

# Usando Simulação para Avaliar Índices de Carga em Ambientes Distribuídos Heterogêneos

**Kalinka Regina L. J. C. Branco**

UNIVEM - Centro Universitário Eurípides de Marília  
Av Hygino Muzzi Filho 529, CEP 17525-901, Marília, SP  
kalinka@fundanet.br

and

**Marcos José Santana, Regina H. C. Santana, Sarita Mazzini Bruschi**

USP – Universidade de São Paulo  
ICMC – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13560-970, CP 668, São Carlos – SP  
{mjs, rcs, sarita}@icmc.usp.br

and

**Célia Leiko Ogawa Kawabata**

UNICEP – Centro Universitário Central Paulista  
Rua Miguel Petroni, 5111 São Carlos, SP, Brasil  
céliak@gmail.com

## Abstract

This paper describes and analyze of load index used in the evaluation of distributed computer systems, mainly in heterogeneous one. The purposed technique is the simulation that is used to evaluate the scheduling process when various scheduler, application and architecture platforms parameters are considered. Tests to validate the simulator were carried out using different load indices with relevant results.

**Keywords:** Simulation, Load Index, Distributed Computing, Parallel Computing, Heterogeneous Computing.

## Resumo

Este artigo descreve a avaliação de desempenho de índices de carga utilizados para avaliar sistemas computacionais, principalmente heterogêneos. A técnica utilizada é a simulação, e visa avaliar o escalonamento baseado em diferentes índices de carga quando da submissão de diferentes tipos de aplicações. Vários parâmetros, tanto do escalonador quanto das aplicações, foram averiguados e utilizados. Testes para validação do simulador foram efetuados e diferentes índices de carga e desempenho foram simulados apresentando resultados relevantes.

**Keywords:** Simulação, Índice de Carga, Computação Distribuída, Computação Paralela, Computação Heterogênea.

## 1. Introdução

Os sistemas computacionais distribuídos mostraram, ao longo dos anos, suas vantagens sobre os sistemas centralizados, conquistando em pouco tempo lugar de destaque no cenário computacional. Essa classe de sistemas tem sido cada vez mais aperfeiçoada a fim de prover melhor desempenho a um custo relativamente baixo.

Embora as vantagens obtidas com a computação paralela distribuída sejam evidentes, diversos novos problemas emergem dessa nova abordagem. Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas levando-se em consideração os problemas existentes na utilização da computação paralela distribuída, como por exemplo, os meios de interconexão, a portabilidade das aplicações, os protocolos de comunicação, o escalonamento de processos e suas implicações no

desenvolvimento final do sistema, entre outros. O escalonamento de processos constitui um tema de grande importância, principalmente por influenciar diretamente o desempenho do sistema.

A complexidade para se tratar a heterogeneidade dos sistemas no que se refere aos índices de carga, deixa em aberto uma lacuna bastante atrativa para o desenvolvimento de pesquisas. Preencher essa lacuna pode melhorar os níveis de desempenho permitindo que soluções, já consolidadas nos sistemas homogêneos, possam ser adotadas nos sistemas heterogêneos.

A simulação, por sua vez, tem sido adotada em diferentes áreas como suporte ao desenvolvimento, teste, validação e experimentação de sistemas reais. O uso da simulação como ferramenta para avaliação de desempenho de índices de carga em ambientes heterogêneos é muito atrativa sob vários pontos de vista, principalmente por permitir que vários conjuntos distintos de máquinas e aplicações possam ser avaliados e analisados sem a real necessidade da presença dessas máquinas.

Deste modo, este trabalho objetiva a apresentação da avaliação de desempenho de índices de carga em ambientes heterogêneos [1].

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 faz uma análise dos trabalhos relacionados a definição de índices de carga para ambientes heterogêneos. A seção 3 descreve a ferramenta desenvolvida para análise de índices de carga. A seção 4 apresenta dois novos índices de desempenho, os quais são comparados com os índices de carga encontrados na literatura. Na seção 5 encontram-se os teste e resultados obtidos com a simulação e a seção 6 conclui o artigo.

## **2. Trabalhos relacionados**

Muitas pesquisas na área de simulação estão relacionadas com o balanceamento de cargas e políticas de escalonamento em sistemas distribuídos homogêneos [2] [3] [4], focando basicamente na caracterização da carga de trabalho e na avaliação de desempenho do escalonamento de aplicações paralelas. Entretanto, tais estudos e modelos de simulação são normalmente especificados para ambientes homogêneos, em detrimento aos heterogêneos [2].

