

Uma Visão Analítica da Colaboração entre Múltiplas CDNs

Moisés Rodrigues¹, Stenio Fernandes¹, Judith Kelner¹, Djamel Sadok¹

¹Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 7.851 – 54.740-540 – Recife – PE – Brasil

{moises, stenio, jamel, jk}@gprt.ufpe.br

Abstract. Content Distribution Networks (CDN) are a well-known and accepted way to deliver content. Considering the ever growing number of users and the also growing number of small localized CDNs there is a need for collaboration between them. However, some points related to CDN collaboration are not yet clear. This paper presents an analytical view of collaboration among CDNs. Our analytical approach could be used by the academic community to study collaboration performance through metrics such as cache hit, latency and number of caches. From our performance analyses we show that CDN collaboration can reduce response time and could also help a primary CDN deal with a flash crowd event.

Resumo. Redes de distribuição de conteúdo (CDN) são popularmente aceitas como técnica para distribuição de conteúdo e tem recebido um crescente interesse da academia. O crescimento do número de usuários e da quantidade de conteúdo oferecido junto com a existência de diversas pequenas e localizadas redes motivou a colaboração entre CDNs distintas. Entretanto, alguns aspectos relativos à colaboração ainda não estão muito claros. Nesse artigo apresentamos uma visão analítica para a colaboração entre múltiplas CDNs. Nossa visão analítica pode ser usada pela comunidade para auxiliar a estudar o impacto da colaboração em algumas métricas como cache hit, latência da rede e número de servidores de réplica. Nossas análises mostram que a colaboração entre CDNs pode melhorar o tempo de resposta percebido pelo usuário final, inclusive durante cargas consideráveis como, por exemplo, a ocorrência de um evento de flash crowd.

1. Introdução

As CDNs são amplamente aceitas no mundo de negócios como principal meio de entrega de conteúdo. O resultado dessa popularidade é um número significativo de CDNs implantadas com as mais diversas características. As CDNs diferem em termos de conteúdo disponibilizado, cobertura e capacidade. Poucas têm vasta cobertura e o objetivo de prover conteúdo em um cenário global, como Akamai e Limelight. A maioria tem uma menor cobertura, sendo muito localizadas, como por exemplo as internas a um *Network Service Provider (NSP)* [Niven-Jenkins et al 2012].

Considerando o cenário onde existem diversas pequenas CDNs, expandi-las, tanto em termos de cobertura quanto de capacidade, é custoso. Através da colaboração, a cobertura de uma CDN pode ser expandida temporariamente para atender certa demanda que exceda sua capacidade atual. Cooperações podem ser negociadas com a intenção de manter os contratos de qualidade de serviço estabelecidos entre a CDN e

provedores de conteúdo, em eventos de carga extra de tráfego. Porém, colocar essa ideia em prática provoca diversos desafios [Niven-Jenkins et al 2012]. Na verdade, as técnicas propostas tratam do redirecionamento de clientes para servidores controlados por diversas *CDNs* terceiras, um cenário bem mais complexo que o redirecionamento para servidores controlados por uma mesma *CDNs*. Além disso, considerando a grande diversidade de *CDNs* existentes, achar suas características dominantes para definir qual a melhor candidata a certa necessidade é um grande desafio. Surge então a necessidade de uma maneira de analisar cenários de colaboração entre *CDNs* para quantificar o possível ganho gerado pela colaboração bem como obter melhores informações sobre as diversas variáveis envolvidas.

Esse artigo propõe um modelo analítico para colaboração entre *CDNs*. Nosso modelo considera a dispersão de clientes e entidades pela rede, diferentes taxas de tráfego separadas para cada grupo de clientes, bem como erros de servidores de réplica (*cache miss*). Nosso modelo estende o trabalho de [Molina et al 2004] que modela *CDNs* únicas e isoladas. No nosso modelo consideramos os erros de servidores de réplica e as influências da rede como parte essencial do modelo, que não são levados em conta pelo único outro modelo de colaboração encontrado na literatura [Pathan and Buyya 2008]. A principal contribuição desse artigo é:

1. Um modelo analítico para colaboração entre *CDNs*, onde clientes e servidores estão distribuídos pelo mundo com diferentes latências e capacidades de enlaces.

Nossas análises mostram que a colaboração entre *CDNs* pode melhorar o tempo de resposta percebido pelo usuário final mesmo durante uma considerável carga de requisições (evento de *flash crowd*). Também mostramos as relações entre o tempo de resposta e a capacidade dos servidores de réplica bem como o comportamento do tempo de resposta em relação à proporção de requisições enviadas às *CDNs* com as quais uma *CDN* colabora.

No restante deste trabalho apresentamos o modelo proposto na Seção 2. Na Seção 3 apresentamos nossa metodologia e os resultados coletados. Na Seção 4 apresentamos lições aprendidas com nosso modelo proposto. Na Seção 5 discutimos os trabalhos relacionados e finalmente na Seção 6 apresentamos nossas conclusões e trabalhos futuros.

2. Modelo Proposto

Nosso modelo é composto por quatro entidades principais presentes na arquitetura de uma rede de distribuição de conteúdos onde existe a possibilidade de colaboração, como ilustrado na Figura 1:

- Servidor de origem: representa o servidor de origem de uma *CDN*, posicionado no centro.
- P_l servidores de réplica: representam os servidores de réplica pertencentes à *CDN* primária, ou seja, a *CDN* que tem contrato direto com o provedor de conteúdo e que eventualmente pode iniciar uma colaboração com outras *CDNs*. Esses servidores estão localizados em algum lugar entre o servidor de origem e os clientes. Chamaremos esses servidores de servidores de réplica locais.
- P_f servidores de réplica: representam os servidores de réplica externos à *CDN* primária frutos de uma eventual colaboração concretizada entre a *CDN* primária e outra *CDN*. Esses servidores também estão localizados em algum lugar entre o

servidor de origem e os clientes. Chamaremos esses servidores de servidores de réplica estrangeiros.

- M comunidade de clientes: representam comunidades de clientes distribuídas geograficamente.
- C acordos de colaboração vigentes: representam o número de acordos de colaboração entre *CDNs* que estão em vigor.

