

Fornecendo Serviços de *Distributed Home Theatre* em Redes com *Multicast* e em Redes com Servidores Distribuídos

Nelson L. S. Fonseca e Cristiane M. R. Franco

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Computação

Caixa Postal 6176

13083-970 Campinas SP

e-mail {nfonseca, crisreis}@dcc.unicamp.br

Resumo

Aplicações de vídeo apresentam grande potencial de sucesso comercial na futura Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga. Estas aplicações serão também as maiores consumidoras de banda passante neste novo ambiente. Sendo assim, a compreensão dos requisitos dos serviços de vídeo é de grande importância para o projeto da rede. Este artigo investiga diferentes projetos de redes para o fornecimento de aplicações de "*Distributed Home Theatre*", um serviço de vídeo que permite a usuários distribuídos discutir um filme. Investiga-se o compromisso entre redução de banda passante e a replicação de servidores em redes com multicast (redes com compartilhamento de fluxo) e redes com servidores distribuídos. Avalia-se o impacto da distribuição dos usuários e do número de usuários por sessão. Além disto, analisa-se redes que ofereçam tanto serviços de Vídeo sob Demanda e DHT.

Abstract

Video service is both a business driver and a bandwidth consumer for the future integrated broadband network. Understanding video services requirements is of paramount importance for network design. In this paper, we investigate different network designs for the provision of Distributed Home Theatre, a video service which allows distributed users to debate a film. We investigate the trade off between bandwidth reduction and the replication of video servers in networks with multicast and in networks with distributed servers. Moreover, we also analyse networks with both VoD and DHT services.

1) Introdução

O advento da integração de tráfego possibilitou a concepção de inúmeras aplicações multimídia. Dentre as aplicações mais promissoras encontram-se a vídeo conferência e o vídeo sob demanda. A vídeo conferência é uma extensão da áudio conferência na qual seus participantes podem trocar informações visuais. Os usuários de um sistema de vídeo sob demanda podem selecionar e assistir filmes armazenados em repositórios de filmes. Este artigo estuda "*Distributed Home Theatre* (DHT)", uma aplicação híbrida na qual um filme é simultaneamente exibido aos participantes de uma vídeo conferência, permitindo assim que um grupo de usuários distribuídos discuta sobre o conteúdo de um filme. Em uma sessão de DHT qualquer participante pode iniciar um debate sobre uma cena específica através da execução de comandos de VCR. Espera-se que a aplicação "*Distributed Home Theatre*" seja de grande utilidade no ensino à distância bem como nas teleconferências profissionais [1], [2].

As aplicações baseadas em vídeo serão as maiores consumidoras de banda passante nas futuras Rede Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL). Como por exemplo,

menciona-se a distribuição dos serviços de vídeo sob demanda nos Estados Unidos onde existem aproximadamente 77.000.000 residências com televisores ligados durante o horário nobre [3]. Considerando-se taxas de transmissão de 6 Mb/s para o padrão MPEG-II NTSC, 10 Mb/s para JPEG NTSC, e 20 Mb/s para HDTV, os requisitos de largura de banda, para transmissão de filmes codificados de acordo com estes padrões, são respectivamente de 462 Tb/s, 770 Tb/s e de 1.54 Pb/s, o que está muito aquém da capacidade de transmissão das redes de comunicação num futuro próximo [4].

Em [5], analisou-se o compromisso (*trade-off*) entre a redução do custo de largura de banda e a replicação de servidores no projeto de redes para o fornecimento de DHT. Para tal, introduziu-se uma função de custo que considera o custo tanto de armazenamento quanto de largura de banda. Avaliou-se diversos cenários replicando-se servidores e *caches* ao longo da rede. Além disto, investigou-se redes que oferecem serviços tanto de Vídeo sob Demanda (VoD) bem como de DHT [6]. Neste estudo ficou claro que as técnicas de replicação de servidores/*cache* não são suficientes para reduzir a grande quantidade de banda passante exigida pelos serviços de DHT.

No presente artigo, investiga-se o compromisso entre redução de banda passante e replicação de servidores de filmes em redes com características específicas, a saber: redes com multicast (redes com compartilhamento de fluxo - RCCF) e redes com servidores distribuídos (RCSD). Avalia-se o impacto destas características na redução de banda passante e compara-se os benefícios de se adotar multicast e servidores distribuídos para o fornecimento de DHT. Avalia-se também a influência de parâmetros tais como número de usuários por sessão e distribuição geográfica dos usuários no custo total da rede. Além disto estuda-se redes com serviços de DHT e VoD.

Este artigo está organizado da seguinte forma: A seção II introduz os serviços de *Distributed Home Theatre*. A seção III descreve as técnicas de projeto de rede para a redução do custo de banda passante. A seção IV introduz uma metodologia para o cálculo do custo da rede. As seções V e VI analisam redes com compartilhamento de fluxo e redes com servidores distribuídos. Finalmente, algumas conclusões são expostas na seção VII.

II) Distributed Home Theatre

A idéia básica do serviço de "*Distributed Home Theatre*" (DHT) é permitir que um grupo distribuído de usuários possa debater sobre o conteúdo de um filme. O DHT pode ser visto com uma teleconferência na qual os participantes estão assistindo simultaneamente um mesmo filme. Qualquer participante de uma sessão de DHT pode executar operações de VCR e iniciar um debate sobre uma cena específica. O *Distributed Home Theatre* é um serviço promissor para ensino à distância bem como para conferências profissionais.

Assume-se uma rede de distribuição hierárquica composta por um *backbone* ATM, redes metropolitanas (ATM) e redes regionais (redes de CATV) conectadas à redes metropolitanas via *head ends* (Figura 1). Os servidores de vídeo podem estar conectados a qualquer nível da árvore de distribuição. Na estrutura atual de CATV o número de usuários conectados a uma árvore deve ser menor do que mil para garantir uma Qualidade de Serviço (QoS) mínima [7]. Esta característica deve ser mantida mesmo para as futuras redes ATM de forma a manter os *switches* com tamanhos razoáveis.

A implementação dos serviços de DHT dependem de características dos *switches* e dos servidores de vídeo. Neste artigo, investiga-se redes com características diversas no fornecimento de serviços de DHT. No caso mais simples, existe um fluxo individual de vídeo para cada usuário e todos os fluxos de vídeo de uma sessão DHT são distribuídos pelo mesmo servidor (Redes *sem* compartilhamento de fluxo - redes sem compartilhamento de fluxo [5]). Em redes *com* compartilhamento de fluxo (RCCF), o fluxo de vídeo é compartilhado pelos usuários de uma sessão até o último nó em comum da sub-árvore de distribuição (uma sub-árvore que

conecta todos os participantes de uma sessão de DHT) e todos os fluxos de vídeo de uma sessão são fornecidos pelo mesmo servidor. Em uma terceira abordagem, o fluxo de vídeo é fornecido pelo servidor mais próximo do usuário. Somente mensagens de controle são trocadas entre os servidores envolvidos em uma sessão DHT (Redes com servidores distribuídos - RCSD). Estas três abordagens representam diferentes compromissos entre o consumo total de banda passante e a demanda de banda imposta em cada servidor individualmente.

Assume-se que a rede de distribuição é uma árvore d -ária balanceada (Figura 2). Cada nó da árvore representa um comutador e as folhas representam os *head ends* que conectam os usuários à rede. Cada comutador pode ter um servidor (ou um *cache* de programas) conectados a ele. O número de *head ends* H é determinado pelo número de usuários, dado um número máximo de usuários por *head end*. O número de níveis da hierarquia é dado por:

$$L(d) = \log_d(H)$$

e o número de comutadores $W(d)$ nesta rede é dado por:

$$W(d) = \sum_{n=1}^{L(d)} d^n$$

Nos exemplos numéricos assume-se, sem perda de generalidade, uma árvore binária balanceada com 1024 *head ends* e 100 usuários por *head end*. Entretanto, esta formulação pode ser facilmente generalizada para árvores d -árias não balanceadas.