Em geral, as pesquisas que analisam sistemas heterogêneos estão começando, especialmente quando modelos de simulação são considerados para verificar os resultados da avaliação oriundos da adoção de diferentes índices de carga em escalonamento de processos paralelos.

Os modelos de simulação utilizados na maioria dos casos envolvem estudos para analisar o desempenho de sistemas quando os índices de carga considerados são simples, e não levam em conta as características de heterogeneidade da plataforma [5] [4] [3] [2], focando basicamente em parâmetros relacionados somente a máquinas e aplicações homogêneas.

Os resultados apresentados neste artigo focam estudos realizados em sistemas heterogêneos. Objetivando melhor desempenho da plataforma heterogênea distribuída, o modelo e o programa de simulação apresentam um comportamento apropriado para diferentes tipos de aplicações em combinação com diversos índices de carga.

## **3. Métricas para Escalonamento de Processos em Sistemas Computacionais**

Em um sistema computacional distribuído o potencial para compartilhamento de recursos e seus possíveis ganhos são substanciais. As grandes vantagens oferecidas pelo compartilhamento de recursos são o grande número de recursos acessíveis (tanto em tipo quanto em quantidade) e o alto potencial devido à grande variedade desses recursos.

De maneira a obter melhor uso dos recursos disponíveis, algumas medidas e métricas que fornecem informações sobre eles têm sido apresentadas. Uma das informações pertinentes ao estado do sistema e que possui como característica básica ser rapidamente mutável é a carga a ele submetida.

Enquanto a necessidade de atualização desse índice de carga é óbvia, a escolha da frequência dessa atualização constitui, inevitavelmente, um compromisso dependente da característica da aplicação.

Dessa maneira, o índice de carga é uma das questões chave em qualquer projeto de algoritmo de escalonamento de processos, principalmente quando se fala em balanceamento de carga. A sua finalidade é prever o desempenho de uma tarefa quando esta é executada em uma determinada máquina.

### **3.1. Índices de Carga**

A informação da carga de um recurso é geralmente definida em termos de índices de carga. Esse índice de carga é uma métrica que quantifica a carga submetida a um elemento do sistema [5] [6] e tem por objetivo indicar se o elemento considerado está ocioso (inexistência de carga ou um valor muito pequeno), se está sobrecarregado (condição em que o escalonador deve evitar alocações de processos nesses recursos, e até mesmo considerar a possibilidade de migração, de modo a aliviar a carga do elemento), ou se o elemento considerado está em uma situação normal de processamento, podendo ter disponibilidade para aceitar mais alguns processos.

O índice de carga pode ser, então, definido formalmente como uma variável numérica, não negativa, assumindo valor zero quando o recurso está ocioso e tendo seu valor acrescido positivamente quando a carga desse recurso aumenta [5] [6].

Um índice de carga, para ser dito eficaz, deve refletir precisamente, ou o mais próximo possível, o estado do recurso avaliado [5] tendo, assim, a finalidade de prever o desempenho de uma tarefa se esta for executada em uma determinada máquina.

Apesar das técnicas utilizadas para a medição da carga serem eficientes, elas devem impor uma sobrecarga mínima ao sistema [7], de modo que o custo para a obtenção desse índice não interfira no desempenho do sistema [5] [6] [8].

Assim, o índice de carga deve estar voltado para o objetivo ao qual se propõe o algoritmo de escalonamento de processos, informando não só a carga atual do sistema, mas ser utilizado também para prever um comportamento futuro, baseando-se em uma situação presente ou em um passado recente [6] [9].

Alguns dos índices que têm sido usados, estudados, analisados e avaliados incluem: o tamanho da fila de CPU, a média do tamanho da fila de CPU em um intervalo de tempo determinado, a utilização de CPU, a taxa de chamada do sistema, a quantidade de memória disponível, o tempo de resposta e funções híbridas que utilizam junções e combinações dos índices citados entre outros [5] [6] [10] [8].

A grande maioria dos modelos para cálculo de índices de carga existentes na literatura é para ambientes configuracional e arquiteturalmente homogêneos. Apenas uma pequena minoria desses modelos contempla a heterogeneidade e, ainda assim, apenas a heterogeneidade configuracional.

Objetivando obter não somente informações sobre a carga de trabalho, mas a situação de operação de cada um dos elementos do sistema envolvido no processo, foi proposto um novo conceito denominado índice de desempenho o qual fornece informações que levam em consideração não somente a heterogeneidade configuracional mas também a arquitetural das máquinas existentes no sistema.

