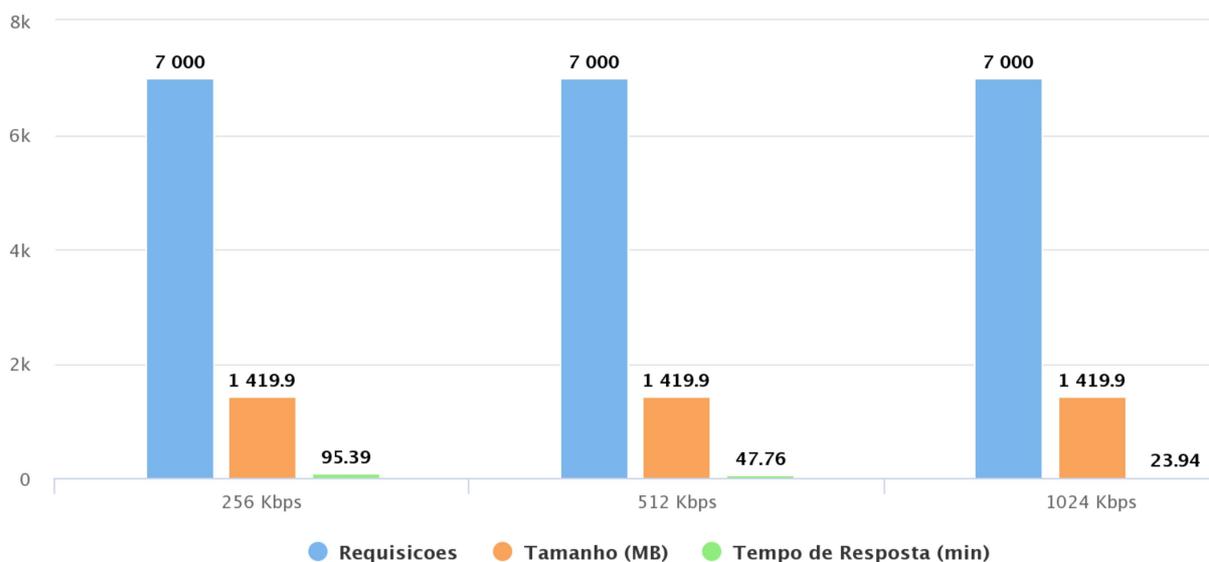


Figura 5.3: Resultados das simulações em cenário com todas as versões do vídeo replicados em segmentos

Neste cenário, todas as 7 versões do vídeo foram replicadas do servidor de origem para os servidores réplica, porém, cada versão foi dividida em 1000 (um mil) pequenos segmentos, com duração média de cerca de 0.95 a 1.09 segundos.

Analisando os dados obtidos na simulação, conforme a figura 5.3, pode-se observar que apesar da grande quantidade de segmentos (7000 segmentos ao

todo), que juntos totalizam 1419.9 MB, o tempo de distribuição foi de 95.39 minutos no link de menor velocidade.

A medida que a largura de banda aumenta, o tempo de distribuição reduz na mesma proporção, pois no link de 512 kbps a velocidade é 2 vezes maior e o tempo de distribuição também é reduzido ao dobro, e assim da mesma forma no link de 1024 kbps.

### 5.2.3.2 Versões Seleccionadas

A figura 5.4 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado onde foi realizada a distribuição de versões seleccionadas do vídeo, replicadas em pequenos segmentos.

