

# DESEMPENHO DE SERVIDORES DE ARQUIVOS BASEADOS EM REDES LOCAIS

Ana Paula G. S. Rossato e Regina H. C. Santana.  
Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - USP,  
Departamento de Ciências de Computação e Estatística  
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - Caixa Postal 668  
13560 - São Carlos - SP  
e-mail rcs@icmcs.usp.ansp.br

## Sumário

*Este artigo apresenta resultados, obtidos através de simulação, sobre o desempenho de servidores de arquivos, considerando-se diferentes cargas e alternativas de implementação. As técnicas utilizadas para a simulação e as principais características de servidores de arquivos são discutidas, ressaltando-se a influência dessas características no desempenho do servidor.*

## Abstract

*This paper presents some results obtained with simulation models, with the objective of evaluating file servers performance under different loads and considering different design alternatives. The methods used in the simulation and the file server's characteristics are discussed, emphasizing the influence of these characteristics on the file server performance.*

## 1 Introdução

Sistemas distribuídos baseados em redes locais têm sido largamente utilizados nos últimos anos, em diferentes campos de aplicação [1,7,14]. Dentre as características apresentadas pelos sistemas distribuídos, destacam-se a alta flexibilidade e a potência computacional global elevada, a um custo relativamente baixo. Essas características são algumas das vantagens desses sistemas em relação aos sistemas tradicionais.

A possibilidade de compartilhamento de recursos em um sistema distribuído baseado em rede local é especialmente atrativa, permitindo uma melhor distribuição de recursos a uma população relativamente grande de usuários, dispersos geograficamente. Em particular, a adoção de servidores de arquivos [11,13,14], constituindo sistemas de acesso remoto, é uma forma eficaz de compartilhamento de recursos, que introduz maior disponibilidade de informações no sistema, aumenta a mobilidade do usuário e possibilita a utilização de estações de trabalho sem disco, diminuindo o custo do sistema.

Embora servidores de arquivos tenham se tornado elementos fundamentais em um sistema distribuído moderno, dependendo do tipo de carga imposta pela população de usuários, pode-se ter um ponto de estrangulamento no sistema. Desta forma, deve-se exigir desses servidores um alto desempenho e uma alta confiabilidade, a fim de se evitar esse problema.

Este artigo apresenta um estudo da influência de diversos aspectos no desempenho de servidores de arquivos, baseado nos resultados obtidos através de um conjunto de ferramentas

desenvolvidas especialmente para a simulação desses servidores. A utilização de simulação é uma técnica muito atrativa para a investigação de alguns aspectos de servidores de arquivos (tais como: diversos tipos de cache, velocidade de disco e de CPU), pois apresenta, entre outras vantagens, grande flexibilidade e resultados precisos.

A simulação utilizada para a obtenção dos resultados apresentados neste artigo é brevemente descrita no item 2 (maiores detalhes podem ser obtidos em [9]). O item 3 apresenta uma descrição das características de servidores de arquivos e sua influência no desempenho destes servidores.

## 2 Simulação

Os resultados apresentados neste artigo foram obtidos de um sistema de simulação orientado a processo, desenvolvido para prover um conjunto de ferramentas para a avaliação de servidores de arquivos. O ambiente considerado para a simulação consiste de um conjunto de estações de trabalho, que têm acesso a um servidor de arquivos através de uma rede local.

Analisando-se o desempenho de servidores de arquivos, observa-se que a carga de trabalho imposta a estes servidores tem uma grande influência no seu desempenho. Para uma representação precisa deste comportamento, o modelo de simulação foi dividido em duas partes: o modelo da carga de trabalho e o modelo do servidor de arquivos.

### 2.1 Modelo da carga de trabalho

O modelo da carga de trabalho [10,11] provê o comportamento da carga imposta ao servidor de arquivos por uma estação de trabalho, em termos do tipo de operação requisitada e da distribuição destas requisições no tempo.

O comportamento de uma estação de trabalho consiste basicamente de um ciclo, onde a estação pode estar em três estados:

1. processando um programa ou comando;
2. esperando por um comando do usuário;
3. esperando por uma resposta do servidor de arquivos.

Os tempos relativos aos estágios 1 e 2 representam o tempo entre acessos ao servidor de arquivos. O tempo de processamento (estágio 1) depende apenas da arquitetura da estação de trabalho, enquanto o tempo envolvido no estágio 2 depende principalmente do usuário.

A caracterização deste ciclo (basicamente, tempos envolvidos e número de vezes que o ciclo é executado) foi obtida através da execução de um sistema operacional especial em diversas estações de trabalho de um sistema distribuído baseado em rede local (sistema TRICE [8]), durante várias semanas de operação normal. Analisando-se os dados obtidos, observou-se os seguintes aspectos:

- O tempo decorrido entre requisições é dependente do tempo da última requisição.
- As requisições ocorrem em lotes.
- A distribuição do tipo de operação revela um grande número de operações de controle (cerca de 30%). A maioria das operações com dados são para ler arquivos do servidor de arquivos. Apenas 10% das operações são de escrita de arquivos.