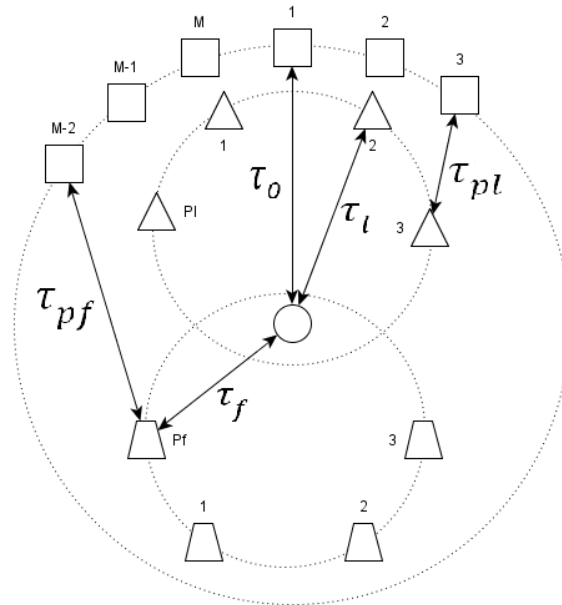


Figura 1. Componentes básicos do modelo

Vamos assumir que os clientes estão distribuídos em um círculo ao redor do servidor de origem com distância, ou *round-trip time (RTT)*, igual a τ_o . Servidores de réplica por sua vez experimentam um *RTT* em relação ao servidor de origem igual a τ_l e τ_f e em relação aos clientes igual a τ_{pl} e τ_{pf} , ambos para os servidores de réplica locais e estrangeiros respectivamente. Quando uma requisição de conteúdo é recebida pela *CDN*, ela poderá ser servida por um dos servidores de réplica locais, por um dos servidores de réplica estrangeiros ou pelo servidor de origem. Temos então uma probabilidade p_l de o cliente ser direcionado para um servidor local e p_f do redirecionamento ter como alvo um servidor estrangeiro. Consequentemente, a probabilidade do cliente ser redirecionado para o servidor de origem será $(1 - p_l - p_f)$. Como o tempo de resposta médio é uma métrica tradicional quando *CDNs* são avaliadas, definimos uma fórmula básica envolvendo o tempo de resposta dos servidores de réplica e do servidor de origem:

$$R = p_l R_l + p_f R_f + (1 - p_l - p_f) R_o \quad (1)$$

Onde R_l é o tempo de resposta médio ao requisitar os servidores locais e R_f é o tempo de resposta médio ao requisitar os servidores estrangeiros. Consequentemente, R_o é o tempo de resposta médio ao requisitar conteúdo ao servidor de origem.

A opção de redirecionar o cliente para o servidor de origem segue a ideia inicial do modelo usado como base para nosso trabalho [Molina et al 2004]. Apesar disso não ser uma prática normal em *CDNs*, podemos interpretar esse cálculo como sendo uma

abstração do tratamento de um erro de servidor de réplica (*cache miss*). De qualquer modo, nosso modelo possibilita uma fácil modificação para tratar diretamente essa questão. Sabendo que, podemos representar tempo de resposta matematicamente da seguinte maneira [Sayal and Vingralek 1998]:

$$R = N\tau + S \quad (2)$$

Onde N representa perdas, atrasos, retransmissões e em geral o volume de dados trocado, o τ representa a latência da rede, associada ao *RTT* e S representa o tempo de processamento da requisição que será representado por uma fila M/M/1. Logo, seguindo os conceitos de teoria das filas temos que:

$$R = p_l \left[N\tau_l + \frac{1}{\mu_l - \lambda_l} \right] + p_f \left[N\tau_f + \frac{1}{\mu_f - \lambda_f} \right] + (1 - p_f - p_l) \left[N\tau_o + \frac{1}{\mu_o - \lambda_o} \right] \quad (3)$$

Onde μ_l , μ_f e μ_o são respectivamente a média de taxa de serviço dos servidores de réplica locais, servidores de réplica estrangeiros e do servidor de origem. Assim como λ_l , λ_f e λ_o são as médias de taxa de chegada. Fica claro que, tanto as médias de taxa de serviço quanto às médias de chegada e a latência vão variar para cada servidor de réplica em relação aos clientes bem como a latência entre o servidor de origem e os clientes. Logo devemos considerar a latência do servidor de origem relativa a cada cliente τ_o^i , bem como sua taxa média de chegada λ_i onde $0 > i \geq M$. Analogamente teremos τ_{pl}^{ij} para o servidor de réplica j em relação ao cliente i, μ_l^j para o servidor de réplica j e λ_l^j para cliente i e servidor de réplica j, considerando $0 > i \geq M$ e $0 > j \geq P_l$. No caso dos servidores de réplica estrangeiros o conceito é o mesmo, cada servidor de réplica terá suas taxas separadas, porém, como prevemos a possibilidade de ocorrer mais de uma colaboração entre *CDNs* ao mesmo tempo temos de considerar as taxas para cada servidor de réplica ligado a cada *CDN* com a qual tenho um acordo de colaboração vigente. Logo temos τ_{pf}^{ijc} , μ_f^{jc} e λ_f^{jc} onde $0 > i \geq M$, $0 \geq j \geq P_f$ e $0 \geq c \geq C$. A Tabela 1 mostra um resumo dos parâmetros utilizados no modelo.

Em uma *CDN* as requisições têm como destino os servidores de réplica em melhor estado para servi-las e isso nem sempre significa o servidor mais próximo. Pode ocorrer do servidor mais próximo ao cliente estar sobrecarregado, resultando no redirecionamento para outro mais distante com melhores condições de servir o conteúdo. Isso significa que considerando o cliente i, o seu destino é incerto, logo p_f e p_l devem ter valor diferentes para cada cliente por servidor de réplica. Ainda, no caso do p_f para cada *CDN* interligada em uma colaboração com a *CDN* primária.

Tabela 1. Parâmetros encontrados no modelo proposto

Parâmetro	Descrição
\bar{R} , \bar{R}_l , \bar{R}_f e \bar{R}_o	Tempo de resposta médio: total, dos servidores locais, dos servidores estrangeiros e do servidor de origem respectivamente.
N	Perdas, atrasos, retransmissões e o volume de dados trocado em geral.
τ_{pl} e τ_{pf}	RTT entre clientes e servidores de réplica respectivamente.
τ_l e τ_f	RTT entre servidor de origem e servidores de réplica respectivamente.

p_l e p_f	Probabilidade de o cliente ser direcionado para um servidor local ou para um servidor estrangeiro respectivamente.
μ_l , μ_f e μ_o	Taxa média de serviço dos servidores de réplica locais, servidores de réplica estrangeiros e do servidor de origem respectivamente.
λ_l , λ_f e λ_o	Taxa média de chegada dos servidores de réplica locais, servidores de réplica estrangeiros e do servidor de origem respectivamente.