### 3.2. Índices de Desempenho - VIP e PVIP

Um bom índice de desempenho, assim como os índices de carga, deve possuir meios de estimar o futuro através de valores atuais e fatores do passado. Para que se possa obter um bom índice de desempenho, suas bases devem estar fundadas nos índices de carga. Neste trabalho, entende-se por índice de desempenho a métrica que seja capaz de fornecer uma imagem da capacidade de trabalho, ilustrando claramente o que pode ser esperado em termos de desempenho, do elemento em análise [1].

Dois novos índices de desempenho foram propostos e baseiam-se na distância euclidiana (vetor C) entre o ponto origem (onde a máquina está ociosa) e o ponto resultante da soma dos vetores de carga da máquina antes da submissão (vetor M) e do vetor da carga imposta após a submissão da aplicação (vetor P). A máquina mais adequada para receber a aplicação é aquela onde se obtém a menor distância euclidiana. Esse índice, baseado nos vetores de carga, será referenciado no restante deste artigo por VIP (Vector for Index of Performance) [1]. Esse índice não considera valores particulares de cada recurso, mas sim a relação existente entre os diferentes recursos que compõem uma máquina, permitindo que a alocação dos processos seja efetuada de uma maneira mais equilibrada. A Figura 1 ilustra a distância euclidiana utilizada pelo VIP.

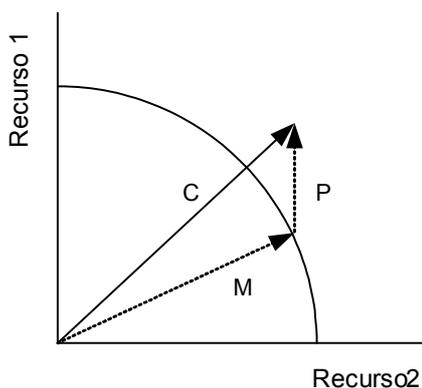


Figura 1 – Distância Euclidiana utilizada pelo índice VIP.

O VIP considera que a influência de cada um dos recursos avaliados no índice é a mesma. Um outro índice, denominado PVIP (Ponderated Vector for Index of Performance) e também definido em [1], considera que cada recurso pode influenciar de uma maneira diferente o comportamento da máquina. O PVIP pode apresentar melhores resultados para

os casos em que se tem algum conhecimento do tipo de aplicação a ser considerada ou quando for possível a utilização de um índice adaptativo.

Uma vez que a maioria dos escalonadores de processos se comporta de maneira semelhante, o objetivo dessa análise de desempenho é construir um método que permita a avaliação dos diversos índices, oferecendo ao usuário da computação distribuída uma maneira objetiva de escolher o índice e a(s) classe(s) de aplicação(ões) que melhor se adaptem.

#### **4. Metodologia para análise de desempenho dos índices propostos (VIP e PVIP)**

Visando a avaliação do comportamento dos diversos índices de carga encontrados na literatura em comparação com os índices propostos VIP e PVIP foi desenvolvido um programa de simulação que representará o comportamento de um sistema distribuído heterogêneo onde aplicações paralelas são executadas. O programa também avalia a sobrecarga causada pelo uso impróprio desses índices quando da submissão de tipos específicos de classes de aplicações.

##### **4.1. Definição do modelo**

Um primeiro passo para o desenvolvimento da simulação é a abstração das principais características do sistema a ser simulado em um modelo. Para a modelagem do sistema em estudo, foi utilizada a técnica de Redes de Filas [11]. O modelo é composto por um centro de serviço (servidor + fila) que representa um escalonador (responsável unicamente pela atividade de escalonar os processos) e vários conjuntos de 3 centros de serviço (processador, disco e rede) representando as máquinas onde as aplicações são executadas (figura 1). Essas máquinas, em conjunto serão consideradas como uma máquina paralela virtual.

A memória não foi modelada como uma fornecedora de serviços, sendo somente uma variável quantitativa ( $Q_m$ ) definida em cada máquina. Ao escalonador estão associados tempos de escalonamento e tempo de atualização da tabela dos índices nas demais máquinas, dependendo do tipo de escalonamento a ser realizado. Os tempos de atualização da tabela foram obtidos a partir dos experimentos realizados fazendo uso do ambiente paralelo virtual PVM [12] e do ambiente de escalonamento AMIGO (dynAMical flexIble schedulinG environment) [13].

As aplicações que chegam ao escalonador pertencem a uma determinada classe, a qual define as aplicações em termos de porcentagem de utilização de processamento, memória, disco e rede. A função do escalonador é escolher a máquina onde a aplicação será executada de acordo com algum índice de carga. A máquina escolhida para a execução recebe a aplicação no elemento processador e atualiza sua tabela de índices de acordo com a classe que a aplicação pertence.