- O tipo da requisição depende não somente de uma distribuição, mas também de um histórico. Por exemplo, na transferência de um arquivo tem-se um conjunto de requisições para ler ou escrever um bloco do arquivo.

O modelo da estação de trabalho foi desenvolvido para refletir o comportamento descrito acima. O teste "chi-quadrado" foi utilizado para validar as distribuições utilizadas no modelo.

## 2.2 Modelo do servidor de arquivos

Um servidor de arquivos baseado em redes locais pode processar várias requisições (de diferentes usuários) simultaneamente, inserindo cada requisição na fila do processador, conforme ela chega ao servidor. Quando o processador está livre para executar a requisição, ela é ativada até ser totalmente executada ou até que um acesso ao disco seja necessário.

Quando a requisição é totalmente executada, uma resposta é enviada ao usuário (encerrando-se o acesso ao servidor). Se houver necessidade de um acesso ao disco, a requisição é inserida na fila do disco. Uma vez atendida pelo disco, a requisição retorna à fila do processador.

Desta forma, três informações básicas são necessárias para o modelamento do servidor de arquivos [9,11]:

- **Tempo de processamento** - cada tipo de requisição tem uma seqüência diferente de utilização do processador.
- **Tempo de disco** - depende do tipo de transferência considerado (bloco de disco, trilha, etc.) e da especificação do disco.
- **Número de acessos ao disco** - o número de vezes que o ciclo entre processador e disco é executado depende de vários fatores. O tipo de requisição define as operações que devem ser executadas. A obtenção de um dado pode requerer um número variável de acessos ao disco, dependendo da implementação de caches, tamanho de arquivos e de diretórios, etc.

Todas as informações necessárias para a caracterização do servidor de arquivos foram obtidas do servidor de arquivos do sistema distribuído TRICE, utilizando-se estatísticas mantidas pelo servidor ou inspecionando seus arquivos e diretórios.

A validação do modelo proposto para o servidor de arquivos e a verificação do programa de simulação foram feitas utilizando-se várias técnicas. Por exemplo, testes para valores fixos, validação interna e testes para demonstrar que a relação entre entrada e saída é a esperada. Finalmente, medidas feitas no servidor de arquivos do sistema TRICE foram comparadas com os resultados da simulação e a diferença entre estes dados foi sempre menor que 5%.

## 2.3 Implementação do programa de simulação

O principal objetivo do programa de simulação foi a obtenção de uma ferramenta flexível para o projeto e avaliação de servidores de arquivos. A flexibilidade é um ponto importante para possibilitar a verificação de novas alternativas, tanto para o servidor de arquivos quanto para a carga de trabalho. Uma segunda meta é a obtenção de um sistema de simulação relativamente rápido que permita a execução de um grande número de simulações, tornando possível a verificação de um grande número de características e a obtenção de resultados confiáveis.

Estas características foram obtidas através do desenvolvimento de um programa em OC-CAM 2 [4], executando em um sistema com transputers [3] (para a obtenção de uma velocidade aceitável), e através de um programa modular que faz com que, na grande maioria dos casos, modificações no modelo do servidor sejam facilmente refletidas no programa de simulação.

### 3 Servidores de Arquivos baseados em Redes Locais

O servidor de arquivos é um dos servidores mais importantes em um sistema computacional distribuído e sua tarefa é oferecer, aos usuários ligados à rede, um serviço de armazenamento de dados remoto e centralizado. Entre as razões para se implementarem servidores de arquivos, destacam-se [11,13]:

- *Economia*: dispositivos de armazenamento são componentes relativamente caros de um sistema computacional. Um servidor de arquivos centralizado permite a adoção de estações de trabalho sem disco, o que reduz o custo global do sistema.
- *Compartilhamento de informações*: gerenciamento de recursos compartilhados é um serviço importante que deve ser feito de maneira confiável. Não é possível garantir que a informação contida em uma estação de trabalho esteja sempre disponível e seja completamente confiável.
- *Servidor dedicado*: no servidor de arquivos, um processador dedicado executa todas as funções associadas ao gerenciamento do serviço de armazenamento e mantém os dados seguros e confiáveis. Isso simplifica o software do cliente, que não precisa executar tais funções.
- *Mobilidade do usuário*: o usuário pode ter acesso aos dados de diferentes estações de trabalho, seja devido a falhas na sua estação, seja porque ele tem que trabalhar em lugares diferentes.

Apesar dessas vantagens, a implementação de servidores de arquivos gera alguns problemas, por ele ser *multiusuário* [14]:

- *Segurança*: o servidor de arquivos deve fornecer alguma forma de controle de acesso que proteja os arquivos contra acesso não autorizado.
- *Confiabilidade*: o servidor de arquivos deve fornecer meios para proteger os dados dos clientes contra modificação ou destruição por eventos fora do controle do usuário, como falhas no servidor, problemas no meio de comunicação, falhas no cliente. Além disso, deve prover alguma forma de controle de concorrência.
- *Desempenho*: o desempenho de um sistema distribuído é fortemente dependente do desempenho do servidor de arquivos que, por sua vez, deve ser pelo menos tão bom quanto o de um disco local.