III) Replicação de Filmes

A investigação do compromisso entre o custo de largura de banda e o custo de replicação de servidores de filmes é essencial no projeto de redes que ofereçam serviços de vídeo. Se o custo de largura de banda fosse insignificante, teria-se um servidor central (ou servidores) fornecendo exibição de filmes para toda a comunidade da rede. Se ao contrário, o custo de servidor fosse zero, teria-se um repositório de vídeo nos "set top box" de cada usuário. Obviamente, nenhuma destas abordagens é realista. Os recursos atuais da rede estão longe de fornecer a demanda de largura de banda gerada pela solução de um servidor central e os servidores de vídeo são mais complexos e mais caros do que os atuais computadores pessoais. Assim sendo, uma solução para aliviar os requisitos de largura de banda consiste na replicação de servidores em alguns nós da árvore de distribuição.

Na tentativa de entender o compromisso entre o custo de largura de banda e o custo de replicação de programas analisa-se uma estratégia de replicação. Ao se replicar servidores em um nível inferior da árvore diminui-se os requisitos de largura de banda de cada servidor e, conseqüentemente, o custo individual dos servidores também diminui. A estratégia de replicação adotada considera inicialmente o custo de uma rede com um único servidor localizado na raiz da árvore de distribuição (nível 0). Numa segunda etapa, coloca-se servidores somente nos nós do nível 1 e computa-se o custo desta configuração. Procede-se dessa forma considerando-se, na i -ésima etapa, redes com servidores localizados somente nos nós do i -ésimo nível. O uso desta estratégia permite investigar o nível ótimo para replicação de servidores. No entanto em um projeto real da rede, o número e a localização dos servidores são determinados pela demanda regional, pela topologia da rede e pelo custo da tecnologia.

Ao invés de replicar todo o servidor, pode-se replicar servidores com apenas os filmes mais populares. Estes servidores são denominados *caches*. Desta forma, tenta-se reduzir o custo através da redução do custo dos servidores individuais. Entretanto é necessário manter um servidor completo na raiz da árvore de distribuição para lidar com os pedidos por programas não populares (*cache misses*). Para avaliar o impacto da adoção de *caching* usa-se o mesmo raciocínio da replicação de servidores: no passo $l + 1$, considera-se *caches* somente no l -ésimo nível (em adição ao servidor central na raiz).

IV) Computando o Custo da Rede

Nesta seção mostra-se uma metodologia, para calcular os custos da rede, que pode ser usada no projeto de redes reais. Para permitir a comparação de tendências, tanto o custo de largura de banda quanto o de armazenamento foram normalizados pelo maior valor de cada curva. Os resultados também são apresentados pela profundidade normalizada (nível 0 corresponde ao nível da raiz e o nível 1 corresponde ao nível dos *head ends*). Nos exemplos numéricos avalia-se o impacto do número de usuários por sessão e o impacto da distribuição dos usuários por sessão no custo total da rede. O custo dos sinais de voz e de controle não são levados em consideração, visto que o custo de largura de banda dos sinais de vídeo é dominante.

O custo de largura de banda de uma sessão de DHT é determinado pelo número de canais alocados para a sessão. Desta forma, a distribuição geográfica dos usuários de uma sessão de DHT tem um grande impacto no custo da banda passante. Entretanto, a distribuição real dos usuários só será conhecida quando o sistema estiver em operação. Assim sendo, os resultados deste trabalho foram gerados considerando-se três distribuições diferentes: uma distribuição uniforme, uma distribuição normal, e uma distribuição normal por *head end* para representar, respectivamente, padrões de concentração baixo, médio e alto de usuários por sessão de DHT. A média da distribuição normal é igual à moda do número de *head ends* e cada distribuição normal por *head end* é centrada no *head end* em questão. Por exemplo, ao se considerar uma distribuição normal por *head end* com média 525 e com desvio padrão 5, 68.26% dos participantes de uma sessão de DHT estão estatisticamente localizados entre os *head ends* 520 e 530

O custo total de largura de banda (C_b) é a soma do custo de cada canal alocado e o custo de um canal alocado é proporcional ao número de programas que passam através dele. Assim,

$$C_b = \gamma_b \sum_{\Lambda} b(\lambda_i)$$

em que:

Λ - é o conjunto de canais

$b(\lambda_i)$ - é a largura de banda do canal

γ_b - é uma constante de normalização

C_b é normalizado pelo fator γ_b , o que torna mais fácil a exploração de cenários com custos diferentes

O custo de um servidor depende do número de filmes armazenados e da taxa de acesso a esses filmes. A taxa de acesso a um programa está relacionada à largura de banda necessária para fornecer os pedidos por este programa. Por exemplo, um servidor com os dez filmes mais populares (taxa de acesso alta) pode ter uma demanda maior de largura de banda (e conseqüentemente maior custo) do que um servidor com um maior número de filmes não tão populares.

Para capturar os dois fatores do custo de armazenamento utiliza-se a lei de Zipf [9]. Foi demonstrado experimentalmente que a lei de Zipf modela a popularidade dos filmes em locadoras de filmes nos Estados Unidos, utilizando dados publicados em revistas especializadas tais como a *Billboard Magazine* e a *Video Store Magazine*[3]. Assume-se, neste artigo, que a popularidade dos programas nos serviços de DHT será a mesma da locação em lojas de

aluguel de filmes. De acordo com a lei de Zipf, a probabilidade $Z(i)$ do programa i ser escolhido dentre N_p programas armazenados é dada por:

$$z(i) = C/i$$

$$C = 1 / \left(\sum_{i=1}^{N_p} 1/i \right)$$

Define-se o custo do servidor localizado na raiz da árvore de distribuição como sendo unitário. Assim, o custo de armazenamento na raiz é:

$$C_{raiz} = \sum_{i=1}^{N_p} z(i)$$

em que $z(i)$ é a probabilidade do programa i ser escolhido dentre todos os programas, ordenados de forma decrescente por suas popularidades.

O custo total de armazenamento é dado pela soma individual dos custos de cada servidor é

$$C_s = \sum_{\Delta} C_i$$

no qual Δ é o conjunto de todos os servidores da rede.

Finalmente, o custo total do fornecimento de serviços de DHT é dado pela soma dos custos de largura de banda e dos custos de armazenamento.

$$C_t = C_b + C_s$$

Neste artigo, os resultados foram obtidos através de simulação. O método de replicações independentes foi usado para gerar intervalos de confiança com 95% de nível de confiança. O tamanho da amostra usada para calcular cada ponto das curvas foi tal que a largura dos intervalos de confiança é menor do que 5% da média. Dado que os resultados gerados tiveram um alto grau de confiança, apenas os valores médios são mostrados para facilitar a interpretação visual dos gráficos.

Para permitir a comparação de tendências, tanto o custo de largura de banda quanto o de armazenamento foram normalizados pelo maior valor de cada curva. Os resultados também são apresentados pela profundidade normalizada (nível 0 corresponde ao nível da raiz e o nível 1 corresponde ao nível dos *head ends*). Nos exemplos numéricos mostra-se o impacto do número de usuários por sessão e o impacto da distribuição dos usuários por sessão no custo total da rede.

V) Redes com Compartilhamento de Fluxo (RCCF)

Em redes com multicast (Redes com compartilhamento de fluxo - RCCF) um fluxo de vídeo é compartilhado por dois ou mais usuários da sessão até o nó da árvore mais profundo que existe em comum entre eles. Nesta seção investiga-se o projeto de redes com compartilhamento de fluxo e os resultados obtidos são comparados com os resultados obtidos em redes sem compartilhamento de fluxo.

V.I) Replicação de Servidores

Em RCCF o custo de largura de banda de uma sessão DHT é o mesmo para qualquer servidor localizado ao longo da subárvore de distribuição da sessão (subárvore que conecta todos os usuários de uma sessão), dado que o número total de canais alocados é independente da localização do servidor na subárvore de distribuição da sessão. Assim, quando se considera o custo de replicação de servidores no l -ésimo nível qualquer servidor daquele nível que pertença a subárvore de distribuição da sessão fornece o mesmo custo de replicação no l -ésimo nível.

O custo total de largura de banda considerando-se replicação no l -ésimo nível é dado por:

$$C_b(l) = \gamma_b \sum_{\beta} c_i(l)$$

em que:

$c_i(l)$ - é o custo da i -ésima sessão de DHT ao se considerar replicação de servidor no nível l .

β - é o conjunto de sessões DHT.

γ_b - é a constante de normalização.