Existe um fator k , representando a capacidade das *CDNs*, associado às médias de chegada e de serviço. Então temos, $\mu_p = k\lambda_p$ para $k > 1$. Porém, para termos uma maior proximidade com a realidade temos um k associado à *CDN* primária e um diferente associado a cada *CDN* com a qual a primária tem um contrato de colaboração vigente. Como o k representa a capacidade da *CDN* de servir a requisições a ela direcionadas, ou seja, um quanto maior o valor do k maior a capacidade da *CDN*. As mesmas considerações se aplicam para as médias de chegada de serviço no caso do servidor de origem.

Seguindo a fórmula anteriormente citada podemos chegar ao tempo de resposta tanto para um cliente isolado, quanto para o sistema todo, definido por:

$$\bar{R} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M R_i \quad (4)$$

Podemos então agora partir para nossa expressão geral:

$$\bar{R} = \bar{R}_l + \bar{R}_f + \bar{R}_o \quad (5)$$

Sendo \bar{R}_l , \bar{R}_f e \bar{R}_o :

$$R_l = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{P_l} \left[p_{li}^j \left(N\tau_{pl}^{ij} + \frac{1}{\mu_l^j - \sum_{k=1}^M \lambda_{lk}^j} \right) \right] \quad (6)$$

$$R_f = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{P_f^c} \left[p_{fi}^{jc} \left(N\tau_{pf}^{ijc} + \frac{1}{\mu_f^{jc} - \sum_{k=1}^M \lambda_{fk}^{jc}} \right) \right] \quad (7)$$

$$R_o = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M H_i \left[N\tau_o^i + \frac{1}{\mu_s - \sum_{k=1}^M (H_i)\lambda_k} \right] \quad (8)$$

Sendo H_i :

$$H_i = \left[1 - \left(\sum_{j=1}^{P_l} p_{li}^j + \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{P_f^c} p_{fi}^{jc} \right) \right] \quad (9)$$

Onde M é o número de comunidade de clientes, P_l é o número de servidores de réplica locais à *CDN* primária, C é número de *CDNs* com colaboração ativa com a *CDN* primária, P_f^c é a número de servidores de réplica da *CDN* c disponíveis através do acordo de colaboração, p_{li}^j é a probabilidade do cliente i ser redirecionado ao servidor

local j , $p_{f_i}^{jc}$ representa a probabilidade do cliente i ser redirecionado ao servidor de réplica j que pertence a *CDN* parceira c . A mesma ideia se aplica para o τ_{pl}^{ij} , τ_{pf}^{ijc} , λ_{lk}^j , e λ_{fk}^{jc} sendo o τ representa o *RTT* e o λ a taxa média de chegada, o μ representa a taxa média de serviço de cada servidor de réplica sendo μ_l^j para os servidores locais e μ_f^{jc} para os estrangeiros. Temos também τ_o^i que representa o *RTT* das comunidades de clientes com relação ao servidor de origem, μ_s sendo a taxa de serviço do servidor de origem e N representa o número de pacotes necessários para uma transmissão entre cliente e servidor, envolvendo possíveis retransmissões e falhas seguindo a ideia de [Molina et al 2004]. Finalmente, H_i representa a probabilidade de uma requisição ser direcionada ao servidor de origem, o que na prática significa que não será nem direcionada a um servidor local nem um eventual servidor estrangeiro.

2.1. Detalhamento do Modelo

Analisando um cenário que possui M clientes, P_l servidores de réplicas locais e P_f^c servidores de réplica estrangeiros, supondo que $M = P_l = P_f^c$, ou até mesmo $M = P_l + P_f^c$, isso significaria que o número de servidores de réplica seria igual ou até maior que o número de comunidades de clientes. Esse cenário é muito improvável, na prática as redes *CDN* atendem uma quantidade muitas vezes maior de clientes para cada servidor por ela possuído. Akamai, a líder de mercado no momento da escrita desse artigo, reportou atender mais de um trilhão de requisições por dia pelo mundo [Belson 2012]. É plausível então esperar que, $M > P_l + P_f^c$.

Vamos supor que temos três servidores de réplica locais e dois servidores estrangeiros. Para cada cliente será atribuída uma probabilidade de redirecionamento para cada um dos servidores de réplica. Essas probabilidades serão posteriormente normalizadas levando em consideração a proporção de clientes que será redirecionada para cada grupo de servidores. Para exemplificar, vamos considerar um cliente requisitando conteúdo à rede. Como dito anteriormente, isso resultará em três valores p_{l1}^1 , p_{l1}^2 e p_{l1}^3 para os servidores de réplica locais e dois valores p_{f1}^{11} e p_{f1}^{21} . Esse valores são gerados de acordo com o modelo em [Molina et al 2004], inclusive considerando o *threshold* α , porém há um tratamento posterior diferenciado. A diferença básica do modelo anterior em relação ao nosso é que agora temos três possibilidades de redirecionamento e por isso o acerto de servidor de réplica (*cache hit*) anteriormente apresentado tem de ser dividido em três partes. Para isso propomos uma nova variável chamada *multi CDN proportion* (mcp). Ela representa quanto das requisições não servidas pelos servidores locais serão servidas pelos servidores de réplica estrangeiros. Temos então que para cada requisição recebida a chance de ser servida por um servidor de réplica local é representada pela variável *cache hit rate* (chr). A chance de a requisição ser redirecionada para um servidor de réplica estrangeiro de uma específica *CDN* parceira será $(1 - chr) \frac{mcp}{c}$ para $c > 0$. Então, as probabilidades mencionadas anteriormente agora serão normalizadas de acordo com sua proporção gerando assim as probabilidades finais de redirecionamento para cada entidade. Lembrando que a chance de um cliente ser redirecionado ao servidor de origem é H_i .