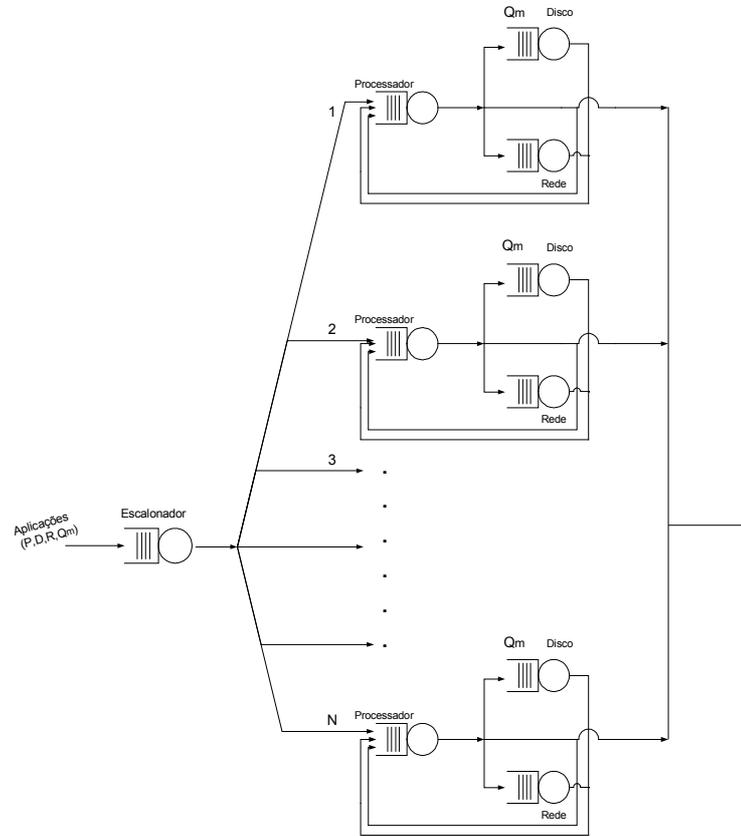
No elemento processador, a aplicação fica o tempo necessário para processamento até que um outro recurso seja requisitado (rede ou disco) ou até que o quantum expire. Os processos se movem pelos recursos do sistema e retornam para o fim da fila do processador até que seja finalizado.

##### **4.2. Parâmetros do modelo**

Para finalizar a definição do modelo é necessário definir os parâmetros a serem utilizados nos centros de serviço. Os parâmetros e seus significados podem ser observados a seguir:

1. Número de máquinas: Número de máquinas a serem utilizadas no cluster.
2. Taxa de chegada: Média da distribuição exponencial que determina a frequência com que as aplicações chegam para serem executadas.
3. Taxa de serviço do escalonador: Média da distribuição exponencial que determina o tempo que o escalonador irá demorar a decidir sobre a melhor máquina para executar a aplicação.
4. Tempo de cálculo dos índices: Média da distribuição exponencial que determina o tempo necessário para atualização dos índices de desempenho.
5. Tempo de atualização dos índices: Periodicidade de atualização da tabela de índices.
6. Tempo de atualização do índice proposto: Média da distribuição exponencial que determina o tempo necessário para que os vetores utilizados no índice de desempenho sejam atualizados.
7. Tempo de serviço dos processadores: Média da distribuição exponencial que determina o tempo que cada aplicação utilizará em cada processador do cluster.
8. Tempo de serviço dos discos: Média da distribuição exponencial que determina o tempo que cada aplicação utilizará no período de acesso a disco, em cada disco do cluster.
9. Tempo de serviço das interfaces de rede: Média da distribuição exponencial que determina o tempo que cada aplicação utilizará no período de utilização da rede, em cada interface de rede do cluster.
10. Quantidade de Memória: Quantidade de memória (Mbytes) em cada máquina do cluster.
11. Quantum: Período que cada aplicação pode ficar sendo executada nos processadores, em cada máquina do cluster.
12. Utilização processamento: Característica da aplicação em termos de porcentagem de utilização de processamento.

13. Utilização disco: Característica da aplicação em termos de porcentagem de utilização de disco.
14. Utilização rede: Característica da aplicação em termos de porcentagem de utilização de rede.
15. Utilização memória: Característica da aplicação em termos de porcentagem de utilização de memória.
16. Índice: Escolha do índice a ser analisado.



**Figura 2** – Modelo em redes de filas de um simulador de índice de carga e desempenho.

Os elementos de processamento possuem tempos de serviço relativos uns aos outros, medidos de acordo com a capacidade de cada um. O elemento disco será definido por  $t = \text{tempo de seek} + \text{o tamanho do arquivo/bandwidth}$  [14]. Para os elementos de rede será utilizado o tamanho da mensagem/80Mb/s (considerando uma rede interligada por um switch que garante essa capacidade de transmissão [15]).