Na Figura 3 mostra-se o custo normalizado de largura de banda como função da profundidade normalizada para diferentes distribuições de usuários. Para entender esta figura deve-se observar que o custo de largura de banda de uma sessão DHT é o mesmo independentemente da localização do servidor de controle na subárvore de distribuição da sessão, isto é, se o servidor que fornece o fluxo de vídeo para uma sessão estiver localizado na subárvore de distribuição o fato de mudá-lo para outro nó da subárvore não afeta o custo de largura de banda. Para usuários fracos e moderadamente concentrados a subárvore de distribuição geralmente contém nós próximos à raiz da árvore de distribuição. Desta forma, o custo de largura de banda (por sessão e total) é quase o mesmo para todos os níveis da árvore de distribuição. Enquanto que para usuários fracos e moderadamente concentrados o nível em que o servidor de controle está localizado não tem um impacto no custo de largura de banda, para usuários altamente concentrados o nível ótimo de localização está a cerca de dois níveis acima dos *head ends* (cerca de 0.7 da profundidade normalizada). Assim sendo o custo de largura de banda permanece praticamente constante do nível 0.7 ao nível 1.0. Embora o número de usuários por sessão não tenha um impacto significativo na localização ótima do servidor de controle, a medida que o número de usuários por sessão aumenta, o custo de banda passante decresce devido ao aumento do compartilhamento de fluxo.

Pode-se entender o impacto da introdução do compartilhamento de fluxo ao se comparar estes resultados com os obtidos em redes sem compartilhamento de fluxo. Em redes sem compartilhamento de fluxo, à medida que a concentração dos usuários aumenta o nível ótimo move-se da raiz em direção aos *head ends*, e o número de usuários por sessão pode influenciar a localização do servidor de controle para distribuições moderadas de usuários.

A medida que o número de usuários por sessão DHT aumenta o custo total de largura de banda diminui dado que o grau de compartilhamento aumenta. A redução do custo de banda passante devido ao aumento do número de participantes por sessão pode ser de 8% para a concentração fraca de usuários a 25% para a concentração alta de usuários.

O custo total de replicação de servidores no l -ésimo nível é dado por:

$$C_s(l) = \gamma_s \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_p} z(i/x_j)$$

em que:

x_j - é a demanda do j -ésimo servidor, i.e., a taxa entre o número de sessões DHT servidas pelo servidor j e o número total de sessões DHT.

$\gamma_s(l)$ - é a constante de normalização para o nível l .

O custo total normalizado para a replicação no nível l é dado por $C_b(l) + C_s(l)$. A Figura 4 ilustra o custo total normalizado.

Observa-se na Figura 5 que, para concentrações fracas e moderadas de usuários, o custo total normalizado é quase constante até o nível 0.3. A partir deste ponto, o custo aumenta rapidamente. Como já foi observado antes, para estes tipos de distribuição, o custo de largura de banda é quase o mesmo independente do nível de localização do servidor. Através da replicação de servidores reduz-se a demanda de banda passante em cada servidor e, conseqüentemente, diminui-se seus custos individuais. Para níveis perto da raiz da árvore, a redução do custo devido a diminuição dos requisitos de banda passante de cada servidor tende a compensar o número de servidores. Para níveis mais profundos do que o nível 0.3, o crescimento do número de servidores domina o custo da rede. Para usuários altamente concentrados, o custo de largura de banda, até o nível 0.4 (nível ótimo), diminui mais rapidamente do que o custo de servidor aumenta. A partir deste ponto, o custo de servidor domina o custo da rede. Observa-se, também, que o número de usuários por sessão de DHT não produz impacto no nível ótimo de localização de servidor.

Para números elevados de usuários por sessão, o custo da rede diminui devido a redução do custo de banda passante. Esta tendência é mais significativa para usuários altamente concentrados e a redução do custo total pode chegar a 25%. Para um mesmo conjunto de sessões de DHT, quando o custo total de uma rede sem compartilhamento de fluxo é comparado com o custo de RCCF, nota-se uma redução no custo que varia de 40% a 50% para o maior número de usuários por sessão de DHT. Esta diferença corresponde ao nível de replicação mais caro nas redes sem compartilhamento de fluxo. A diferença mínima ocorre no nível ótimo para as redes sem compartilhamento de fluxo e pode chegar a 27%.

Para concentrações fraca e moderada de usuários a curva do custo total tem forma similar às curvas em redes sem compartilhamento de fluxo. Entretanto, nas redes sem compartilhamento de fluxo o custo de largura de banda é o fator dominante do custo total. Para redes sem compartilhamento de fluxo e usuários altamente concentrados, o nível ótimo para localização do servidor de controle (0.6) é mais próximo do nível dos *head ends* do que para as RCCF.

V.2) Caching

Para cada sessão DHT é designado um *cache* de controle no nível l , isto é, um *cache* que lida com todos os pedidos desta sessão. O custo de largura de banda para a replicação de *caches* no nível l é dado por:

$$C_b = \gamma_b \left(\alpha \sum_{\beta} c_b(l) + ((1 - \alpha) \times \mu \times h) \right)$$

em que:

β - é o conjunto das sessões DHT;

γ_b - é a constante de normalização;

$c_b(l)$ - é o custo de largura de banda ao se considerar replicação nos nós do l -ésimo nível;

μ - é o número total de participantes;

h - é a altura da árvore;

$$\alpha = \sum_{i=1}^M z(i) - \text{é a probabilidade de acerto do cache (cache hit)}$$

e o custo total da replicação de *cache* quando a replicação é feita no nível l é dado por:

$$C_c(l) = \gamma_c \sum_{j=1}^d z(1/x_j) + C_{root}$$

em que:

$\gamma_c(l)$ - é a constante de normalização;

x_j - é a demanda do j -ésimo *cache*, i.e., a taxa entre o número de sessões DHT servidas pelo j -ésimo *cache* e o número total de sessões DHT.

A Figura 6 mostra o custo total da rede como uma função da profundidade normalizada para tamanhos diferentes de *cache*. É evidente que a estratégia de *caching* não traz ganhos no custo. O custo da rede aumenta à medida que o número de *caches* aumenta (o custo de banda é constante). Não é vantajoso também a adoção de *caches* usuários altamente concentrados. Os ganhos provenientes do fato de se ter pequenos repositórios não compensam a penalidade pelos erros de *cache* (*cache miss*). Nota-se também que o nível ótimo de colocação (0.4) é o mesmo para a replicação de servidores.

Nas RCCF o nível ótimo de localização do *cache* (0.4) é o mesmo da replicação de servidores. De [5] sabe-se que em redes sem compartilhamento de fluxo a estratégia de *caching* também não é atrativa quando comparada aos custos obtidos pela estratégia de replicação. Nas redes sem compartilhamento de fluxo, para concentrações fracas e moderadas de usuários o custo total da rede é quase constante até o nível 0.3. Após este ponto o custo cresce rapidamente. Para usuários altamente concentrados, o nível ótimo de colocação de servidores é por volta do nível 0.6. A diferença entre os níveis ótimos destas duas estratégias pode ser explicada pela enorme quantidade de banda passante que uma sessão de DHT requer em redes sem compartilhamento de fluxo.

A comparação dos custos totais mostra que a introdução da política de compartilhamento de fluxo pode trazer ganhos da ordem de 50% no custo total de replicação de *cache*, quando comparados aos custos de *caches* nas redes sem compartilhamento de fluxo. Os ganhos são maiores para concentrações altas de usuários (até 50%) do que para concentrações fracas/moderadas (até 35%).

V.3) Redes com Serviços de DHT e VoD

Os serviços de vídeo serão os maiores consumidores de banda passante na futura Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga. Neste cenário, é essencial que os requisitos das diferentes aplicações de vídeo sejam levados em conta no projeto de uma rede real. Uma das aplicações mais promissoras neste novo ambiente é o serviço de Vídeo sob Demanda. Fornecer serviços de DHT custa mais do que fornecer serviços de VoD. Isto acontece porque os usuários de um serviço de DHT se conectam ao servidor que minimiza o custo de banda passante enquanto que no serviço de VoD os usuários se conectam ao servidor mais próximo. Em outras palavras, para o mesmo número de usuários o custo total de largura de banda de uma sessão VoD é sempre o limite inferior do custo total de largura de banda de uma sessão de DHT.