#### 3.1 Estrutura do servidor de arquivos

Uma estrutura geral para servidores de arquivos pode ser definida como um conjunto de camadas hierárquicas entre o disco físico e o cliente [11], como mostra a figura 1. Em cada uma dessas camadas há uma série de decisões a serem tomadas que dependem, entre outras coisas, da aplicação do servidor de arquivos, do custo, da complexidade, da segurança e da confiabilidade necessárias. As funções de cada camada são:

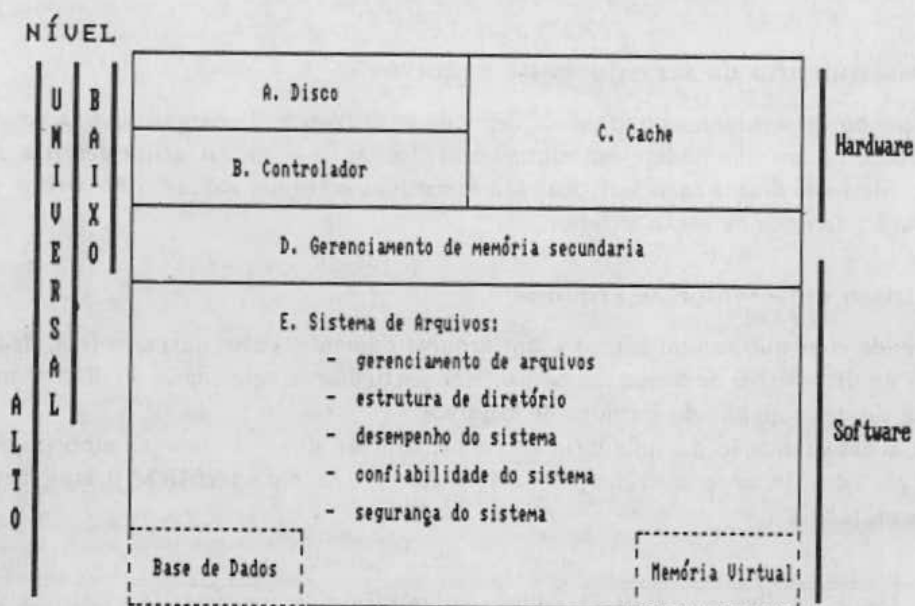


Figura 1: Camadas hierárquicas entre o disco e o cliente

- A. Disco físico:** Armazena os dados. Podem ser discos magnéticos (mais comuns), discos flexíveis (baratos, mas de desempenho baixo) ou discos ópticos (grande capacidade de armazenamento, tamanho compacto e alta confiabilidade).
- B. Controlador de disco:** Lida com o meio físico de armazenamento [2]. Depois dessa camada o disco aparece como uma lista de blocos numerados de 0 a ( $n^o$  de blocos - 1).
- C. Cache:** Camada opcional. Armazena temporariamente porções de dados que estão correntemente em uso [12]. Sua função é melhorar o desempenho do sistema, reduzindo os acessos ao disco e o tempo de acesso aos dados [15].
- D. Gerenciamento de memória secundária:** Essa camada é responsável por alocar espaço de disco [2]. Seu principal objetivo é a organização eficiente do disco. O gerenciamento do cache também é feito nessa camada.
- E. Sistema de arquivos:** engloba as seguintes tarefas:
- Gerenciamento de arquivos: mantém tabelas que determinam o endereço do arquivo no disco.
  - Estrutura de diretório: traduz o nome do arquivo para um identificador. Pode conter outras informações sobre o arquivo, como tamanho e direitos de acesso [13].
  - Implementações para melhorar o desempenho, a segurança e a confiabilidade do sistema.
  - Implementações para aplicações específicas, como [13]:
    - *Sistema de arquivos:* aplicação mais comum do servidor de arquivos.
    - *Base de dados:* o cliente recupera campos de tamanho variável.
    - *Memória virtual:* o cliente tem acesso a páginas.

### 3.2 Desempenho de servidores de arquivos

O desempenho de servidores de arquivos depende basicamente da carga imposta ao servidor e de outros aspectos que podem ser enumerados, baseando-se na estrutura descrita no item anterior. Algumas destas características são discutidas a seguir, baseadas em dados obtidos na simulação descrita na seção anterior.

#### 3.2.1 Disco do servidor de arquivos

A velocidade com que se tem acesso a um arquivo depende, entre outras coisas, das características do dispositivo de armazenamento. Em particular, a velocidade do disco tem muita influência no desempenho do servidor de arquivos.

Para a determinação da influência da velocidade do disco no desempenho do servidor de arquivos considerou-se a utilização de três discos. As características destes discos são descritas na tabela 1.

Disco	Tempo de Busca (ms)	Trilha-a-Trilha (ms)	Taxa de Transferência (Mbits/seg)	Referência
Series 1320	28	6	12	Disco 1
DEC - RA	24	6	12	Disco 2
DEC - DS	15	2.5	12	Disco 3

Tabela 1: Características dos Discos

A figura 2 mostra os tempos de resposta obtidos da simulação do servidor de arquivos para os discos considerados. Os resultados obtidos mostram que a adoção de discos cerca de 50 por cento mais rápidos (disco 3) em relação ao disco 1, reduz o tempo de resposta em 18 por cento quando uma estação de trabalho é considerada. A influência de discos mais rápidos se torna mais significativa para cargas mais pesadas (p.ex. para 40 estações de trabalho, a melhora é de quase 50 por cento).