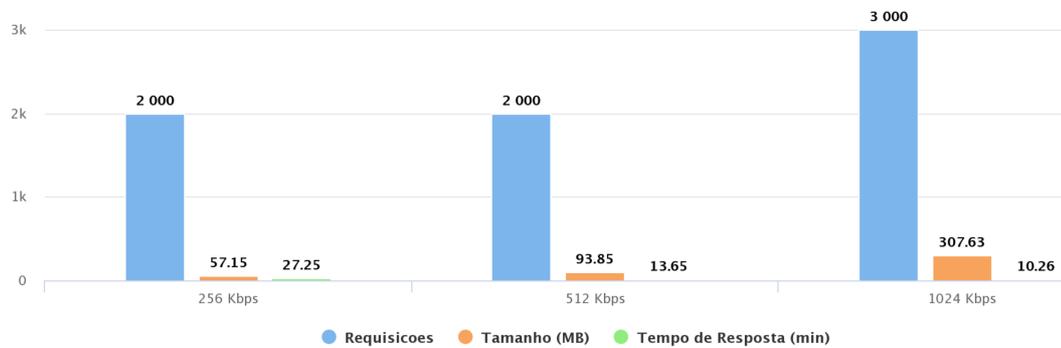


Figura 5.4: Resultados das simulações em cenário com versões seleccionadas do vídeo replicados em segmentos

Neste cenário, todas as 7 versões do vídeo foram replicadas do servidor de origem para os servidores réplica, porém, cada versão foi dividida em 1000 (um mil) pequenos segmentos, com duração média de cerca de 0.95 a 1.09 segundos.

Analisando os dados obtidos na simulação, conforme a figura 5.3, pode-se observar que apesar da grande quantidade de segmentos (7000 segmentos ao todo), que juntos totalizam 1419.9 MB, o tempo de distribuição foi de 95.39 minutos no link de menor velocidade.

A medida que a largura de banda aumenta, o tempo de distribuição reduz na mesma proporção, pois no link de 512 kbps a velocidade é 2 vezes maior e o tempo de distribuição também é reduzido ao dobro, e assim da mesma forma no link de 1024 kbps.

## 5.3 Discussão

Esta seção agrupa as simulações a partir da velocidade de largura de banda, com o intuito de analisar qual abordagem se mostra mais efetiva ao tipo de cenário simulado, a após, é realizada análise e discussão dos resultados.

### 5.3.1 Cenário 256 Kbps

A figura 5.5 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado com velocidade de 256 Kbps.

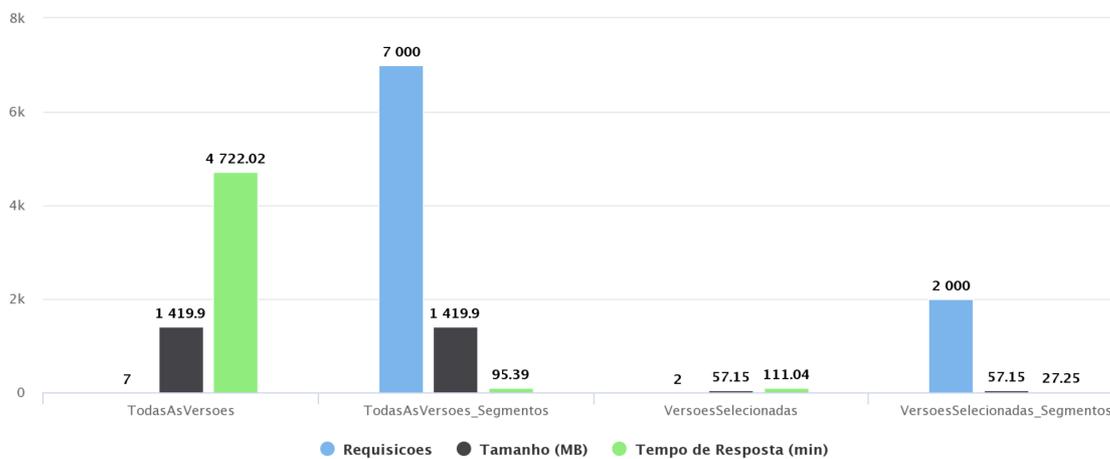


Figura 5.5: Resultados das simulações em cenário com velocidade de 256 kbps

Neste cenário, na abordagem de distribuição seletiva, foram selecionadas as versões 0 e 1 do vídeo, ambas com as menores taxas de *bitrate* da base de dados, em virtude da largura de banda limitada. Conforme a figura 5.5 no cenário simulado, com velocidade de 256 Kbps, ao se transmitir as 7 versões do vídeo em segmentos menores, o tempo de transmissão, medido em segundos, foi reduzido a uma enorme proporção. Analisando os dados obtidos na simulação, pode-se observar:

- Na abordagem de transmissão de todas as versões do vídeo, ao se dividir a transmissão em segmentos (*chunks*), o número de requisições aumentou, porém, o tempo de transmissão foi reduzido em cerca de 98%.
- O tempo de transmissão na abordagem de versões selecionadas, foi de 111.04 minutos, um valor menor que o tempo na abordagem com todas as versões, que foi de 4722.02 minutos.

- Apesar de a abordagem de versões selecionadas possuir menor tempo médio de transmissão, considerando a premissa que existe espaço disponível nos servidores substitutos da topologia, a transmissão de todas as versões do vídeo em segmentos, obteve menor tempo de resposta que a distribuição de versões selecionadas utilizando o envio do vídeo em tamanho completo.
- Nas duas abordagens utilizadas, a distribuição baseada em segmentos (*chunks*) apresentou os menores tempos totais de transmissão.

### 5.3.2 Cenário 512 Kbps

A figura 5.6 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado com velocidade de 512 Kbps.

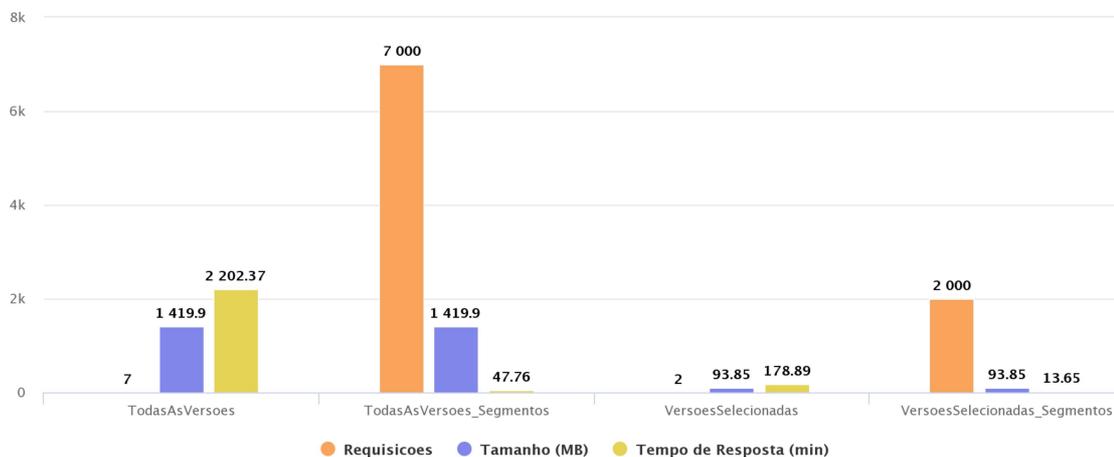


Figura 5.6: Resultados das simulações em cenário com velocidade de 512 kbps

Neste cenário, na abordagem de distribuição seletiva, foram selecionadas as versões 1 e 2 do vídeo versionado, em virtude do aumento da largura de banda disponível, porém, se observou que por estas versões apresentarem maior taxa de resolução, o tamanho total em Megabytes destas é 1.65 vezes maior que as versões selecionadas no cenário anterior.

Analisando os dados obtidos na simulação, pode-se observar que a distribuição de todas as versões do vídeo em segmentos, teve tempo de transmissão 75% menor comparado a distribuição das versões selecionadas em formato de arquivo único.

### 5.3.3 Cenário 1024 Kbps

A figura 5.7 apresenta o resultado da metodologia proposta em cenário simulado com velocidade de 1024 Kbps.