Na Figura 7 mostra-se o custo total da rede para replicação de servidores em função da profundidade normalizada para diferentes porcentagens de usuários envolvidos em serviços de

DHT. Tanto o custo de largura de banda quanto o custo de replicação foram normalizados pelos seus respectivos máximos da curva com 50% de DHT. Pode-se notar que o nível ótimo para replicação de servidores é 0.7 independente da distribuição dos usuários. Este comportamento é altamente influenciado pelo custo de fornecimento dos serviços de VOD. Para níveis próximos da raiz nota-se que redes com baixas porcentagens de serviços de DHT custam mais do que redes com altas porcentagens de DHT (50%). Em um determinado nível, esta característica é revertida e o custo das redes com alta porcentagens de usuários envolvidos em serviços de DHT excede o custo das redes com baixas porcentagens de DHT. Este fato ocorre porque o custo dos serviços de VOD decrescem continuamente à medida que a replicação se aproxima do nível dos *head ends* e em um determinado ponto o custo de largura de banda dos serviços de DHT começam a dominar o custo total. Desta forma, a partir deste ponto redes com grandes porcentagens de serviços de DHT custam mais que redes com pequenas porcentagens deste serviços. A localização deste "ponto de reversão" depende da distribuição dos usuários. Para concentrações fracas e moderadas o ponto de reversão é localizado no nível 0.1 e 0.3, respectivamente. Para estes tipos de distribuições o custo de banda passante é quase constante não importando o nível da rede, e domina o custo total nos níveis perto da raiz. Para usuários altamente concentrados o custo de banda passante decresce tanto para os serviços de VOD quanto para os de DHT, a medida que se aproxima do nível dos *head ends* e seu ponto de reversão ocorre no nível 0.7.

VI) Redes com Servidores Distribuídos (RCSD)

Em redes com servidores distribuídos (RCSD), o servidor mais próximo a um usuário é que fornece o fluxo de vídeo para ele. Somente mensagens de controle são trocadas entre os servidores que suportam uma sessão de DHT. As redes com servidores distribuídos representam um compromisso entre a redução do custo de banda passante para transmissão do fluxo de vídeo e o aumento da demanda de banda passante nos servidores de vídeo. Além do mais esta solução requer uma arquitetura de servidores mais complexa para lidar com as questões de sincronização.

A análise das redes com servidores distribuídos é idêntica à análise de redes que oferecem serviços de VOD [4]. Desta forma, a distribuição dos usuários não influencia o custo da rede. Nesta seção, os principais resultados obtidos usando-se esta estratégia são mostrados e comparados aos resultados obtidos em redes sem compartilhamento de fluxo e RCCF.

VI.1) Replicação de Servidores

Um servidor localizado em um nó do l -ésimo nível fornece fluxos de vídeo para todos os usuários conectados a *head ends* que são descendentes deste nó. Desta forma o custo total de largura de banda é dado por:

$$C_b(l) = (L(d) - l + 1) \times U$$

em que:

U - é o número de assinantes do serviço (usuários)

$L(d)$ - é a altura da árvore d -ária

O custo total de replicação de servidor no nível l é dado por

$$C_s(l) = \gamma_s \left(d^l \times \sum_{i=1}^{N_p} z(i/x_j) \right)$$

em que:

$x_j = U / d^l$ - é a demanda do j -ésimo servidor

γ_s - é a constante de normalização

A Figura 8 ilustra o custo da rede como função da profundidade normalizada. O custo de largura de banda decresce continuamente à medida que a replicação é feita nos níveis mais próximos dos head ends. Até o nível 0.7 a velocidade com que o custo de largura de banda cai é maior do que a velocidade com que o custo de servidor aumenta. Após este nível, esta característica é invertida e a colocação de servidores em níveis mais profundos aumenta o custo total. As redes sem compartilhamento de fluxo com usuários altamente concentrados apresentam um custo similar às redes com servidores distribuídos. A diferença entre elas é que o nível ótimo para as redes sem compartilhamento de fluxo é o nível normalizado 0.6. Este nível ótimo é basicamente ditado pelo custo de largura de banda (o nível ótimo para o custo de largura de banda também é o nível 0.6). Nas redes sem compartilhamento de fluxo, para distribuições fraca e moderadamente concentradas a forma da curva do custo total da rede é bastante diferente, como mostrado na sessão V.1. Quando comparado ao custo das redes sem compartilhamento de fluxo, as redes com servidores distribuídos apresentam ganhos no custo total devido a grande redução de demanda de largura de banda. Os ganhos no custo aumentam com o número de usuários por sessão e variam também com a distribuição destes usuários. Para 3 usuários por sessão os ganhos ficam em torno de 40% e 35% para usuários fraca e moderadamente concentrados, respectivamente. Para 6 usuários por sessão (mais caro) os ganhos são da ordem de 50% e 40% para usuários fraca/moderada e altamente concentrados, respectivamente. Os ganhos para usuários altamente concentrados são menores do que para usuários fraca/moderadamente concentrados devido a seus baixos requisitos de largura de banda.

VI.2) Caching

O custo da replicação de *caches* pode ser facilmente generalizado pelo custo da expressão introduzida na seção V.2. Basta considerar que a demanda do *cache* localizado no nível l é igual a U/d^l e que o custo de largura de banda por usuário é igual a $L(d) - l$. A Figura 2.28 mostra o custo total de *cache* em redes com servidores distribuídos como uma função do custo normalizado. Nota-se que a curva de replicação de *cache* tem um mínimo na profundidade 0.7 e que tem um formato similar a curva de replicação de servidores. Além disto, observa-se que para este tipo de rede não é interessante adotar-se *caching*, quando comparada com replicação de servidores. Os ganhos do uso da estratégia de *caching* distribuído (quando comparados ao *caching* em redes sem compartilhamento de fluxo) pode chegar a 50% para concentrações fracas/moderadas e a 40% para concentrações altas de usuários.

VI.3) Uma Breve Comparação

Para permitir o entendimento da introdução da política de servidores distribuídos, define-se C como sendo a taxa entre o custo de um servidor distribuído e um servidor padrão (usado em redes sem compartilhamento de fluxo e em RCCF). Na Figura 10, mostra-se, para 5 usuários por sessão, o custo de replicação de servidores para redes sem compartilhamento de fluxo e para RCSD. Considera-se que, nos casos reais, o custo de um servidor distribuído será no máximo o dobro do custo de um servidor padrão ($C = 2$). Nota-se que, para concentrações fracas/moderadas de usuários, obtêm-se um enorme ganho no custo total em praticamente qualquer nível da replicação. Para usuários altamente concentrados, a política de servidores distribuídos não apresenta vantagens para replicação em níveis mais altos que o nível ótimo (0.6), e ganhos consideráveis podem ser obtidos se o servidor distribuído tiver o mesmo custo do servidor padrão. Isto se deve ao fato que, em redes sem compartilhamento de fluxo, o custo de largura de banda para usuários altamente concentrados é bem menor do que para concentrações fracas/moderadas. Na Figura 11 mostra-se o custo da replicação de *cache* com 2000 programas.

Resultados numéricos indicam que as características da replicação de servidores se repetem na replicação de *cache*, independente do tamanho do *cache*.

VII) Conclusões

Aplicações de vídeo apresentam grande potencial de sucesso comercial na futura Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga. Estas aplicações serão também as maiores consumidoras de banda passante neste novo ambiente. Sendo assim, a compreensão dos requisitos dos serviços de vídeo é de grande importância para o projeto da rede. Neste artigo explora-se o compromisso existente entre o consumo de largura de banda e a replicação de servidores no fornecimento de serviços de *Distributed Home Theatre*. Analisa-se estratégias de replicação de servidores e de *cache*. Considera-se também redes que ofereçam serviços de Vídeo sob Demanda e DHT. Nota-se que o projeto de redes com características distintas pode ser bastante diferente. Ao se analisar a introdução do compartilhamento de fluxo, nota-se que o número de usuários por sessão pode ter um impacto no custo da rede devido a redução do custo de banda passante. Os ganhos no custo da rede devido a introdução do compartilhamento de custo pode ser da ordem de 50% e varia de acordo com o grau de compartilhamento, isto é, os ganhos são maiores para usuários altamente concentrados do que para usuários fraca/moderadamente concentrados.

A adoção de servidores distribuídos para a provisão de serviços de DHT é uma solução bastante atrativa. Quando comparado aos custos de redes sem compartilhamento de fluxo, os ganhos podem chegar a 50%. Os ganhos aumentam à medida que aumenta-se o número de usuários por sessão devido a redução significativa de banda passante.