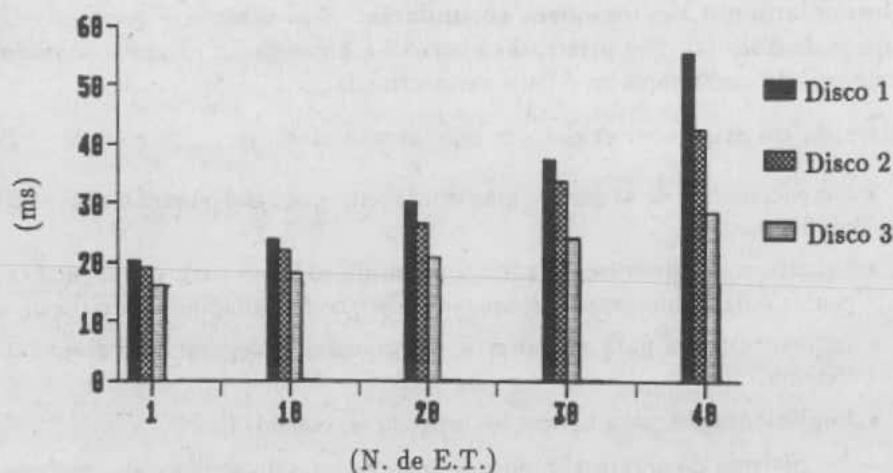


Figura 2: Tempos de resposta para diferentes velocidades de disco

### 3.2.2 Controlador de disco

Entre os aspectos que influenciam o desempenho do servidor de arquivos, o tamanho do bloco a ser lido ou escrito em cada operação tem uma influência significativa. Blocos grandes melhoram o desempenho, mas podem causar perda de espaço, além de serem limitados pelo espaço de "buffer" necessário para armazenar os dados. Uma discussão mais detalhada sobre a influência do controlador de disco no desempenho do sistema pode ser obtida em [2,6].

### 3.2.3 Influência do cache no desempenho do servidor de arquivos

O objetivo da utilização de cache em sistemas de computadores (distribuídos ou tradicionais) é melhorar o tempo de resposta no acesso aos dados. Em sistemas distribuídos, os caches são implementados de modo diferente, isto é, o cache contém parte dos dados armazenados no servidor de arquivos, que são usados com maior frequência.

A velocidade de acesso aos dados pode ser aumentada adotando-se uma memória de acesso mais rápido ou colocando-se os dados mais próximos do cliente. Assim, o cache pode ser *centralizado* na memória principal do servidor de arquivos do usuário ou *distribuído* em máquinas diferentes. O cache distribuído pode ser implementado em memória principal (servidor de arquivos, cliente e outros servidores) ou em disco (cliente e outros servidores).

A opção centralizada melhora o desempenho do sistema, evitando acessos ao disco, e tem uma implementação simples, tornando fácil a manutenção do cache e a consistência dos dados. No entanto, além do cache ser limitado pela quantidade de memória disponível no servidor de arquivos, a melhora no desempenho também é limitada, visto que apenas os acessos ao disco são evitados (não é possível manter os arquivos mais próximos do usuário). Por outro lado, o cache distribuído melhora o desempenho do servidor de arquivos e aumenta a disponibilidade dos arquivos, mas essa implementação é complexa e exige uma decisão sobre o esquema ótimo de alocação dos dados, além de requerer uma técnica para manter a consistência dos dados.

As estratégias a serem utilizadas no cache variam de sistema para sistema e dependem dos recursos que estão disponíveis, do desempenho esperado e da complexidade aceitável para o sistema. Este trabalho apresenta resultados considerando-se caches centralizados. Inicialmente, investigou-se a influência do cache básico implementado em um servidor de arquivos real, que é baseado nas seguintes estratégias:

- *Cache de trilha de disco*: toda a trilha do disco (35 blocos) é lida quando um bloco é requisitado, o que resulta numa taxa de sucesso no cache de cerca de 31 por cento.
- *Cache de arquivos contíguos*: este cache armazena o código executável dos comandos mais utilizados do sistema, apresentando uma taxa de sucesso em torno de 75 por cento (considerando-se apenas os arquivos de comandos).
- *Cache de diretórios*: o diretório corrente do usuário e o diretório objeto são armazenados neste cache, resultando em uma taxa de sucesso de 35 por cento.

A figura 3 mostra os resultados obtidos considerando-se o servidor de arquivos sem nenhuma implementação de cache em comparação com a utilização do cache descrito acima (padrão). O tempo de resposta, considerando-se apenas uma estação de trabalho, apresentou um aumento de 180 por cento, com a desativação do cache. Conseqüentemente, o ponto de saturação ocorre para um número menor de estações de trabalho. Conclui-se que o cache implementado no servidor de arquivos tem uma influência significativa no desempenho do servidor.