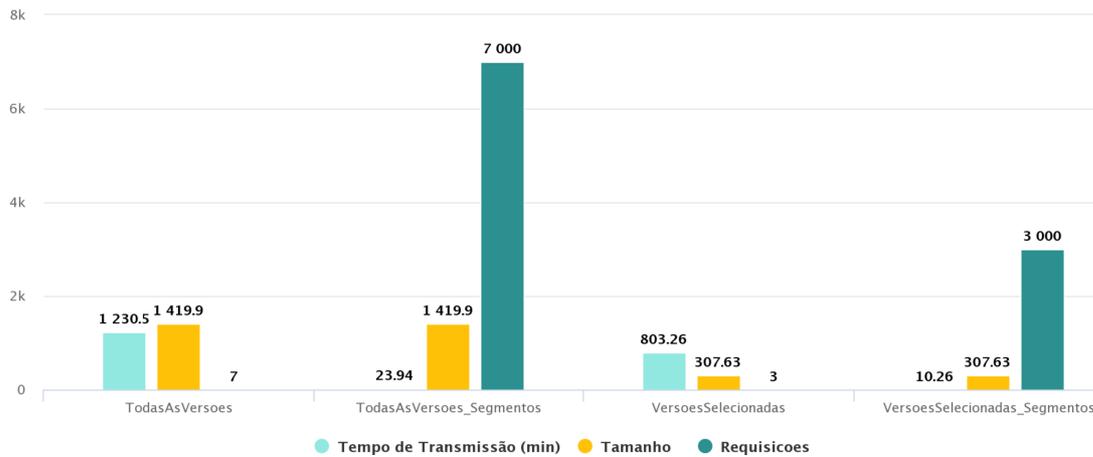


Figura 5.7: Resultados das simulações em cenário com velocidade de 1024 kbps

Neste cenário, na abordagem de distribuição seletiva, foram selecionadas as versões 1,2 e 3 do vídeo versionado, que caracterizaram um aumento de 70% no tamanho total em Megabytes das versões selecionadas comparadas ao cenário anterior.

#### 5.3.4 Análise das simulações

De acordo com os resultados apresentados nas simulações, ao realizar a distribuição dos vídeos em todos as versões, sem a utilização de segmentação, os tempos necessários para transmissão foram os maiores apresentados, especialmente nos cenários com menor velocidade de largura de banda disponível.

Tal fato, está associado com o fato de que no ambiente simulado, os vídeos transmitidos sem a utilização do processo de segmentação, foram transmitidos de maneira paralela, onde durante a transmissão de um arquivo de vídeo inteiro (com média de tamanho de 202,84 MB), outro passou também a ser transmitido simultaneamente, conforme explanado na seção ??, comprometendo a performance especialmente em cenários com largura de banda limitada.

Os resultados mostraram que ao se utilizar outras tecnologias em conjunto com redes CDN, as métricas obtidas foram melhores; Ao realizar a distribuição seletiva dos vídeos, estabelecendo um perfil de versões que observa as condições de largura de banda, houve uma redução significativa do tempo de distribuição. Da mesma forma, quando os vídeos distribuídos, foram segmentados, o processo de distribuição obteve métricas ainda melhores nas simulações realizadas, nesse caso, foi observado que no ambiente simulado, os segmentos foram transmitidos de maneira praticamente serializada, ou seja, em virtude do pequeno tamanho dos segmentos de vídeo, em média segmentos de 75.09 KB, mesmo nos cenários

com largura de banda limitada, quando um segmento começava a ser transmitido, o anterior estava sendo finalizado ou já havia encerrado sua transmissão.