O projeto de redes para o fornecimento de serviços de DHT é altamente influenciado pelas características da rede. As diferenças de projeto são basicamente devidas a diferentes graus de redução do custo de banda passante. Por exemplo, o nível ótimo para a replicação de servidores em redes sem compartilhamento de fluxo e usuários fraca/moderadamente concentrados é em torno da profundidade normalizada 0.3, enquanto que para redes com servidores distribuídos este nível é em torno de 0.7. A distribuição dos usuários e o número de usuários por sessão também tem um papel muito importante no projeto da rede. Por exemplo, o nível ótimo para replicação de servidores em RCCF é perto da raiz da árvore para usuários fraca/moderadamente concentrados enquanto que para usuários altamente concentrados este nível é em torno de 0.4 da profundidade normalizada. Em geral, a replicação de servidores é interessante de ser adotada independente das características da rede. Além disto, o custo de replicação de servidores é normalmente menor do que o custo de replicação de *cache*. Desta forma, a replicação de *caches* não é uma estratégia interessante.

Os custos reais vão ditar as decisões de projeto das redes reais. Uma tentativa de entender o projeto de redes reais foi investigada. Variou-se o custo entre um servidor padrão e um servidor distribuído. Conclui-se que embora a estratégia de servidores distribuídos seja interessante para usuários fraca/moderadamente concentrados isto nem sempre é verdade para usuários altamente concentrados.

Uma abordagem a se investigar é a combinação do compartilhamento de fluxo (multicast) com servidores distribuídos.

VII) Referências

- [1] J. A. Schnepf, D.H.C. Du, E. Russel Ritenour e A.J. Fahrman, "Building Future: Medical Education Environments over ATM networks", *Communication of the ACM*, vol. 38, n. 2, pág. 54-69, Fev. 1995.
- [2] E.R. Madeira e N.L.S. Fonseca, "Software Architecture for Multimedia Communications and Management", in *Multimedia Communications Networks: Services and Technologies*, Tatipamulae Bhuumip (Ed), Artech House, a ser publicado em 1998.

- [3] *Statistical Abstract of United States*, U.S. Bureau of the Census, 113th ed, 1993.
- [4] J.P. Nussbaumer, B.V. Patel, F. Schaffa e J.P.G. Sterbenz, "Networking Requirements for Interactive Video on Demand", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, n.5, pág. 779-787, Junho 1995.
- [5] N.L.S. Fonseca, C.M.R.Franco, F. Schaffa, "Projeto de Redes para o Suporte de Aplicações de *Distributed Home Theatre*", *Anais 15 SBRC*, pág. 211-227, 1997.
- [6] IEEE JSAC special issue on Integrated Video-based Services for the Home, vol. 14, n.6, Agosto 1996.
- [7] J.P. Nussbaumer e F. Schaffa, "Capacity Analysis of CATV for on-demand Multimedia Distribution", in *Proc First ISMM Int Conf Distributed Multimedia Systems Applications*, 1994.
- [8] J.P. Nussbaumer e F. Schaffa, "On Bandwidth and Storage Trade-off in Multimedia Distribution Networks", *Proc of INFOCOM '95*, pág. 1020-1026, 1995.
- [9] Y.S. Chen, "Mathematical Modeling of Empirical Laws in Computer Application: a Case Study", *Comp Math Applicat*, pág. 77-87, Outubro 1992.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CNPq PROTEM III Almadem e à FAPESP pelo suporte financeiro e ao CENAPAD/SP pelo suporte computacional. Os autores agradecem Frank Schaffa da IBM T. J. Watson Research Center pelas sugestões. Parte dos resultados apresentados neste trabalho foram publicados nos anais da conferência © IEEE Global Telecommunications 1997 (IEEE Globecom97), pg 481-486, Phoenix, 3-8