Outra modificação feita em relação ao modelo proposto anteriormente é relativa ao posicionamento das entidades. Anteriormente um salto inicial aleatório era escolhido,

esse salto, chamado de α_{c0} , se encontrava no intervalo $\left[0, \frac{2\pi}{L}\right]$. Todas as entidades seriam posicionadas em $\alpha_{ci} = \frac{2\pi}{L}i + \alpha_{c0}$ para todo $0 < i < L$ onde L seria a quantidade de entidades a serem posicionadas. Dessa maneira os clientes são sempre distribuídos de uma maneira uniforme. No nosso modelo propomos um posicionamento baseado em fatias iguais para cada entidade, porém, dentro da sua fatia, as entidades podem ter um posicionamento completamente diferente, ou seja, a posição da entidade i :

$$\alpha_{ci} = \frac{2\pi}{L}(i - 1) + \text{random}\left(0, \frac{2\pi}{L}\right) \quad (10)$$

Todos os outros cálculos seguem o modelo anterior levando em conta a existência agora de possíveis múltiplas *CDNs* que implica em novas variáveis separadas para cada uma dessas redes, porém, o processo é basicamente o mesmo.

Como demonstrado em (2) o tempo de resposta pode ser visto como a soma de dois fatores. Um representa o tempo de transmissão e o outro representa o tempo de processamento. Para melhor entendimento do comportamento desses dois fatores, como também do modelo, podemos isolar os dois fatores em duas equações separadas. Sendo R_p o tempo de processamento e R_t o tempo de transmissão. Sabendo também que para termos o tempo total de processamento precisamos somar os tempos de processamento de todas as entidades envolvidas, ou seja, $R_p = R_p^o + R_p^l + R_p^f$ onde R_p^o é o tempo de processamento do servidor de origem, analogamente R_p^l e R_p^f são os tempos de processamento dos servidores de réplica locais e estrangeiros respectivamente. Logo, temos que:

$$R_t = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left[\sum_{j=1}^{P_l} p_{li}^j N \tau_{pl}^{ij} + \sum_{c=1}^c \sum_{j=1}^{P_f^c} p_{fi}^{jc} N \tau_{pf}^{ijc} + H_i N \tau_o^i \right] \quad (11)$$

$$R_p = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left[\sum_{j=1}^{P_l} \left(\frac{p_{li}^j}{\mu_l^j - \sum_{k=1}^M \lambda_{lk}^j} \right) + \sum_{c=1}^c \sum_{j=1}^{P_f^c} \left(\frac{p_{fi}^{jc}}{\mu_f^{jc} - \sum_{k=1}^M \lambda_{fk}^{jc}} \right) + \frac{H_i}{\mu_s - \sum_{k=1}^M H_i \lambda_k} \right] \quad (12)$$

2.2. Validação

Na intenção de validar nossas modificações no modelo pensamos em aplicar um dos cenários previamente apresentados em [Molina et al 2004], no nosso modelo para podermos assim comparar os resultados entre os dois modelos.

Devido ao limite de tamanho, apresentaremos uma comparação envolvendo o nosso modelo e proposto por [Molina et al 2004]. O cenário escolhido para a comparação foi o segundo cenário. Nele temos 8 comunidades de clientes servidas por 4 servidores de réplica, $N = 5$, $\alpha = 1.01$, $k = 1.01$, *hit_ratio* variando no intervalo $[0,1]$, $\tau_o^{min} = \tau_o^{max} = 2s$, $\tau_d^{min} = \tau_d^{max} = 1s$, $\lambda_{min} = \lambda_{max} = 100$. Cada ponto representa a média de 500 repetições. Calculamos também seu intervalo de confiança a 95%, não plotado, pois ficaram graficamente menores que os marcadores de linha. Para o nosso modelo exatamente os mesmo dados foram considerados, a única diferença é a que existem algumas variáveis adicionais, relativas à colaboração entre *CDNs* que foram todas definidas de maneira a não existir nenhuma interferência de servidores de réplica

estrangeiros. A Figura 2 mostra o resultado obtido pelo trabalho anterior, já na Figura 3 podemos observar o resultado obtido com o nosso modelo. Podemos observar a semelhança das curvas comparando as duas figuras. É importante notar uma curva extra nos nossos resultados, essa curva corresponde ao tempo de resposta dos servidores de réplica estrangeiros sempre com valor zero, pois para uma comparação fiel nenhuma influência dos servidores de réplica estrangeiros foi permitida.

3. Metodologia e Resultados Experimentais

Nossa metodologia segue a linha do trabalho no qual nosso modelo foi baseado [Molina et al 2004], porém algumas mudanças foram feitas:

- i. Todas as entidades serão posicionadas de acordo com nossa proposta de distribuição (10).
- ii. Valores, máximo e mínimo, que representam a latência entre os servidores de réplica e o servidor origem ($\tau_f^{min}, \tau_f^{max}$). Cada servidor terá sua latência como sendo um valor aleatório entre o máximo e o mínimo.
- iii. Quando não mencionado, o experimento utilizou um $mcp = 0.6$. De acordo com nossa experiência, essa proporção representa bem um acordo de colaboração. É grande o suficiente para resultar em uma quantidade considerável de redirecionamentos porém não excluindo a possibilidade de *cache misses*.

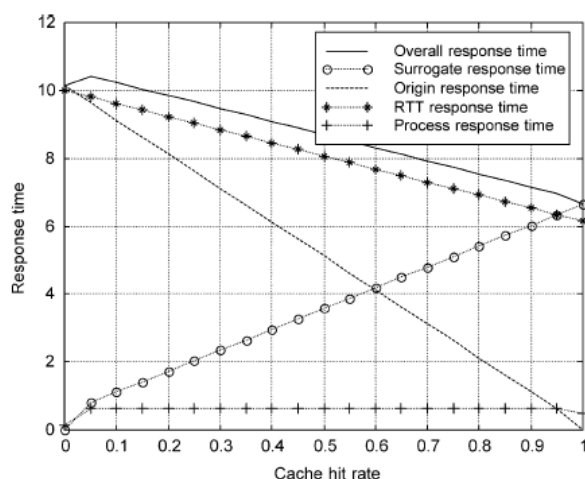


Figura 2. Resultado obtido por [Molina et al 2004].