# Capítulo 6

## Considerações Finais

A utilização de redes CDN na distribuição do conteúdo multimídia, especialmente de vídeo, possui tendência de crescimento em sua utilização [8], tal virá a ocorrer, apoiado no crescimento de largura de banda disponível aos usuários que consomem este conteúdo 3. Embora esta seja uma tendência real, apesar dos avanços tecnológicos existentes na melhoria e modernização dos processos de distribuição de conteúdo, e no aumento da largura de banda dos usuários, ainda existem localidades desfavorecidas especialmente no tocante ao quesito largura de banda, em virtude de muitos fatores, dentre eles, a dificuldade de acesso geográfico. Em tais cenários, residem usuários que demandam de iniciativas que os permitam possuir acesso a conteúdo multimídia, que poderia inclusive, permitir consumo de conteúdo voltado a ensino e aprendizado, favorecendo o crescimento e desenvolvimento pessoal de uma série de pessoas.

Nesse contexto, este trabalho propôs uma metodologia para avaliar o impacto de combinar estratégias de distribuição de conteúdo de vídeo, utilizando redes CDN, segmentação do conteúdo e distribuição seletiva considerando as condições de largura de banda do cenário, como meio de distribuição de conteúdo para cenários com infraestrutura limitada.

### 6.1 Dificuldades Encontradas

Ao longo da realização do trabalho, as maiores dificuldades encontradas foram na montagem dos cenários de simulação, o que envolveu o teste com diversas distribuições do sistema operacional Linux, até que se encontrasse a que obteve integração plena com o simulador adotado, adicionalmente, para facilitar o trabalho de configuração do simulador, foi realizado o desenvolvimento de um software complementar para geração dos scripts utilizados pelo simulador, de forma a facilitar a realização das simulações.

## 6.2 Contribuições Alcançadas

As contribuições alcançadas com este trabalho, estão na observação que através de simulação de um cenário com condições limitadas, é possível a utilização de redes CDN, em conjunto com recursos encontrados em outras tecnologias, desta forma, expandindo o domínio de implementação e utilização deste tipo de rede.

Apesar de tal tema parecer já contemplado pela expansão de velocidade de largura de banda disponíveis atualmente, cabe lembrar que ainda existem localidades que possuem limitação de infraestrutura de comunicação, e mesmo com estruturas limitadas especialmente em disponibilidade e velocidade de conexão, tais usuários precisam de alternativas tecnológicas, ou através de equipamentos ou com estratégias de distribuição e envio de conteúdo, que viabilizem o consumo de conteúdo relevantes às necessidades destes.

## 6.3 Trabalhos Futuros

Futuramente se pretende estudar a utilização de redes CDN, explorando fatores que podem otimizar a distribuição em cenários com infraestrutura limitada, como tempo programado de distribuição, distribuição de segmentos de vídeo paralelo, de forma a poder explorar os recursos disponíveis no cenário implementado, mesmo que estes sejam limitados.

# Referências Bibliográficas

- [1] (2014). ISO/IEC 23009-1 Information technology - Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH).
- [2] Akamai (2018a). Akamai - Facts & Figures. <https://www.akamai.com/us/en/about/facts-figures.jsp>. Accessed: 2018-06-20.
- [3] Akamai (2018b). State of the Internet Report. <https://www.akamai.com/us/en/about/our-thinking/state-of-the-internet-report/global-state-of-the-internet-connectivity-reports.jsp>. Accessed: 2018-06-20.
- [4] Al-Shayegi, M. H., Rajesh, S., Alsarraf, M., and Alsuwaid, R. (2010). A comparative study on replica placement algorithms for content delivery networks. In *Proceedings - 2010 2nd International Conference on Advances in Computing, Control and Telecommunication Technologies, ACT 2010*.
- [5] Anatel (2017). Acessos ComunicaÃ§Ã£o MultimÃdia - Por UF. [ftp://ftp.anatel.gov.br/dados/Acessos/Comunicacao\\_Multimidia/Por\\_UF/csv/Acessos\\_SCM\\_2015-2017\\_-\\_UF.csv](ftp://ftp.anatel.gov.br/dados/Acessos/Comunicacao_Multimidia/Por_UF/csv/Acessos_SCM_2015-2017_-_UF.csv). Accessed: 2017-03-31.
- [6] Borst, S., Gupta, V., and Walid, A. (2010). Distributed caching algorithms for content distribution networks. *Proceedings - IEEE INFOCOM*.
- [7] Buyya, R., Pathan, M., and Vjaku, A. (2008). Content Delivery Networks. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- [8] Cisco (2018). Cisco Visual Networking Index Forecast and Methodology 2016 - 2021. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>. Accessed: 2018-06-20.
- [9] Dille, J., Maggs, B., Parikh, J., Prokop, H., Sitaraman, R., and Wehl, B. (2002). Globally Distributed Content Delivery. In *Globally Distributed Content Delivery*, pages 50–58. IEEE Internet Computing.