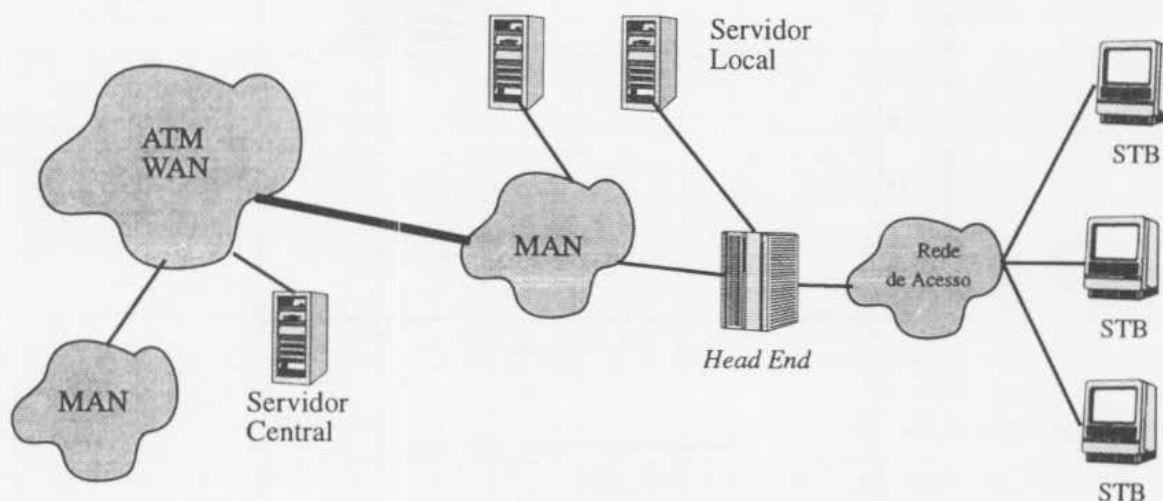


Figura 1: Modelo da Rede

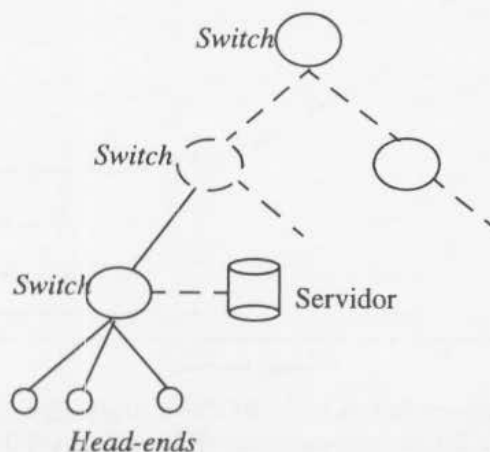


Figura 2: A Árvore de Distribuição

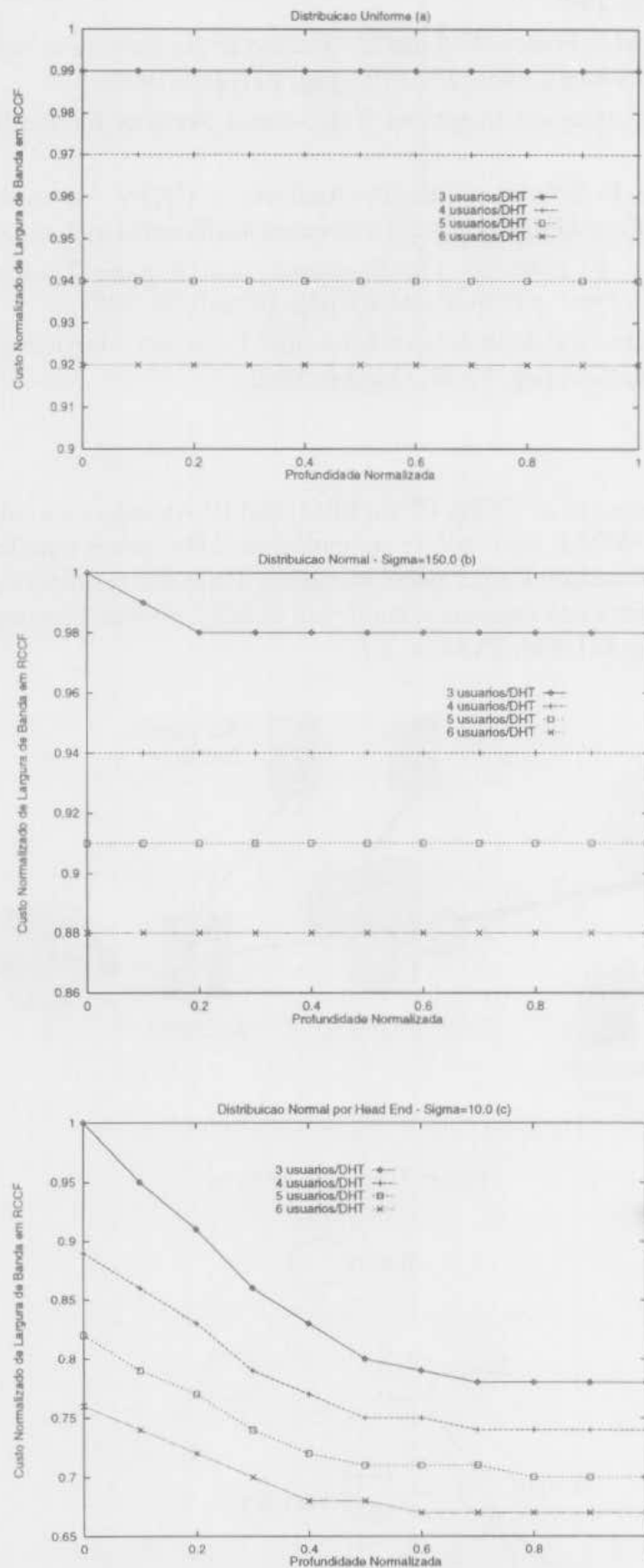


Figura 3: Custo normalizado de largura de banda em RCCF x profundidade normalizada para: i) número diferente de usuários por sessão, ii) distribuição uniforme (Figura 3.a), iii) distribuição normal geral com $\sigma=150$ (Figura 3.b), e iv) distribuição normal por *head end* com $\sigma=10$ (Figura 3.c)

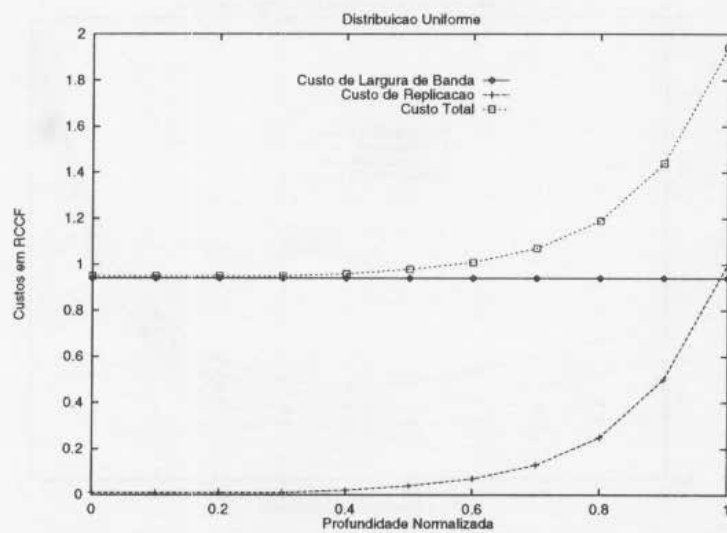


Figura 4: Um exemplo da computação do custo total considerando-se replicação de servidor para a distribuição uniforme e 5 usuários por sessão DHT

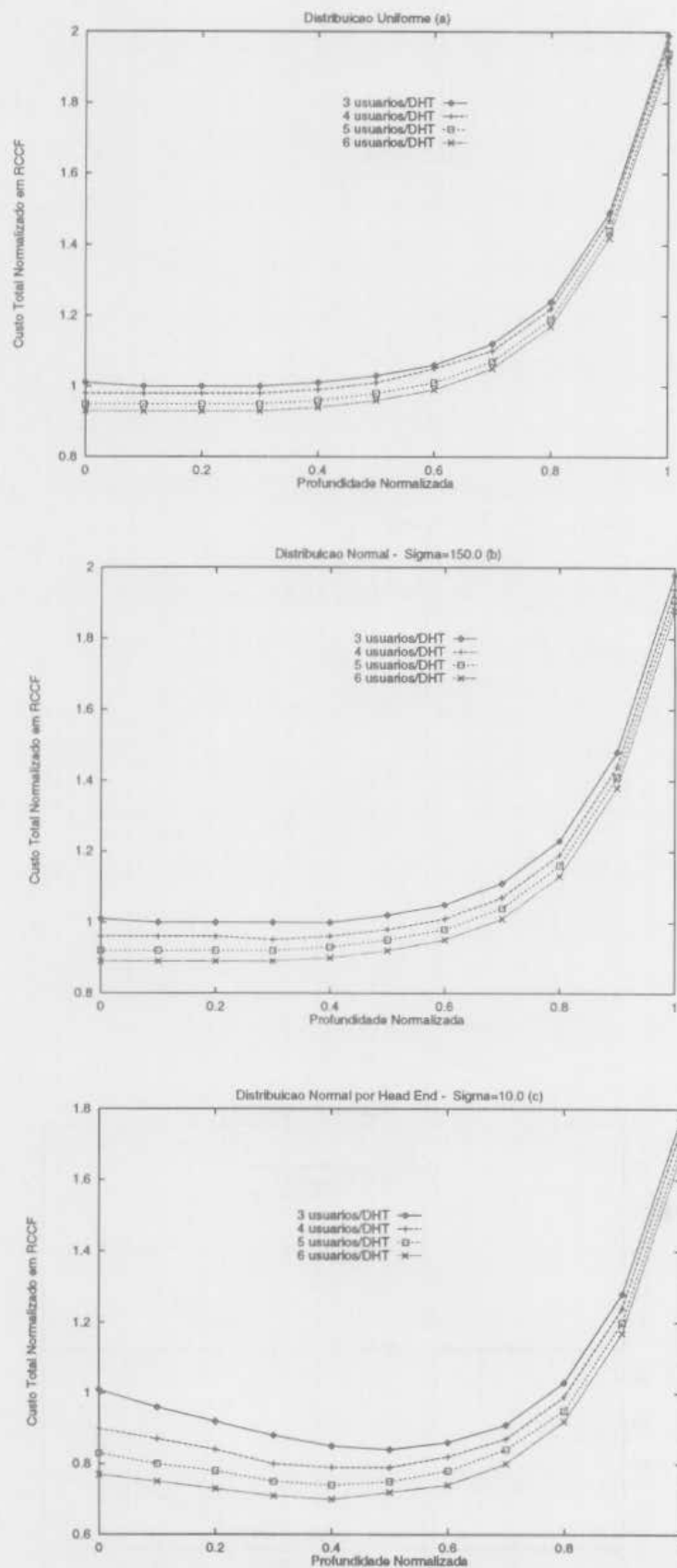


Figura 5: Custo total normalizado em RCCF x profundidade normalizada para: i) número diferente de usuários por sessão de DHT, ii) distribuição uniforme (Figura 5.a), iii) distribuição normal com $s=150$ (Figura 5.b) e iv) distribuição normal por *head end* com $s=10$ (Figura 5.c)