O resultado fornecido pelo programa de simulação é o tempo que a aplicação levará para ser executada na máquina paralela virtual.

Com essas especificações pode-se realizar experimentações com diferentes tipos de configurações do cluster (alterando-se os parâmetros 1, 3, 7, 8, 9 e 10), das aplicações (alterando-se os parâmetros 2, 12, 13, 14 e 15) e índices (alterando-se os parâmetros 4, 5, 6 e 16).

O código do programa de simulação foi desenvolvido utilizando a biblioteca SMPL [16].

### 4.3. Validação do modelo

Tanto a validação quanto a verificação do modelo foi efetuada através das técnicas propostas por Sargent [17].

Segundo Sargent [17] a verificação do programa de simulação não é uma tarefa fácil de ser executada e a validação completa do modelo em todo o domínio da aplicação é, muitas vezes, impraticável. Como uma alternativa prática, uma série de testes pode ser executada para demonstrar que os resultados específicos obtidos a partir do modelo são compatíveis com os dados obtidos a partir de um sistema real, levando a um grau razoável de confiança no modelo e simulação.

Os resultados do modelo de escalonamento de processos proposto neste artigo foram validados, através da utilização de diversas formas e técnicas, com ênfase particular nos seguintes parâmetros e saídas:

- Tempo gasto para escalonar uma aplicação;
- Tamanho de fila nos recursos processador, disco e rede;
- Comprimento da fila nos recursos escalonador, processador, disco e rede;
- Tempo final de resposta do modelo;
- Número de acessos ao processador.

As técnicas utilizadas para validação do modelo foram: 1.Face Validity, 2.Fixed Value e 3.Internal Validity e são detalhadas a seguir.

#### 4.3.1. Face Validity

Esta técnica é utilizada para demonstrar que o relacionamento entre as entradas e saídas é razoável. No modelo de simulação do escalonamento apresentado várias características foram verificadas, destacando-se entre elas:

- Influência da carga de trabalho: quando o número de aplicações aumenta e o número de máquinas permanece constante as filas dos recursos escalonador e processar aumentam e, conseqüentemente, o tempo final de processamento aumenta;
- Potência computacional: quando um processador mais potente é utilizado, o tamanho da fila, conseqüentemente, diminui. O mesmo pode ser verificado para os recursos disco e rede.

Todas as características comparadas levaram a resultados coerentes.

#### 4.3.2. Fixed Value

Nesta técnica, algumas variáveis são configuradas para causar resultados conhecidos ou de cálculo possível. A título de exemplificação, pode-se efetuar a execução de uma simulação para uma única aplicação, que é utilizada para verificar a ocorrência de filas vazias. Esta característica foi observada em todos os exemplos simulados.

#### 4.3.3. Internal Validity

Várias execuções da simulação com sementes de números aleatórios (15 sementes diferentes) independentes foram efetuadas para se obter cada valor retornado pelo programa de simulação. Esta técnica [16] reduz a variância e permite a construção de um intervalo de confiança para medir a precisão obtida. Os resultados obtidos a partir dessas simulações podem também ser usados para demonstrar que a variabilidade é aceitável. A tabela 1 apresenta resultados típicos obtidos a partir de um exemplo particular, para diferentes saídas.

**Tabela 1** – Variabilidade das saídas da simulação usando tempo de resposta em aplicações CPU-Bound

Saída	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Desvio Padrão
Índice de CPU Plataforma Homogênea	165.07	156.09	160.22	2.87
Índice de Disco Plataforma Homogênea	1530.11	1472.86	1493.99	18.19
Round-Robin Plataforma Homogênea	166.62	154.99	161.20	3.51
Índice de CPU Partially homogeneous platform	275.09	253.78	266.85	6.49
Índice de Disco Plataforma Parcialmente Heterogênea	1522.27	1447.28	1491.28	20.55
Round-Robin Plataforma Parcialmete Heterogênea	331.53	299.97	314.71	9.24
Índice CPU Plataforma Heterogênea	251.77	236.66	242.26	4.59
Índice Disco Plataforma Heterogênea	2166.02	2030.42	2089.56	33.30
Round-Robin Plataforma Heterogênea	323.66	256.25	289.72	16.55

Os resultados da tabela 1 mostram valores pequenos para o desvio padrão das saídas obtidas com a simulação, o qual demonstra uma pequena dispersão desses dados e uma boa precisão interna, uma vez que grandes dispersões nos resultados da simulação significam que o modelo é inapropriado ou o número de execuções insuficiente.