- [10] Famaey, J., Wauters, T., and De Turck, F. (2011). On the merits of popularity prediction in multimedia content caching. *Proceedings of the 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, IM 2011*, pages 17–24.
- [11] IBGE (2016a). Amazônia Legal. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>. Accessed: 2016-12-15.
- [12] IBGE (2016b). Unidades da Federação. <http://www.ibge.gov.br/estadosat/index.php>. Accessed: 2016-12-15.
- [13] Krishnappa, D. K., Zink, M., and Sitaraman, R. K. (2015). Optimizing the video transcoding workflow in content delivery networks. *Proceedings of the 6th ACM Multimedia Systems Conference on - MMSys '15*.
- [14] Kua, J., Armitage, G., and Branch, P. (2017). A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3):1842–1866.
- [15] Lee, D. H., Dovrolis, C., and Begen, A. C. (2013). Caching in HTTP Adaptive Streaming: Friend or Foe? *Proceedings of Network and Operating System Support on Digital Audio and Video Workshop*, pages 31:31—31:36.
- [16] Liu, C., Bouazizi, I., Hannuksela, M. M., and Gabbouj, M. (2012). Rate adaptation for dynamic adaptive streaming over HTTP in content distribution network. *Signal Processing: Image Communication*.
- [17] Pathan, A.-m. K. and Buyya, R. (2006). A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks. *Grid Computing and Distributed Systems GRIDS Laboratory University of Melbourne Parkville Australia*, 148:1–44.
- [18] Qiu, L., Padmanabhan, V. N., and Voelker, G. M. (2001). On the placement of web server replicas. In *Proceedings - IEEE INFOCOM*, volume 3, pages 1587–1596.
- [19] Rodrigues, M., Moreira, A., Neves, M., Azevêdo, E., Sadok, D., Callado, A., and Souza, V. (2013). Flow count: A cdn dynamic replica placement algorithm for cross traffic optimization. In *2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013)*, pages 684–687.
- [20] Sarkar, D., Rakesh, N., and Mishra, K. K. (2015). Problems in replica server placement (RSP) over Content Delivery Networks (CDN). In *ACM International Conference Proceeding Series*, volume 25-27-Sept, pages 175–179. Association for Computing Machinery.

- [21] Seufert, M., Egger, S., Slanina, M., Zinner, T., Hoßfeld, T., and Tran-Gia, P. (2015). A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming. *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, 17(1).
- [22] Stamos, K., Pallis, G., Vakali, A., Katsaros, D., Sidiropoulos, A., and Manolopoulos, Y. (2010). CDNsim - A Simulation Tool for Content Distribution Networks. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 20(2):1–40.
- [23] Stephan, E., Burbridge, T., Eardley, P., Ma, K., and Watson, G. (2012). Use Cases for Content Delivery Network Interconnection. Technical report.
- [24] Tang, W.-L., Yang, S.-H., Wu, H.-T., and Jheng, S.-C. (2015). Combining Layer Coding and Bandwidth Allocation for Video Distribution on Content Delivery Networks. *Wireless Personal Communications*.
- [25] Wang, Z., Sun, L., Wu, C., Zhu, W., and Yang, S. (2014). Joint online transcoding and geo-distributed delivery for dynamic adaptive streaming. *Proceedings - IEEE INFOCOM*, pages 91–99.
- [26] Wang, Z., Sun, L., Wu, C., Zhu, W., Zhuang, Q., and Yang, S. (2015). A joint online transcoding and delivery approach for dynamic adaptive streaming. *IEEE Transactions on Multimedia*, 17(6):867–879.
- [27] Weingärtner, E., Vom Lehn, H., and Wehrle, K. (2009). A performance comparison of recent network simulators. *IEEE International Conference on Communications*.