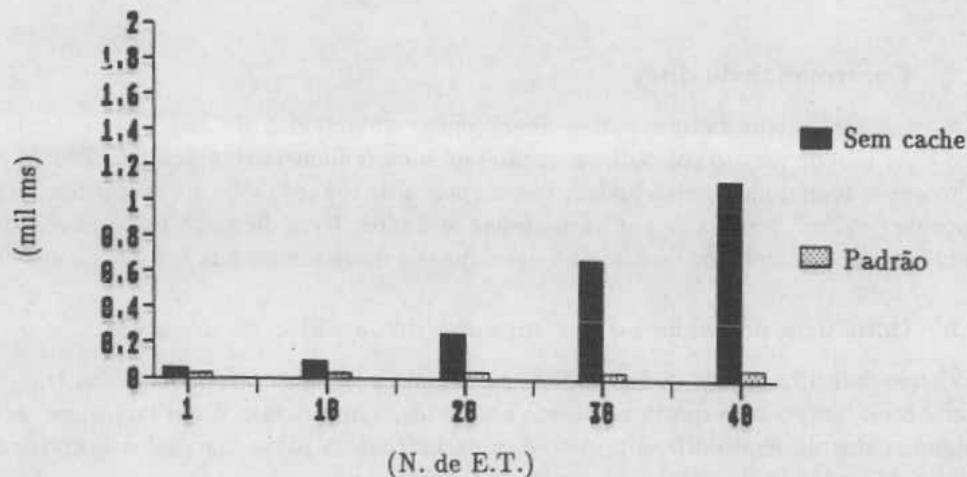


Figura 3: Influência do cache nos tempos de resposta

#### Alternativas para melhorar o cache do servidor de arquivos

O cache considerado acima é apenas para leitura. Algumas abordagens podem ser utilizadas para melhorar ainda mais a taxa global de sucesso do cache (cerca de 70 por cento, no caso anterior). Algumas novas estratégias foram introduzidas na simulação e são descritas a seguir:

- *Cache para os últimos cinco arquivos:* dados coletados mostram que 28 por cento dos acessos de leitura são feitos nos últimos cinco arquivos escritos no disco. Assim, um aumento de 28 por cento na taxa de sucesso do cache pode ser conseguido, mantendo-se esses arquivos no cache.
- *Cache para tarefas pendentes:* dados obtidos de um sistema real mostram que o servidor de arquivos está ativo durante certos períodos e depois nenhum pedido é requisitado por períodos de tempo relativamente longos. Esses períodos ociosos poderiam ser usados para executar operações com alta probabilidade de serem requisitadas em um futuro próximo. Duas abordagens foram consideradas:
  - *Leitura antecipada:* dados obtidos de um servidor de arquivos real mostram que 85 por cento dos dados lidos do servidor pertencem a arquivos armazenados em blocos, demonstrando a utilidade de um cache para esse tipo de arquivo. Em operações normais, blocos de um arquivo são requisitados sequencialmente, sendo que depois que um bloco foi enviado, os outros podem ser lidos antecipadamente, durante os períodos ociosos.
  - *Escrita de arquivos no servidor de arquivos:* quando um pedido de escrita de um bloco de um arquivo é executado, o bloco pode ser escrito no cache e enviado para o disco durante os períodos ociosos.

A figura 4 mostra os tempos de resposta obtidos para cada estratégia de cache considerada e para o caso em que ambas foram consideradas. O cache para os últimos cinco arquivos escritos no disco diminuiu o tempo de resposta em cerca de 26 por cento quando uma estação de trabalho é considerada. Quando o número de estações aumenta, esta porcentagem é ainda mais atrativa, atingindo 53 por cento quando 40 estações de trabalho estão ativas.