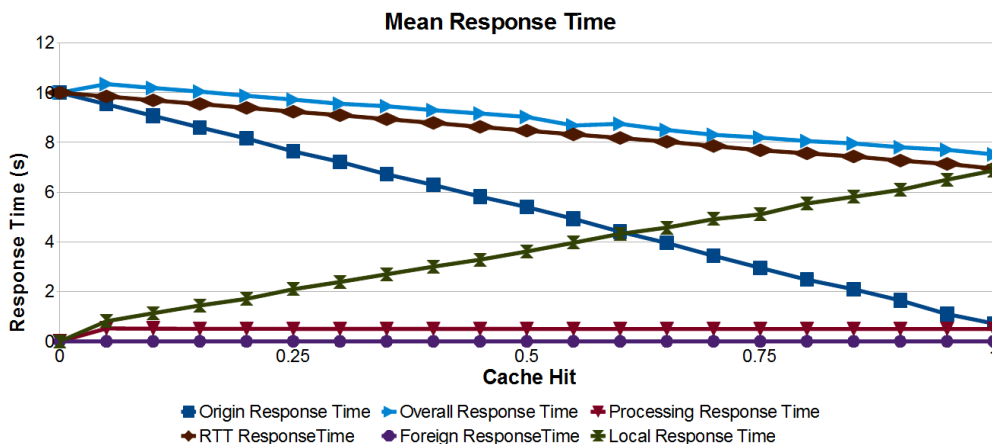


Figura 3. Resultados retirados do nosso modelo

- Um fator de capacidade (k) para cada *CDN*, representando o incremento com respeito à taxa média de chegada para manter a estabilidade ($\mu > \lambda$).
- Todas as métricas são resultado da média de 1000 coletas. Os intervalos de confiança a 95% foram calculados, porém não apresentados, pois ficaram tão próximos às médias que não ultrapassam os marcadores de linha.

Começaremos nossas análises tentando responder umas das perguntas básicas quando se discute colaboração entre *CDNs*. Vale a pena colaborar? Para responder essa pergunta vamos comparar dois cenários com configurações parecidas e ver como as métricas se comportam para tentar chegar a uma conclusão. Utilizamos como base um dos cenários mostrados por [Molina et al 2004]. No cenário temos 2,500 comunidades de clientes servidas por 75 servidores de réplica no total. Para manter uma coerência, o somatório entre o número de servidores de réplica nos dois casos é mantido igual, ou seja, ($P_f + P_l = 75$), sendo $P_l = 75$ no cenário sem colaboração e $P_l = 50$ e $P_f = 25$ no cenário com colaboração. Todas as redes tem a mesma capacidade, ou seja $k_l = k_f = 1.2$. Todas as outras variáveis são configuradas igualmente entre os dois cenários, sendo $\alpha = 1$, *hit_ratio* variando no intervalo $[0,1]$, $\tau_o^{min} = 0.5s$ e $\tau_o^{max} = 1s$, $\tau_d^{min} = 0.2s$ e $\tau_d^{max} = 0.7s$, $\tau_f^{min} = 0.3s$ e $\tau_f^{max} = 0.8s$, $\lambda_{min} = 50$ e $\lambda_{max} = 100$ e finalmente $N = 5$.

A Figura 4 mostra o comportamento do tempo de resposta, sempre em segundos, em relação ao *cache hit* no cenário sem colaboração. Mantemos um tempo de processamento quase igual e um tempo de resposta variando de dois segundos até pouco menos que um segundo. É importante mostrar que a curva referente ao tempo de resposta dos servidores de réplica estrangeiros tem sempre tempo de resposta igual a zero, pois, não há colaboração nesse cenário.

Na Figura 5 temos o mesmo cenário, porém agora com colaboração. Observamos diminuição no tempo de resposta total, chegando a ser 35% menor, no tempo de resposta do servidor de origem, chegando a ser 60% menor e 35% menor quando considerando o *RTT*. Podemos observar também o comportamento do tempo de resposta relativo aos servidores estrangeiros que é parecido com a curva do servidor de origem, pois quanto maior o *cache hit*, menor a quantidade de clientes servidos por alguém diferente dos servidores de réplica locais. Outra consequência interessante é que as curvas de tempo total de resposta e tempo de resposta dos servidores de réplica locais terminam praticamente no mesmo ponto que o cenário sem colaboração.