# Apêndice A

## Codigos utilizados no simulador

Este Apêndice tem como objetivo disponibilizar todos os codigos utilizados nesse trabalho.

### A.1 Tabela de arquivos - cenário arquivo único

0	23326100
1	36599088
2	61818348
3	92491676
4	168265828
5	461054584
6	645311504

### A.2 Tabela parcial de arquivos - cenário distribuição em segmentos

0	7520
1	6768
2	11656
3	11844
4	11844
5	11280
6	11468
7	11468
8	11468

## A.2 Tabela parcial de arquivos - cenário distribuição em segmentos 47

9 11656  
10 14288  
11 43428  
12 14664  
13 25568  
14 29516  
15 25380  
16 20304  
17 21808  
18 24628  
19 22560  
20 23124  
21 23876  
22 18988  
23 41360  
24 22748  
25 23312  
26 22372  
27 23124  
28 21808  
29 21808  
30 21996  
31 23124  
32 23124  
33 21808  
34 23876  
35 23124  
36 23312  
37 23876  
38 23876  
39 24064  
40 28012  
41 8836  
42 27448  
43 18236  
44 32524  
45 28012  
46 21808  
47 22748  
48 33464

49 19364  
50 17672  
51 18988  
52 21244  
53 23876  
54 23688  
55 24816  
56 32712  
57 10152  
58 28576  
59 23688  
60 21620  
61 23500  
62 24816  
63 24440  
64 24064  
65 23876  
66 19552  
67 22748  
68 23876  
69 25004  
70 24440  
71 24628  
72 23500  
73 25944  
74 24628  
75 23688  
76 23500  
77 21432  
78 19364  
79 27072  
80 24628  
81 22936  
82 19928  
83 19176  
84 22184  
85 21996  
86 23876  
87 23876  
88 22184

```
89 27260
90 26696
91 24064
92 23312
93 23312
94 23876
95 21056
96 22748
97 22184
98 22184
99 23876
```

### A.3 Parte do script base.ned - largura de banda 256 kbps

```
import
"StaticContentExchange_StateTester",
"CDN_RequestsAssignerReceiver",
"StaticContentExchange_ServicePeer",
"StaticContentExchange_ClientUnit",
"StaticContentExchange_AlternateServerDetector",
"CDN_CentralUnit",
"Stats",
"StaticContentExchange_ClientNegotiator",
"StaticContentExchange_ServerUnit",
"StaticContentExchange_ServerNegotiator",
"Router",
"FlatNetworkConfigurator",
"ChannelInstaller";

#canal de comunicacao entre o cliente e o servidor replica
channel lan
delay 0.1us;
datarate 100000000;
endchannel

#canal de comunicacao entre o servidor origem e servidores replica
channel wan
delay 31us;
```

```
datarate 256000;
endchannel

module Base
parameters:
//
submodules:
channelInstaller: ChannelInstaller;
parameters:
channelClass = "ThruputMeteringChannel",
channelAttrs = "format=u";
display: "p=98,50;i=block/cogwheel_s";
configurator: FlatNetworkConfigurator;
parameters:
moduleTypes = "Router GenericHost",
nonIPModuleTypes = "CDN_CentralUnit Stats",
networkAddress = "145.236.0.0",
netmask = "255.255.0.0";
display: "p=185,50;i=block/cogwheel_s";
cdn_CentralUnit: CDN_CentralUnit;
stats: Stats;
r0: Router;
display: "i=abstract/router";
r1: Router;
display: "i=abstract/router";
r2: Router;
display: "i=abstract/router";
c3: GenericHost; #Cliente
display: "i=device/laptop";
s4: GenericHost; #Servidor replica
display: "i=device/server_l";
o5: GenericHost; #Servidor origem
display: "i=device/server_s";
#vinculo de conexao entre os dispositivos \\
  que fazem parte da topologia
connections nocheck:
r0.out++ --> wan --> r1.in++;
r0.out++ --> wan --> o5.in++;
r1.out++ --> wan --> r0.in++;
r1.out++ --> wan --> r2.in++;
```

```
r1.out++ --> wan --> s4.in++;
r2.out++ --> wan --> r1.in++;
r2.out++ --> lan --> c3.in++;
c3.out++ --> lan --> r2.in++;
s4.out++ --> wan --> r1.in++;
o5.out++ --> wan --> r0.in++;
endmodule
```

```
network base : Base
endnetwork
```