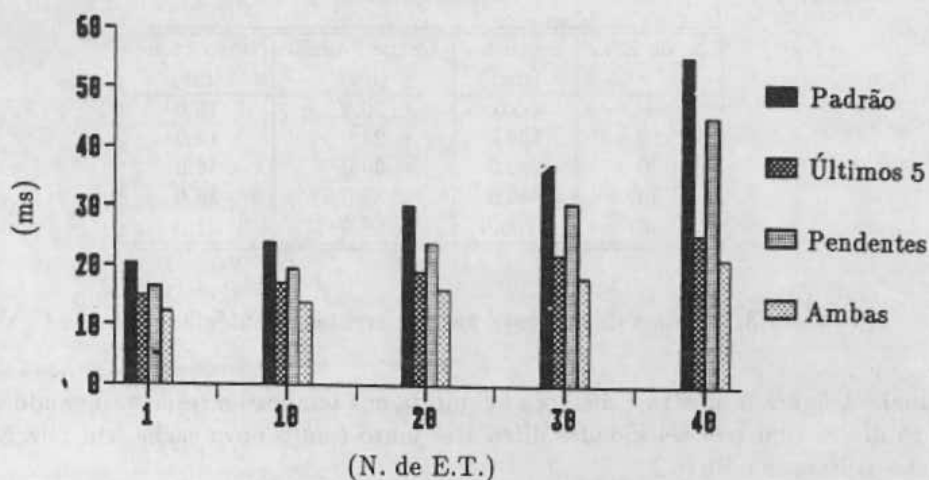


Figura 4: Tempos de resposta para diferentes estratégias de cache

O cache para tarefas pendentes resultou no decréscimo dos tempos de resposta de cerca de 20 por cento. Uma característica importante desse cache é que além de minimizar os acessos ao disco, ele também minimiza a utilização do processador, visto que o processamento das tarefas pendentes é feito nos períodos ociosos do processador. Dados de simulação mostram que a maioria das tarefas pendentes são executadas antes de serem requisitadas. A tabela 2 mostra a porcentagem de tarefas executadas antes que seus dados sejam requisitados, para diferentes cargas.

N. de E.T.	1	10	20	30	40
Tarefas executadas em tempo	99.0%	98.3%	96.4%	93.6%	85.4%

Tabela 2: Porcentagem de tarefas pendentes executadas

Quando ambas estratégias de cache foram consideradas, o tempo médio de resposta diminuiu de 40 por cento (uma E.T.) a 61 por cento (40 E.T.).

#### Comparação entre as estratégias de cache

A tabela 3 mostra o tempo de resposta para diferentes cargas, quando considera-se o servidor de arquivos sem cache, com o cache padrão e com o novo cache proposto.

À medida que o número de estações de trabalho ativas aumenta, o desempenho do servidor de arquivos cai consideravelmente, como pode ser observado em todos os gráficos apresentados. Quando isso acontece o servidor pode se tornar o "gargalo" do sistema. Uma característica importante da nova estratégia de cache é que o ponto de saturação do servidor (que acontecia para um número pequeno de usuários no servidor padrão), foi deslocado para um número muito alto de usuários, que na prática é difícil de ocorrer.

Outra característica importante, que decorre da utilização de estratégias de cache eficientes, é que a influência de discos mais rápidos no desempenho do servidor de arquivos

N. de E.T.	S/ cache (ms)	Cache Padrão (ms)	Novo cache (ms)
1	56.6	20.2	12.0
10	100.0	24.0	13.0
20	280.0	30.0	16.0
30	605.0	38.0	18.0
40	1100.0	58.0	21.0

Tabela 3: Tempos de resposta para diferentes estratégias de cache (ms)

diminui. A figura 5 mostra a melhora adquirida nos tempos de resposta quando são utilizados os discos com três velocidades diferentes junto com o novo cache, em relação ao cache padrão utilizando o disco 1.

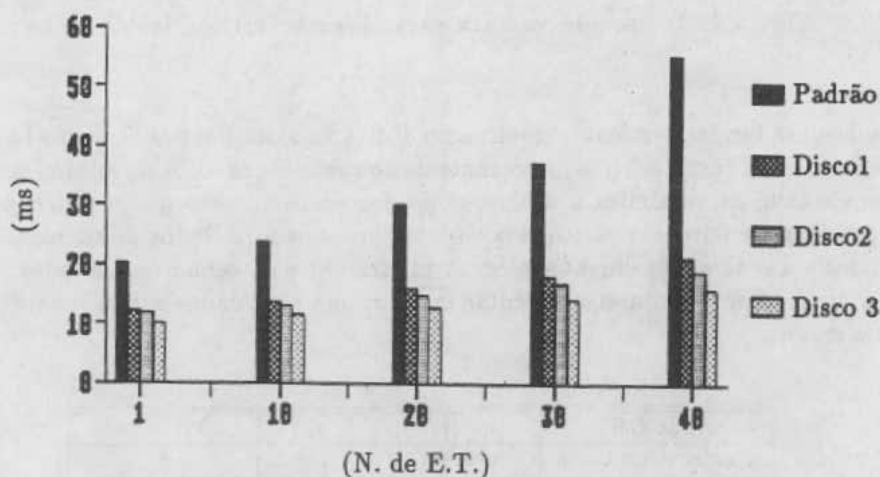


Figura 5: Tempos de resposta - Cache e diferentes discos

### 3.2.4 Gerenciamento de memória secundária

Os algoritmos utilizados para alocar espaço de disco têm muita influência no desempenho do servidor de arquivos. A implementação de algoritmos que achem uma melhor alocação de espaço de disco pode minimizar o tempo de procura para escrita e, muitas vezes, para leitura. Maiores detalhes sobre gerenciamento de memória secundária podem ser obtidos em [6].

### 3.2.5 Sistema de arquivos - CPU do servidor de arquivos

A influência do sistema de arquivos no desempenho do servidor de arquivos é decorrente da influência da própria CPU do servidor. A alta velocidade das redes locais resulta em uma grande quantidade de processamento para a CPU do servidor de arquivos, que precisa ter força suficiente para processar os pacotes transferidos pela rede. Outra característica observada é que quando caches eficientes são utilizados, a CPU se torna o dispositivo mais utilizado no servidor de arquivos [5].

Duas abordagens foram consideradas para minimizar a utilização da CPU: a utilização de um processador mais potente e a adoção de múltiplos processadores, permitindo a execução de tarefas em paralelo.