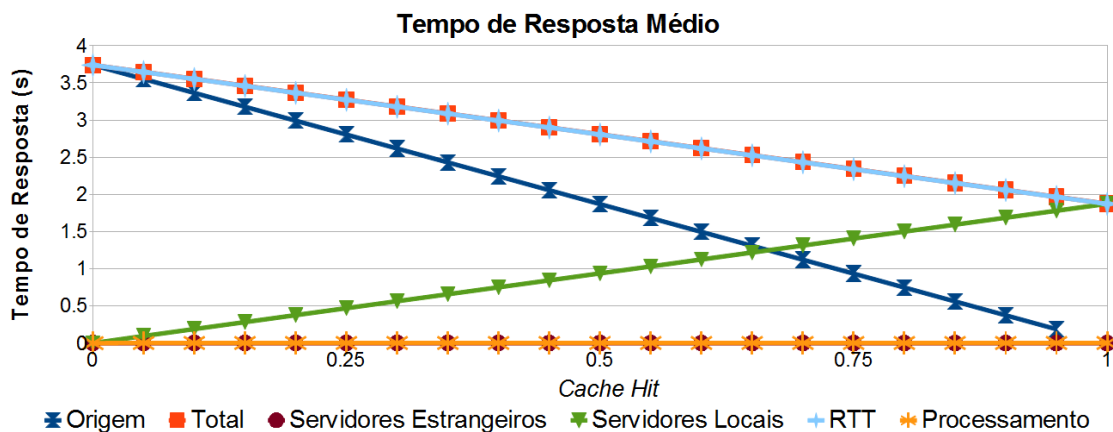


Figura 4. Cenário exemplo sem a colaboração entre *CDNs*

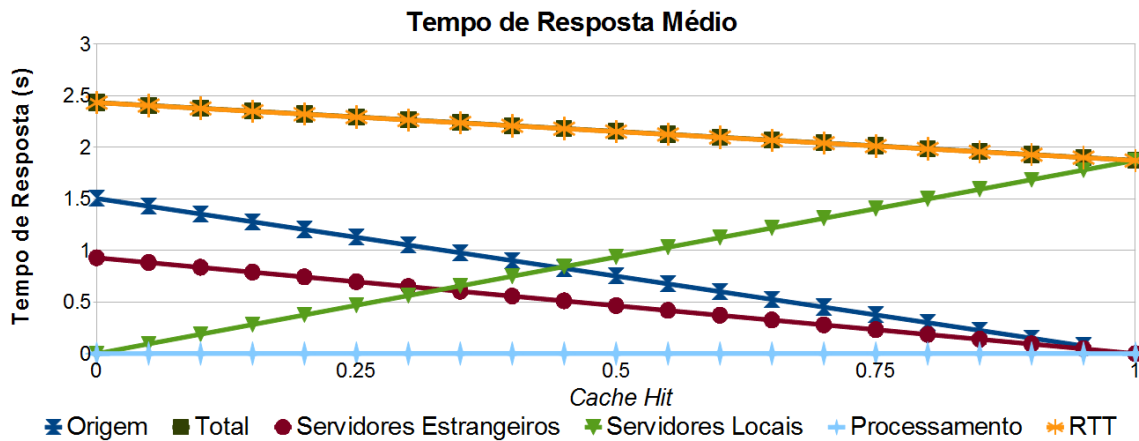


Figura 5. Cenário exemplo com a colaboração entre CDNs

Como a extensão proposta adicionou variáveis ao modelo, achamos que seria bom avaliar as mesmas de maneira a obter um melhor entendimento do novo modelo. Escolhemos as duas principais métricas em relação a colaboração para uma maior análise, k_f e mcp . O primeiro foi comparado em relação ao k_l na intenção de entender como a capacidade da *CDN* estrangeira influencia o tempo de resposta. Com o segundo analisamos sua relação com o k_l e o k_f , com o intuito de ter uma melhor compreensão do mcp e sua relação com o tempo de resposta.

A Figura 6 mostra a relação entre o k_l , k_f e o tempo de resposta. O cenário utilizado é igual ao anterior, onde há a colaboração, porém variando a capacidade das *CDNs* (k_l e k_f) e com $chr = 0.5$. Como esperado, para valores altos dos dois fatores temos ótimos resultados em termos de tempo de resposta. Considerando valores muito próximos de 1, quando as duas variáveis apresentam tais valores o tempo de resposta cresce consideravelmente, porém quando apenas uma delas tem valores muito baixos o comportamento difere. No caso da k_f apesar de vermos um claro aumento no tempo de resposta total o impacto é bem menor se comparado aos mesmos valores para o k_l . Isso acontece, pois no caso dos servidores estrangeiros a influência no tempo total é um pouco menor devido ao mcp . Outra consequência deste mesmo aspecto é que mesmo com um k_f elevado, o impacto de ter uma *CDN* localmente muito sobrecarregada pode elevar consideravelmente o tempo de resposta. Essa segunda observação levou a um questionamento, como o tempo de resposta se comportaria se variarmos a influência da *CDN* estrangeira no atendimento às requisições?

As Figuras 7 e 8 mostram uma análise do comportamento do tempo de resposta total quando variamos o k_f em relação ao mcp e o k_l em relação ao mcp , respectivamente. Na Figura 7 vemos que o comportamento do tempo de resposta é bem linear e como esperado, mcp muito próximo de zero aumenta consideravelmente o tempo de resposta total, pois força o servidor de origem a servir mais requisições, como ele normalmente está mais distante que os servidores de réplica o tempo de resposta aumenta. O tempo também aumenta quando temos um k_f muito próximo de 1. Porém, na Figura 8 vemos um comportamento interessante do tempo de resposta total. Ao contrário da Figura 6 onde mesmo com um k_f alto, tínhamos um tempo de resposta total também alto, agora quando variamos a proporção de requisições que a *CDN* estrangeira receberá o valor alto do k_f faz diferença, diminuindo o tempo total de resposta.

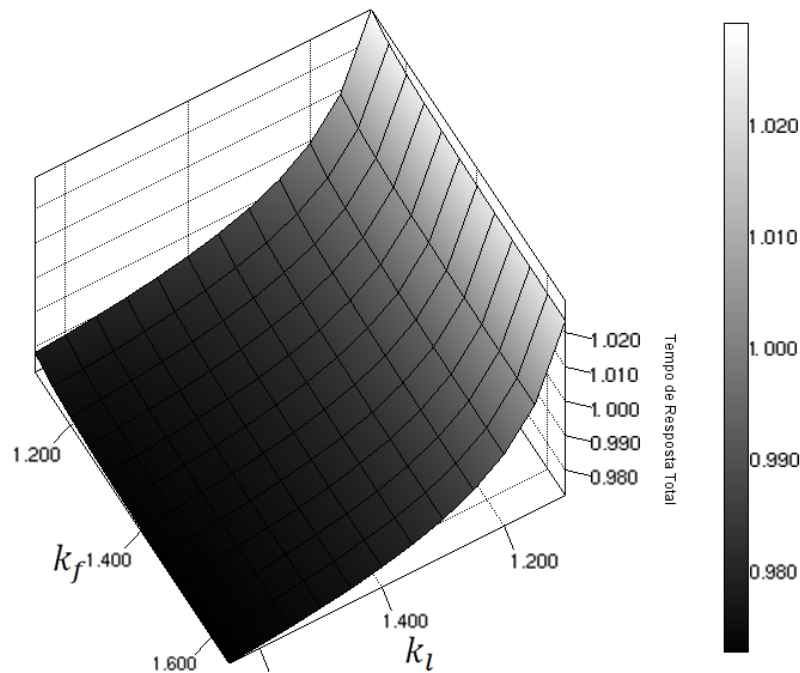


Figura 6. Relação entre o k_l e k_f , representando as capacidades das CDNs locais e estrangeiras respectivamente.