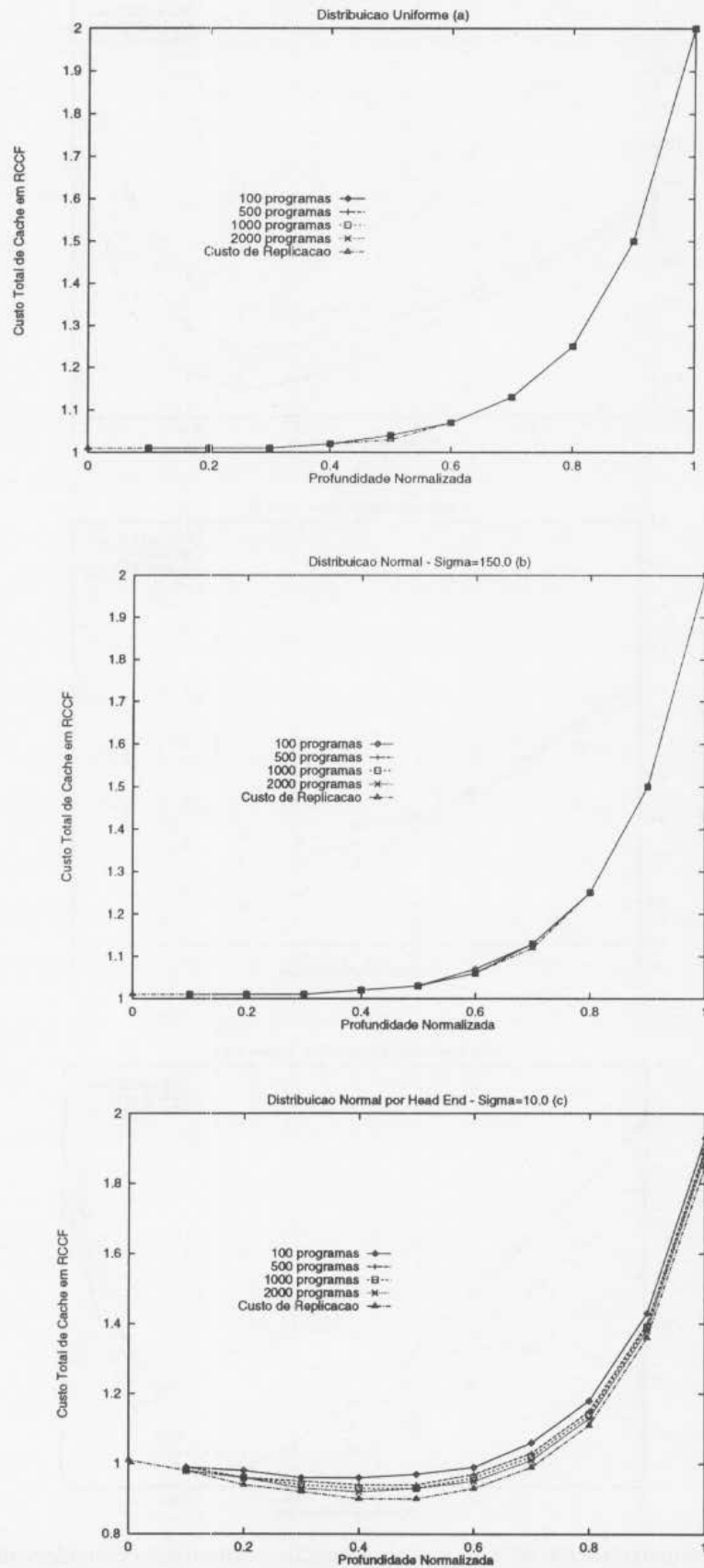


Figura 6: Custo total de *cache* em RCCF x profundidade normalizada para: i) tamanhos diferentes de *cache*, ii) 5 usuários por sessão DHT, iii) distribuição uniforme (Figura 6.a), iv) distribuição normal com $\sigma=110$ (Figura 6.b) e v) distribuição normal por *head end* com $\sigma=5$ (Figura 6.c).

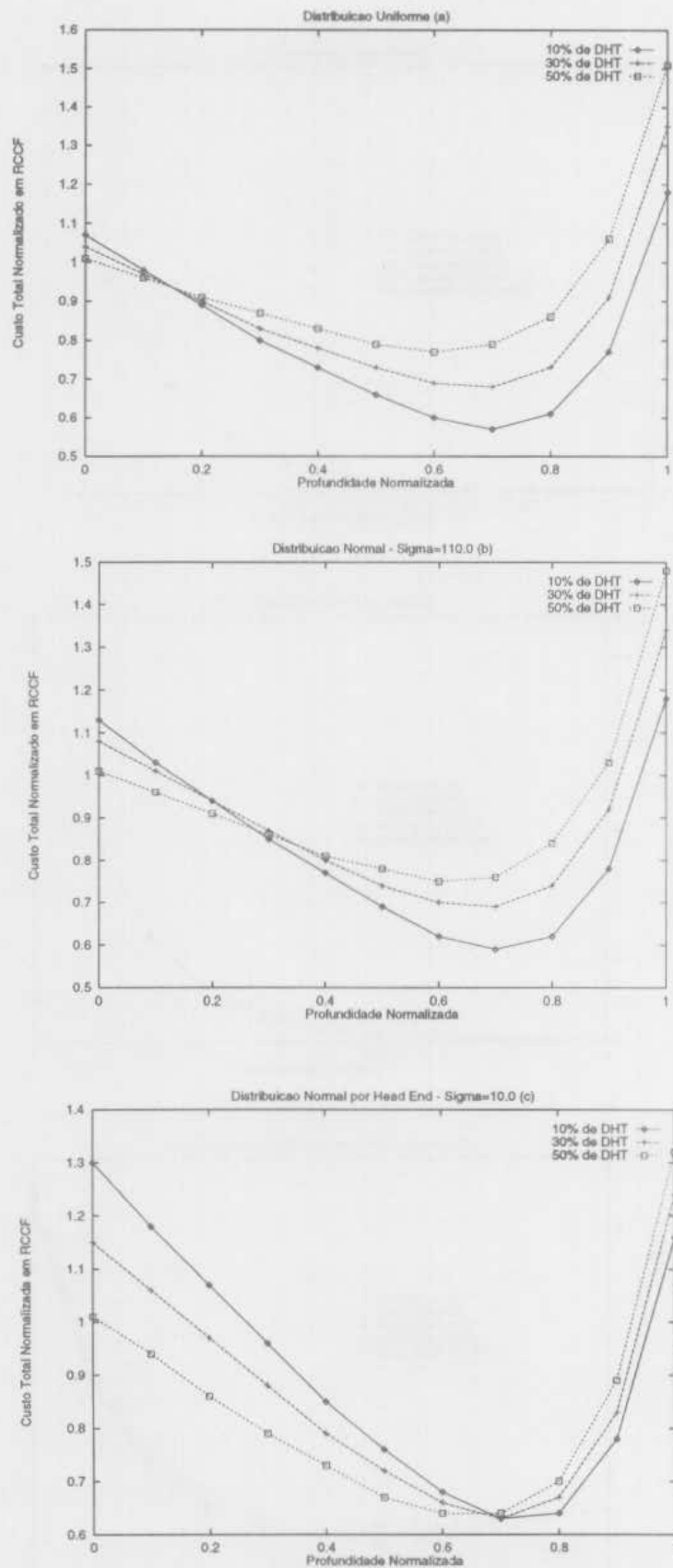


Figura 7: Custo total normalizado em RCCF x profundidade normalizada considerando a replicação de servidores com serviços de VOD e DHT para: i) 5 usuários por sessão de DHT, ii) distribuição uniforme (Figura 7.a), iii) distribuição normal com $\sigma=110$ (Figura 7.b) e iv) distribuição normal por *head end* com $\sigma=5$ (Figura 7.c)

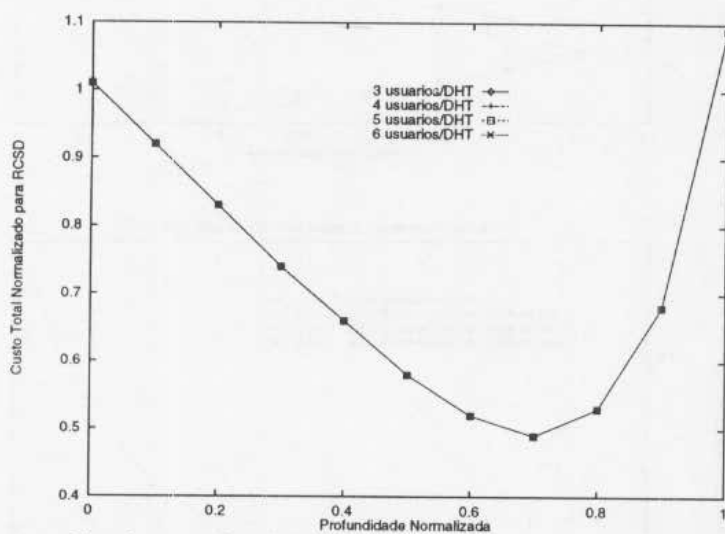


Figura 8: Custo total normalizado x profundidade normalizada, para uma rede com servidores distribuídos

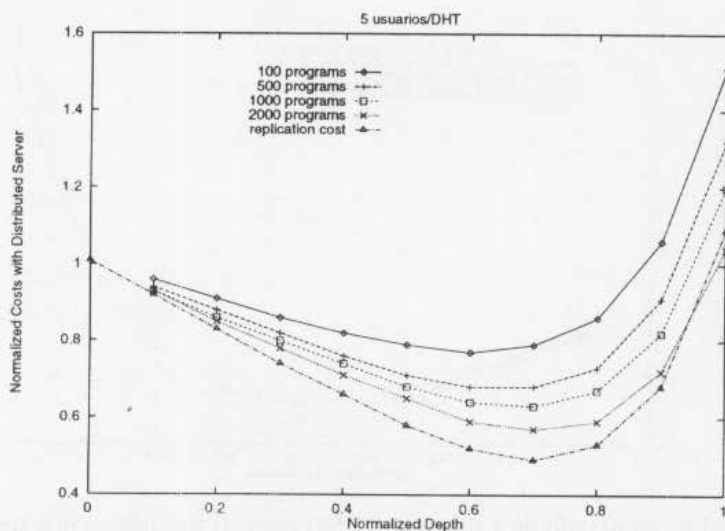


Figura 9: Custo normalizado de replicação de cache em RCSD x profundidade normalizada para tamanhos diferentes de cache.