#### Utilização de processadores mais potentes

Os testes executados no modelo de simulação foram baseados no microprocessador MC68008 e foram considerados processadores com velocidades 1.5, 2, 5 e 10 vezes maiores que a do processador de referência. A figura 6 mostra a diminuição no tempo de resposta do processador original quando os processadores mais potentes são considerados. Pode-se observar uma melhora de até 59 por cento (para 40 estações de trabalho) quando a potência do processador é aumentada 10 vezes.

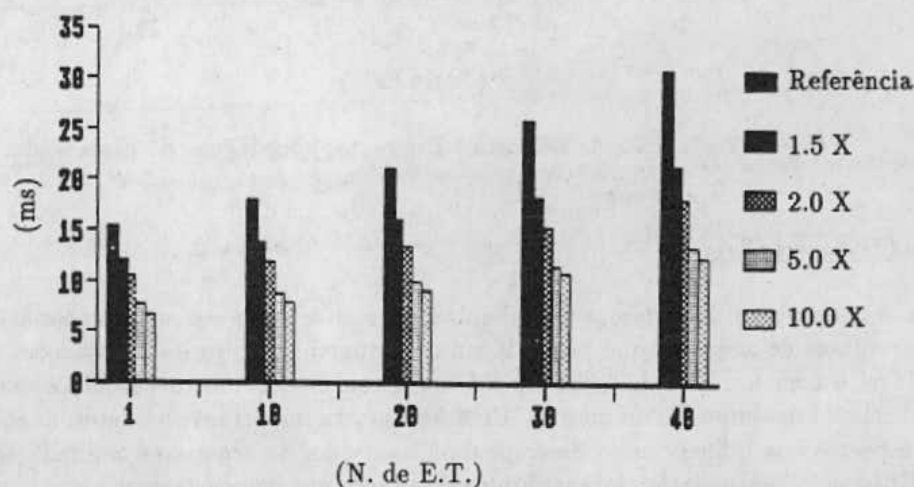


Figura 6: Tempos de resposta usando diferentes processadores

#### Utilização de múltiplos processadores

A segunda opção considerada para minimizar o tempo de processamento é a execução de tarefas independentes em paralelo. Foram executados testes no modelo de simulação, considerando-se dois processadores, de forma que cada vez que uma operação é requisitada ao processador, ela é destinada ao processador com menor fila. O paralelismo proposto é entre pedidos de diferentes usuários, visto que análises executadas em um servidor de arquivos real mostraram que apenas alguns tipos de pedidos tinham tarefas que pudessem ser executadas em paralelo.

A figura 7 compara os tempos de resposta do servidor de arquivos com o novo cache em arquiteturas utilizando: o processador padrão, dois processadores com a velocidade padrão e um processador duas vezes mais rápido. Os resultados das simulações mostraram que, com a utilização de dois processadores, um melhor desempenho é alcançado em relação a um processador, mas o ganho é menor do que quando um processador duas vezes mais rápido é empregado.

O desempenho obtido com a adoção de dois processadores depende tanto da velocidade do processador quanto da carga. Para cargas leves, a utilização de dois processadores representa uma pequena melhora. Para cargas pesadas, a melhora pode ser significativa (15 por cento), mas mesmo neste caso o ganho com um processador mais rápido é maior (26 por cento).

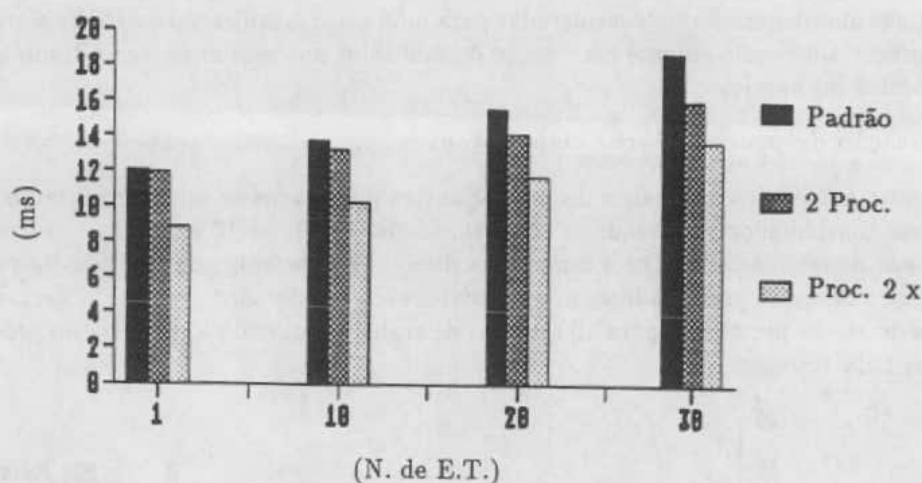


Figura 7: Tempos de resposta - Diferentes abordagens de processador

#### 4 Conclusões

Com o surgimento de sistemas distribuídos, tornou-se cada vez mais necessária a adoção de servidores de arquivos que permitissem o compartilhamento de informações de maneira confiável e com um alto desempenho. A estrutura do servidor de arquivos exerce grande influência no desempenho do mesmo. Uma ferramenta importante na determinação e análise dos aspectos que influenciam o desempenho do servidor de arquivos é a simulação.