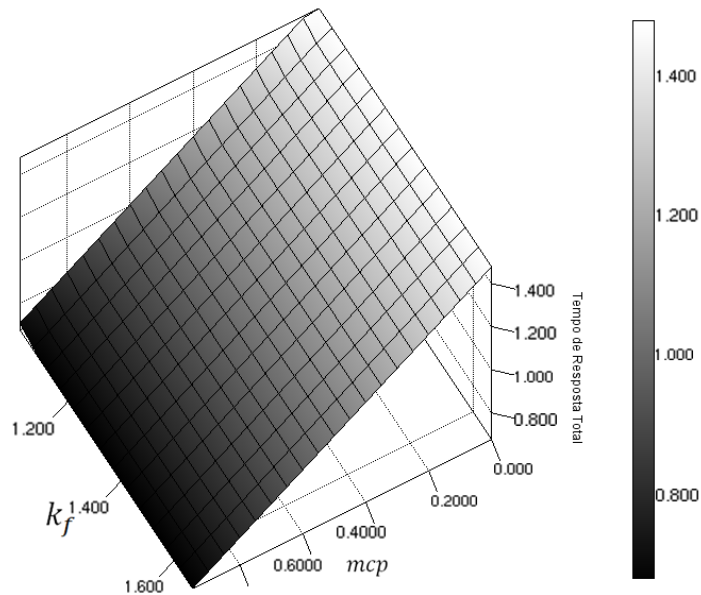


Figura 7. O impacto da variação do k_f e do mcp no tempo total de resposta.

4. Lições Aprendidas

Depois de analisar os dados coletados a partir do nosso modelo sobre a colaboração de redes de distribuição de conteúdo, aprendemos que a colaboração entre múltiplas *CDNs* pode trazer ótimos resultados em termos de qualidade de experiência de usuário. Vemos claramente uma redução do tempo total de resposta quando há a colaboração entre *CDNs*. Isso acontece, pois normalmente servidores de réplica, mesmo estrangeiros, estão mais próximos do cliente que o servidor de origem.

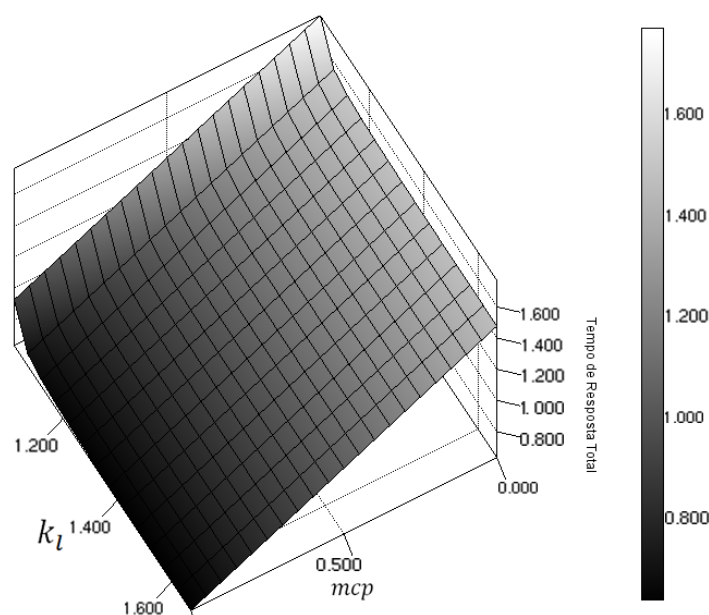


Figura 8. O impacto da variação do k_l e do mcp no tempo total de resposta.

Aprendemos também que, a colaboração pode trazer benefícios também no caso de uma CDN primária sobrecarregada que pode ao redirecionar requisições para uma CDN estrangeira diminuir o tempo de resposta total observado pelo usuário. A sobrecarga na CDN primária pode ocorrer tanto por evento de *flash crowd* quanto por baixa capacidade natural da mesma. Nos dois casos a colaboração poderia ajudar a diminuir o tempo de resposta total observado pelo usuário resultando num melhor desempenho da rede.

5. Trabalhos Relacionados

Analisando trabalhos publicados encontramos um número moderado em termos de políticas e ferramentas na área de cooperação entre *CDNs*. Esse número é ainda mais moderado quando consideramos modelagem analítica envolvendo essa cooperação.

5.1. Colaboração Entre *CDNs*

Em [Pathan and Buyya 2007] os autores introduzem a taxonomia das redes de distribuição de conteúdo separando *CDNs* de acordo com quatro critérios: composição, distribuição e gerenciamento de conteúdo, roteamento de requisições e análise de desempenho. Ainda, os autores citam como duas principais entidades que compõe as *CDNs* o servidor de origem e os servidores de réplica. O primeiro armazena a cópia “original” do conteúdo já o segundo pode deter ter uma cópia de um conteúdo específico se a demanda por conteúdo na sua região pedir. Em [Vakali and Pallis 2003] os autores descrevem entidades básicas das redes de distribuição de conteúdo, seus relacionamentos e comportamentos e também comentam diversos aspectos relativos à *CDNs*, incluindo discussões sobre colaboração entre *CDNs* seguindo as atividades do grupo de trabalho do IETF *Content Distribution Internetworking(CDI)* [Day et al 2003].

Em [Biliris et al 2002], os autores propõem o redirecionamento de clientes através de técnicas de redirecionamento por *Domain Name Server (DNS)*. Usando um servidor de *brokering* para tratar dos redirecionamentos com *Intelligent Domain Name Server (IDNS)*, que considera métricas como a carga nos servidores no lugar de respostas estáticas recebidas quando usamos um servidor de *DNS* normal. O principal