## **A.4 Script "networkGraph- descreve a topologia do cenário largura de banda 256 kbps**

```
r0 r1 256000
r0 o5 256000
r1 r0 256000
r1 r2 256000
r1 s4 256000
r2 r1 256000
r2 c3 100000000
c3 r2 100000000
s4 r1 256000
o5 r0 256000
```

## **A.5 Script desenvolvido em C# para geração dos arquivo "Traffic- arquivo que descreve a requisição dos segmentos pelos clientes**

```
public class GeradorTraffic {
public bool GerarArquivoTraffic(int versoes, int qtdSegmentos, int velocidade)
Random r = new Random();
StringBuilder texto = new StringBuilder();
int arquivoId = 0;
int contadorArquivoId = 0;
int contador = 0;
```

```
int random = 0;
const int totalSegmentos = 6133;

try {
if (!dash && velocidadeLink > 0) {
switch (velocidadeLink) {
case 512:
//inicia em 240p
contadorArquivoId = totalSegmentos * 2;
arquivoId = contadorArquivoId;
break;

case 1024:
//inicia em 360p
contadorArquivoId = totalSegmentos * 3;
arquivoId = contadorArquivoId;
break;

default:
break;
}
}

for (int i = 0; i < (qtdSegmentos * versoes); i++) {
arquivoId = contadorArquivoId;

if (dash) {
switch (velocidadeLink) {
case 256:
random = r.Next(1, 3);
//240p
if (random == 2) {
arquivoId = contador + totalSegmentos;
}
}
break;

case 512:
random = r.Next(1, 3);
```

```
//240p
if (random == 1) {
arquivoId = contador + totalSegmentos;
}
//360p
else if (random == 2) {
arquivoId = contador + (totalSegmentos * 2);
}
break;

case 1024:
random = r.Next(1, 4);
//360p
if (random == 1) {
arquivoId = contador + (totalSegmentos * 2);
}
//480p
else if (random == 2) {
arquivoId = contador + (totalSegmentos * 3);
}
//720p
else if (random == 3) {
arquivoId = contador + (totalSegmentos * 4);
}
break;

default:
break;
}
}

texto.Append(i);
texto.Append(" ");
texto.Append(0);
texto.Append(" ");
texto.Append(arquivoId);
texto.Append("\n");
```

```
contador++;
if (contador == qtdSegmentos) {
contador = 0;
contadorArquivoId += (totalSegmentos - qtdSegmentos) + 1;
} else
contadorArquivoId++;
}

//Escreve o texto no arquivo
System.IO.File.WriteAllText("/Users/Edilson/Desktop/traffic ", texto.T

return true;
} catch (System.Exception ex) {
return false;
throw ex;
}
}
}
}
```