## 5. Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir da simulação do modelo descrito na seção anterior, utilizando os índices existentes na literatura e os propostos neste trabalho. O estudo feito se concentra na avaliação de

desempenho dos diferentes índices em um conjunto de máquinas (tratadas como homogêneas, heterogêneas e parcialmente heterogêneas) e sobre seus efeitos no desempenho global do sistema, quando submetido a uma carga próxima da real. O programa de simulação implementa o modelo apresentado na Figura 1, com um escalonador e 10 máquinas (0 a 10) formando uma máquina paralela virtual.

A obtenção dos resultados para análise do índice proposto baseou-se em diversas execuções do modelo com a variação de diferentes parâmetros, dentre eles os parâmetros referentes às aplicações. Os resultados representam a média das 15 execuções com explicadas na seção 4.3.3.

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam respectivamente, as configurações das arquiteturas heterogênea, parcialmente heterogênea e homogênea das máquinas utilizadas.

As aplicações são classificadas segundo a porcentagem de utilização dos recursos CPU, disco, rede, e a quantidade de memória, seguindo o padrão: %CPU / %disco / %rede / qtd memória (em MBytes). Os cinco tipos de aplicações são: CPU-Bound, Disk-Bound, Network-Bound, Mista1 and Mista2. As aplicações CPU-Bound apresentam grande quantidade de processamento (100/0/0/10), enquanto aplicações Disk-Bound são aquelas que apresentam grande número de acessos a disco (10/90/0/10). Aplicações Network-Bound são aquelas que possuem grande quantidade de comunicação entre as aplicações (10/90/0/10). E por fim, as aplicações Mistas fazem uso de mais de um recurso em quantidade significativa sendo, Mista1 (50/30/20/10) e Mista2 (50/30/20/100).

**Tabela 2** – Configuração dos recursos quando considerado conjunto de máquinas heterogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0.12	5.32	12.5	512
2	0.3	7.84	25.6	256
3	0.42	20.41	25.6	64
4	0.3	7.84	12.5	256
5	0.35	7.00	12.5	256
6	0.45	20.24	25.6	128
7	0.38	20.24	12.5	128
8	0.3	20.24	25.6	256
9	0.37	7.84	25.6	128
10	0.59	20.24	51.2	32

**Tabela 3** – Configuração dos recursos quando considerado conjunto de máquinas parcialmente heterogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0.3	7.84	25.6	256
2	0.3	7.84	25.6	256
3	0.3	7.84	25.6	256
4	0.3	7.84	25.6	256
5	0.3	7.84	25.6	256
6	0.6	15.68	51.2	128
7	0.6	15.68	51.2	128
8	0.6	15.68	51.2	128
9	0.6	15.68	51.2	128
10	0.6	15.68	51.2	128

**Tabela 4** – Configuração dos recursos quando considerado conjunto de máquinas homogêneas

Máquinas	Processador	Disco	Rede	Memória
1	0,3	7,84	25,6	256
2	0,3	7,84	25,6	256
3	0,3	7,84	25,6	256
4	0,3	7,84	25,6	256
5	0,3	7,84	25,6	256
6	0,3	7,84	25,6	256
7	0,3	7,84	25,6	256
8	0,3	7,84	25,6	256
9	0,3	7,84	25,6	256
10	0,3	7,84	25,6	256

Os índices de carga avaliados são: índice de CPU, índice de disco, índice de rede, índice de memória, escalonamento round-robin e os índices propostos VIP e PVIP e os resultados são apresentados nas tabelas 5, 6 e 7. Os índices avaliados encontram-se na posição vertical da tabela, enquanto que os tipos de aplicações encontram-se na horizontal.

**Tabela 5 – Média dos tempos de resposta em uma configuração de máquinas heterogêneas**

Índices \ Aplicações	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista1	Mista 2
CPU	242.26	15332.33	49374.19	10800.79	10818.27
Memória	2089.56	94195.76	115300.03	32792.78	32872.06
Disco	2089.56	6595.93	53405.00	6894.56	6894.65
Rede	2089.56	94195.76	13401.36	3628.12	3680.20
Round-Robin	289.72	9751.98	22956.65	5238.52	5135.99
VIP	212.70	6625.70	13227.89	3598.37	3624.56
PVIP	220.83	6577.75	13285.48	3667.18	3693.19