problema é que *IDNS* é proprietário e por isso pode não ser a melhor escolha para colaboração entre *CDNs*. Em [Turrini 2002], um trabalho relacionado ao *CDI*, a colaboração é possível através de três sistemas; *Request-routing Internetworking system (RRIS)*, *Accounting Internetworking System (AIS)* and *Distribution Internetworking System (DIS)*. O *RRIS* redireciona requisições dos clientes para a *CDN* que estiver melhor condicionada a satisfazer o pedido. Ele se baseia em dados de desempenho trocados entre as *CDNs* através do *Request-Routing Information Exchange Protocol (RIEP)*. A principal tarefa do *AIS* é trocar dados de contabilidade, em outras palavras dados relacionados ao consumo de recursos. Finalmente, o *DIS* move conteúdo entre as *CDNs*. O grupo de trabalho *Content Delivery Networks Interconnection (CDNI)* [CDNi 2012] também do IETF começou as discussões sobre protocolos e padrões para possibilitar a colaboração entre *CDNs*. O principal objetivo é possibilitar a colaboração de maneira a suportar a entrega de conteúdo fim-a-fim a partir de provedores de conteúdo através de múltiplas *CDNs* para usuários finais. Porém, ao mesmo tempo levanta algumas questões como o complexo mecanismo de contabilidade e gerenciamento de acordos de serviços necessários para o bom funcionamento da colaboração. Em [Buyya 2006], os autores introduzem os conceitos básicos sobre colaboração entre *CDNs*, onde o modelo proposto é baseado em um conceito diferente de *CDNs*, a saber, o *Content Service Networks (CSN)*, que age como outra camada de infraestrutura em cima da *CDN* formando o *CSDN*. Eles propõem também *Virtual Organizations (VO)* como uma maneira de formação e compartilhamento de recursos entre as *CSDNs*. Usando a abordagem por eles proposta é possível compartilhar e requisitar recursos de acordo com sua devida necessidade. Em [Pathan et al 2007] a discussão sobre o modelo anterior proposto é estendida. A formação de uma *VO* é iniciada por uma *CDN* chamada de primária, todas as outras são chamadas de *peering CDNs*. Ações dos usuários finais podem resultar em operações dentro das *VO* que são totalmente transparentes no ponto de vista do usuário.

5.2. Modelagem de *CDNs*

Em [Molina et al 2004] os autores apresentam um modelo baseado em filas M/M/1 na intenção de modelar aspectos do tempo de resposta, e seus componentes, em uma rede de distribuição de conteúdo. Através do modelo proposto os autores mostram conceitos básicos como a vantagem da utilização de servidores de réplica devido às suas proximidades dos clientes finais. Entretanto, algumas limitações ficam evidentes como não considerar múltiplas *CDNs* e o posicionamento das entidades de uma maneira bem estática. Limitações essas que são superadas no modelo proposto nesse trabalho. Em termos de colaboração entre *CDNs*, até a escrita desse artigo, o único trabalho encontrado foi [Pathan and Buyya 2008] onde os autores modelam a colaboração como um conjunto de filas M/G/1 e demonstram como a colaboração pode ajudar uma *CDN* a manter acordos de nível de serviço mesmo recebendo quantidades altas de requisições. Embora importante o trabalho tem suas limitações, como não considerar as influências da rede e desconsiderar a possibilidade de um *cache miss*. Vale a pena lembrar que o modelo proposto nesse trabalho incorpora considerações a respeito do tráfego na rede.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Redes de distribuição de conteúdo são, atualmente, o modelo mais aceito para uma entrega eficiente de conteúdo pela Internet. Essa popularidade resultou em um número significativo de *CDNs* implantadas que tem diversas características, variando por

exemplo, em tamanho e conteúdo servido. Considerando esse cenário, a colaboração entre essas diversas *CDNs* é uma necessidade. Através dessa colaboração, as redes podem expandir sua cobertura e melhorar a qualidade de experiência do usuário. Nesse artigo propomos um modelo analítico, uma extensão do modelo em [Molina et al 2004], que visa entender melhor aspectos de desempenho na colaboração entre múltiplas *CDNs*. Nosso modelo foi capaz de capturar características importantes da colaboração entre *CDNs*. Através do modelo proposto podemos constatar que a colaboração pode resultar em significativa queda no tempo total de espera dos usuários. Isso é resultado direto do redirecionamento de clientes para os servidores de réplica estrangeiros que, mesmo não pertencendo a *CDN* primária, estão normalmente mais próximos dos clientes quando comparados ao servidor de origem. Outra importante constatação foi a possibilidade de utilização de colaboração para aliviar *CDNs* primárias de cargas consideráveis como, por exemplo, a ocorrência de um evento de *flash crowd*.

Atualmente sabe-se que clientes não são redirecionados diretamente ao servidor de origem, nesse trabalho consideramos esse redirecionamento como sendo uma aproximação do tratamento de um *cache miss* que envolveria o servidor de réplica requisitar o conteúdo para o servidor de origem e depois enviar o mesmo para o cliente. Por isso como trabalho futuro propomos um tratamento mais detalhado do *cache miss*. Outra continuação seria confrontar os resultados obtidos com um modelo de simulação, não feito nesse trabalho, pois não existe simulador para esse cenário atualmente.

References

- Pathan, M., Buyya, R., and Vakali, A. (2008) “CDNs: state of the art, insights, and imperatives”, Content Delivery Networks, Germany, Springer-Verlag, Vol. 9.
- Molina, B., Palau, C. E., and Esteve, M. (2004) “Modeling Content Delivery Networks and their Performance,” Computer Communications, Vol. 27, pp. 1401-1411.
- Pathan, M. and Buyya R. (2008) “Performance models for peering content delivery networks”, Proc. 16th IEEE International Conference on Networks, USA.
- Sayal, P.S.M. and Vingralek, P. (1998) “Selection algorithms for replicated web servers”, ACM SIGMETRICS Internet Server Performance Workshop, USA, June.
- Belson, D. (2012) “Akamai State of the Internet Report” ACM SIGOPS Operating Systems Review.
- Pathan, M. and Buyya R. (2007) “A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks,” Technical Report, Melbourne.
- Vakali, A. and Pallis, G. (2003) “Content Delivery Networks: Status and Trends”, IEEE Internet Computing, IEEE Computer Society, pp. 68-74.
- Day, M., Cain, B., Tomlinson, G., and Rzewski, P. (2003) “A model for content internetworking”, IETF RFC 3466.
- Biliris, A., Cranor, C., Douglis, F., Rabinovich, M., Sibal, S., Spatscheck, O. and Sturm, W. (2002) “CDN brokering”, Computer Communications, Volume 25pp. 393-402.
- Turrini, E. “An architecture for Content Delivery Networks federation”, (2002).
- CDNi. “Content Delivery Networks Interconnection Work Group”. Disponível em <http://tools.ietf.org/wg/cdni>. Acessado em Dezembro de 2012.
- Pathan, M., Broberg, J., Bubendorfer, K., Kim, K.H., Buyya, R. (2007) “An architecture for virtual organization (VO)-based effective peering of content delivery networks”, 16^o IEEE Intl. Symposium on High Performance Distributed Computing, USA.
- Niven-Jenkins, B., Le Faucheur, F., Bitar, N. “Content Distribution Network Interconnection (CDNI) Problem Statement”. IETF Draft, Jan. 2012.