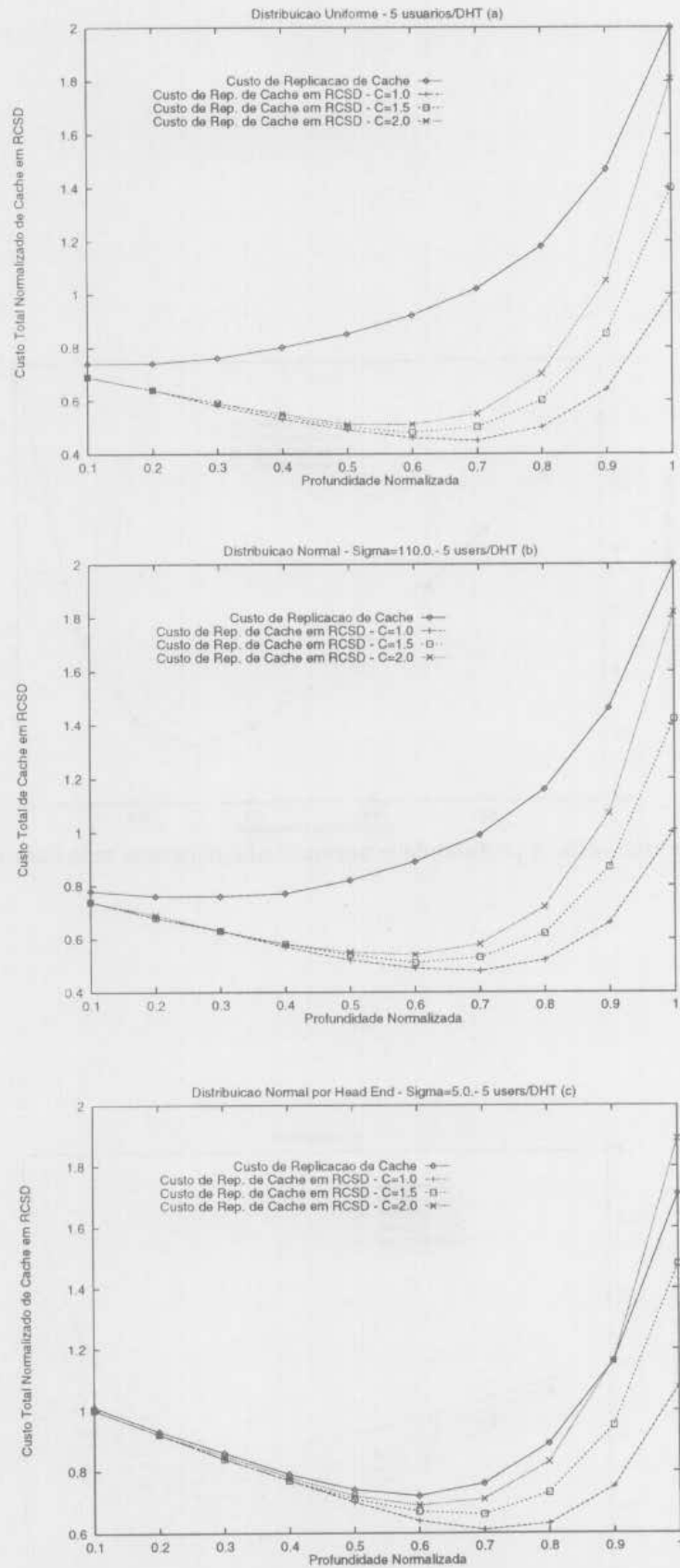


Figura 11: Custo total normalizado de *cache* em RCSD para: i) 5 usuários por sessão, ii) distribuição uniforme (Figura 11.a), iii) distribuição normal com $\sigma=110$ (Figura 11.b) e iv) distribuição normal por *head end* com $\sigma=5.0$ (Figura 11.c).

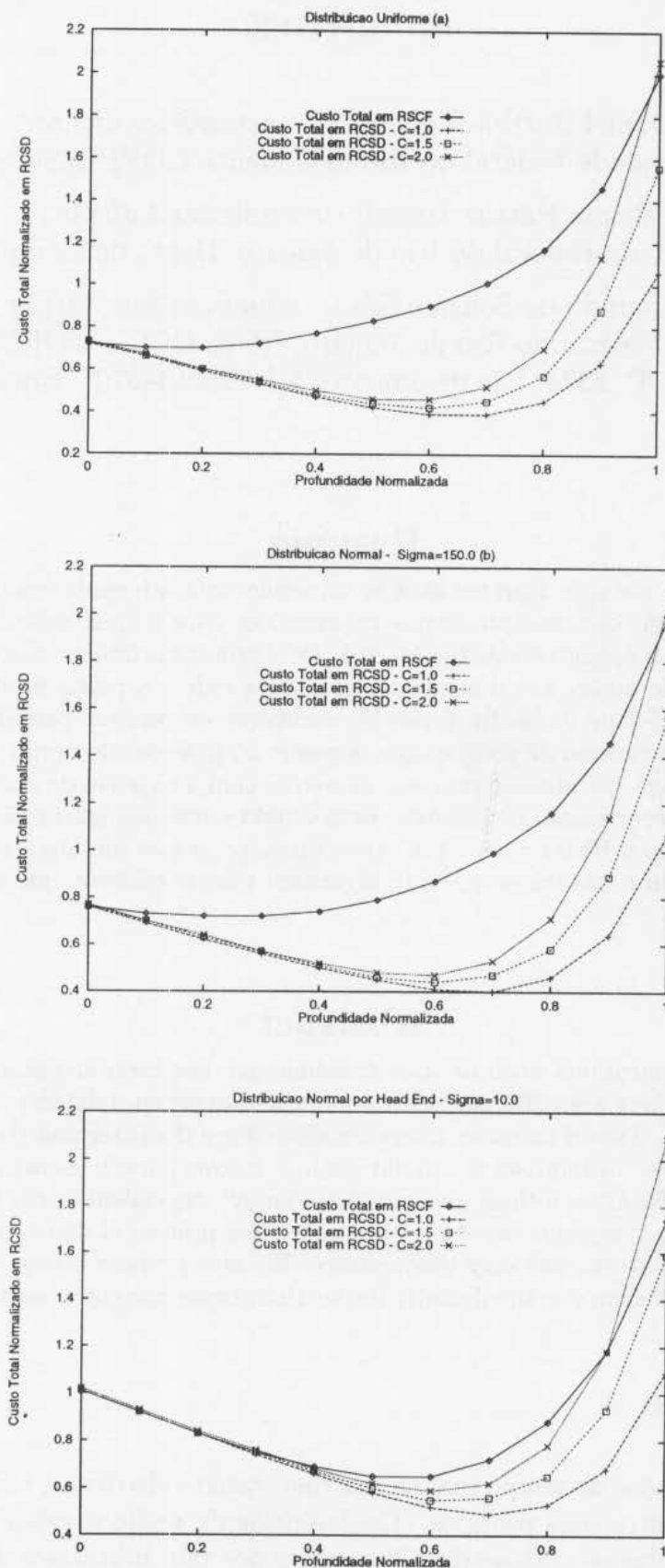


Figura 10: Comparação do custo total de replicação das Redes sem Compartilhamento de Fluxo e das RCSD para: i) 5 usuários por sessão, ii) distribuição uniforme (Figura 10.a), iii) distribuição normal com $\sigma=150$ (Figura 10.b) e iv) distribuição normal por *head end* com $\sigma=10.0$ (Figura 10.c)