**Tabela 6 – Média dos tempos de resposta em uma configuração de máquinas parcialmente heterogêneas**

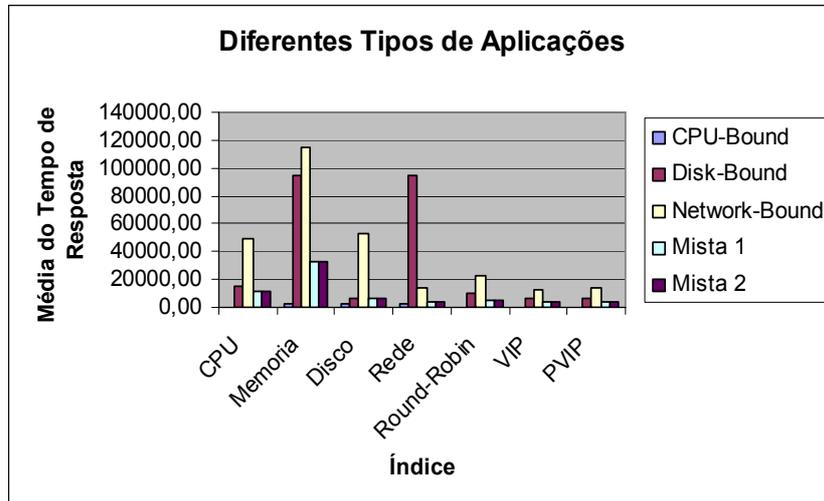
Índices \ Aplicações	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2
CPU	266.85	5979.42	19324.88	4300.02	4240.40
Memória	1491.29	36028.12	115295.15	25600.78	25628.81
Disco	1491.29	5963.20	25713.66	4189.64	4164.86
Rede	1491.29	36028.12	18915.62	4177.37	4210.51
Round-Robin	314.71	7654.29	24608.41	5391.05	5398.06
VIP	283.75	5924.79	18961.86	4172.30	4198.65
PVIP	281.54	5979.00	19066.81	4220.64	4207.71

**Tabela 7 – Média dos tempos de resposta em uma configuração de máquinas homogêneas**

Índices \ Aplicações	CPU-Bound	Disk-Bound	Network-Bound	Mista 1	Mista 2
CPU	160,22	3954,84	12513,84	2748,26	2805,80
Memória	1494,00	36316,92	115814,06	25736,37	25624,03
Disco	1494,00	3855,98	12850,12	2760,46	2750,96
Rede	1494,00	36316,92	12349,64	2714,88	2766,32
Round-Robin	161,20	3888,55	12507,25	2719,39	2765,67
VIP	159,46	3814,43	12274,80	2706,98	2738,84
PVIP	160,75	3851,15	12390,31	2713,73	2749,63

Os resultados apresentados nas tabelas demonstram a viabilidade do uso dos índices propostos neste artigo, uma vez que os tempos médios de resposta, quando do seu uso, nos três tipos de plataformas avaliados é sempre melhor quando comparado aos índices tradicionais, excetuando-se os índices específicos para cada aplicação. Entretanto, quando submetidas aplicações mistas, que exploram diversos recursos, o comportamento dos índices propostos é visivelmente melhor que os demais índices individuais.

A seguir é apresentado o gráfico (Figura 3), para facilitar a visualização do comportamento das várias aplicações quando submetidas ao escalonamento fazendo uso dos diversos índices de carga.



**Figura 3** – Resumo do comportamento das diferentes aplicações quando submetidas aos índices de carga tradicionais e aos índices propostos neste artigo

Os resultados analisados e apresentados vêm também ao encontro dos resultados encontrados na literatura que indicam que os índices de carga genéricos, além de apresentarem uma tendência à sobrecarga maior, não devem apresentar a mesma qualidade de representação de carga de trabalho, quando comparados com os índices específicos utilizados corretamente [7]. Entretanto, o índice de desempenho proposto, apesar de genérico, apresenta características flexíveis, o que o torna muito próximo dos índices específicos de cada aplicação, além de apresentar resultados muito bons quando submetido a aplicações mistas.

Essas considerações comprovam a confiabilidade que se pode ter no simulador, uma vez que os resultados estão de acordo com os encontrados na literatura quando são comparados índices específicos e individuais.

O gráfico apresentado refere-se aos resultados obtidos a partir da configuração onde as máquinas são heterogêneas, entretanto, os resultados apresentados para essa configuração são extensíveis às demais configurações. A simulação foi desenvolvida para executar 5000 aplicações, independentemente da aplicação considerada.

## 6. Conclusões

A motivação para a construção do modelo está no fato de que existe uma carência de ferramentas práticas de avaliação de índices de carga e a correspondente avaliação de desempenho dos mesmos.