Utilizando-se simulação, foram obtidos resultados que demonstraram como a utilização de diferentes estratégias de cache influenciam no desempenho de servidores de arquivos. O cache para os últimos cinco arquivos escritos no disco provou ser bastante eficiente, melhorando em torno de 26 por cento o tempo de resposta. A adoção de cache para armazenar blocos de arquivos, que são lidos e escritos nos períodos ociosos do processador, também produziu uma significativa redução nos tempos de resposta.

Comparando-se os resultados obtidos com discos mais rápidos e aqueles obtidos com o novo cache proposto, é possível observar que a nova implementação de cache apresenta melhores resultados que a utilização de discos mais rápidos. Assim, apesar da adoção de discos mais rápidos ser útil, ela não é essencial, pois com a utilização de caches eficientes, menos acessos ao disco serão necessários, obtendo-se melhor desempenho.

É importante ressaltar que a influência da velocidade do disco diminui à medida que caches mais eficientes são adotados. Assim, considerando-se o cache inicial, a adoção de discos 50 por cento mais rápidos leva a uma melhora no tempo de resposta de 50 por cento (para 40 E.T.). Considerando-se as novas estratégias testadas, esta melhora cai para 25 por cento (para 40 E.T.).

Utilizando-se melhores caches, o ponto de estrangulamento do servidor de arquivos passa a ser o processador. Duas estratégias foram propostas para minimizar a sobrecarga do processador: a adoção de processadores mais potentes e a utilização de múltiplos processadores. A utilização de processadores 2 ou 3 vezes mais rápidos que o MC68008 aumentou bastante a velocidade do processamento, enquanto processadores mais rápidos demonstraram ser pouco mais eficientes. A adoção de múltiplos processadores tem algumas vantagens para cargas pesadas, mas tem influência insignificante para cargas leves.

Comparando-se os resultados da utilização de um processador duas vezes mais potente

que o processador padrão com aqueles obtidos da adoção de dois processadores padrões em paralelo, conclui-se que a primeira abordagem é mais eficiente. Assim, a utilização de um processador 2 ou 3 vezes mais potente que o padrão é uma boa alternativa para minimizar o tempo de processamento.

## Agradecimentos

Os autores expressam profundos agradecimentos à FAPESP pelo apoio às pesquisas em desenvolvimento no ICMSC-USP, em particular ao trabalho descrito neste artigo.

## Referências

- [1] COULOURIS, G. F. e DOLLIMORE, J.. Distributed Systems: Concepts and Design. Wokingham, Addison-Wesley, 1988.
- [2] GOLDEN, D. e PECHURA, M.. The Structure of Microcomputer File Systems. *Communications of the ACM*, 29(3):222-30, março 1986.
- [3] HOMEWOOD, M.; MAY, D.; SHEPHERD, D. e SHEPHERD, R.. The IMS T800 Transputer. *IEEE Micro*, p. 10-26, outubro 1987.
- [4] JONES, G. e GOLDSMITH, M.. Programming in OCCAM 2. C. A. R. Hoare Series Editor, Prentice-Hall International, 1988.
- [5] LAZOWSKA, E. D. et al. File Access Performance of Diskless Workstations. *ACM Transactions on Computer Systems*, 4(3):238-68, agosto 1986.
- [6] MARUYAMA, K. e SMITH, S. E.. Optimal Reorganization of Distributed Space Disk Files. *Communications of the ACM*, 19(11):634-43, novembro 1976.
- [7] MULLENDER, S. J. (ed). Distributed Systems. New York, Addison-Wesley, 1989.
- [8] SANTANA, M. J. e SANTANA, R. H. C.. The Southampton TRICE Distributed Computing System. Publicação interna, Departamento de Eletrônica e Ciências da Computação, Universidade de Southampton, Inglaterra, 1986.
- [9] SANTANA, R. H. C. e ZALUSKA, E. J.. File Server Performance Evaluation using Simulation Models. In *Proceedings of the third European Simulation Congress*, 1989.
- [10] SANTANA, R. H. C. e ZALUSKA, E. J.. A TRICE Workstation Load Model. *Research Journal of the Department of Electronics and Computer Science*, 1989.
- [11] SANTANA, R. H. C.. Performance Evaluation of LAN-based File Servers. Tese de PhD, Departamento de Eletrônica e Ciências da Computação, Universidade de Southampton, Inglaterra, 1990.
- [12] SMITH, A. J.. Cache Memories. *Computing Surveys*, 14(3):473-530, setembro 1982.
- [13] SVOBODOVA, L. File Servers for Network-based Distributed Systems. *ACM Computing Surveys*, 16(4):353-398, dezembro 1984.
- [14] TANENBAUM, A. S. e VAN RENESSE, R.. Distributed Operating Systems. *ACM Computing Surveys*, 17(4):419-70, dezembro 1985.

- [15] TERRY, D. B.. Caching Hints in Distributed Systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-13(1):48-54, janeiro 1987.