As técnicas de modelagem são indicadas para efetuar essa análise exatamente pela não necessidade da presença física do objeto de estudo. A vantagem da simulação sobre as técnicas analíticas reside no fato de que as alterações, que por ventura são impostas ao modelo, podem ser mais facilmente refletidas. Dessa forma, optou-se por realizar o estudo dos índices utilizando técnicas de modelagem e a resolução do modelo por simulação.

Partindo da confecção do modelo em redes de fila para escalonamento de processos apresentado na seção 4, pode-se testar não somente os índices propostos, mas também os demais índices de carga existentes na literatura, além de permitir a inserção de outros índices que venham a existir, permitindo demonstrar a usabilidade e flexibilidade (ou não) dos índices principalmente em plataformas heterogêneas.

Os resultados aqui obtidos demonstram também a necessidade de se levar em consideração todos os recursos envolvidos no processo de escalonamento para que decisões mais acertadas possam ser tomadas, independentemente do objetivo que se queira alcançar, principalmente quando o tipo de aplicação faz uso dos diversos tipos de recursos ou quando não se sabe explicitamente o tipo de aplicação que será escalonada.

## 7. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer às agências de financiamento CAPES, CNPq e FAPESP pelo apoio dado aos projetos do Laboratório de Sistemas Distribuídos e Programação Concorrente (LaSDPC) do ICMC-USP.

## 8. Referências

- [1] Branco, K. R. L.J. C. (2004). Índices de Carga e Desempenho em Ambientes Paralelos/Distribuídos – Modelagem e Métricas. Phd Thesis (Doctorate in Computer Sciences and Computational Mathematics) – Institute of Mathematical and Computational Sciences –São Carlos campus. USP – University of São Paulo.
- [2] Karatza, H. D.; Hilzer, R. C. (2003). Parallel Job Scheduling in Homogeneous Distributed Systems. In *Simulation*, Vol 79, Issue 5-6, May-June, p. 287-298.
- [3] Karatza, H. D.; Hilzer, R. C. (2003). Performance Analysis of Parallel Job Scheduling in Distributed Systems. In *Proceedings of the 36th Annual Symposium*, March-April Orlando, FL, p. 109-116.
- [4] Dandamudi, S. (1998) Sensitivity Evaluation of Dynamic Load Sharing in Distributed Systems. *IEEE Concurrency*, July-September, p. 62-72.
- [5] Ferrari, D.; Zhou, S. (1987). An Empirical Investigation of Load Indices for Load Balancing Applications. In *Proceedings of Performance'87, the 12th Int'l Symposium on Computer Performance Modeling, Measurement, and Evaluation*, p.515-528.
- [6] Kunz, T. (1991). The Influence of Different Workload Descriptions on a Heuristic Load Balancing Scheme. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v.17, n.7, p.725-730, July.
- [7] Mehra, P.; Wah, B.W. (1993). Automated Learning of Load-Balancing Strategies for a Distributed Computer System. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [8] Dantas, M. A. R.; Zaluska, E. J. (1998). Efficient Scheduling of MPI Applications on Networks of Workstations. *Future Generation Computer Systems – FGCS*, v. 13, p. 489-499.
- [9] Schnor, B.; Petri, S.; Langendörfer, H. (1996). Load Management for Load Balancing on Heterogeneous Platforms: A Comparison of Traditional and Neural Network Based Approaches. In *Second International Euro-Par Conference - Euro-Par'96, Lecture Notes in Computer Science v.1124, Lyon, France*, p.611-614, August.
- [10] Xu, C.; Lau, F.C.M. (1997). *Load Balancing in Parallel Computers: Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- [11] Jain, J. (1996). *The art of computer system performance analysis*. John Willey & Sons.
- [12] Sunderam, V. S, Geist, A., Dongarra, J., Monchek, R. (1994). The PVM Concurrent Computing System: Evolution, Experiences and Trends, *Parallel Computing*, v. 20, p. 531-545.
- [13] Souza, P. S. L. (2000). AMIGO: Uma Contribuição para a Convergência na Área de Escalonamento de Processos. Phd Thesis (Doctorate in “Applied Physics – option: Computational Physics” Sciences) - São Carlos Institute of Physics, USP – University of São Paulo.
- [14] White Paper AMD (2002). *Quantispeed™ Architecture*. Advanced Micro Devices, INC - One AMD Place. Sunnyvale, CA 94088. January.
- [15] Kant, K., Mohapatra, P. (2000). Scalable Internet servers: Issues and challenges. In *Proceedings of the Workshop on Performance and Architecture of Web Servers (PAWS)*. ACM SIGMETRICS, June.
- [16] Macdougall, M.H. (1987). *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*. The MIT Press.
- [17] Sargent, R. G. (1999) Validation and Verification of Simulation Models. In *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, p. 39 – 48.