

Análise e Modelagem de Desempenho de Sistemas de Computação

Profa. Jussara M. Almeida
1º Semestre de 2011

Quem anda estudando "performance"?

- Teórica: construção e desenvolvimento de modelos analíticos
- Experimental: monitoramento, medição e teste
- Aplicações
 - Engenharia de software: requisitos não funcionais
 - Arquitetura de computadores
 - Redes, sistemas paralelos e distribuídos
 - Sistemas Operacionais
 - Recuperação de Informação
 - Internet-Web (profissão de Web analyst)
 - Data centers, cloud computing
 - Logística digital
 - Aplicações críticas: corporativas, segurança pública

O que é desempenho?

[Aurélio]

desempenho. [Dev. de desempenhar.] *s.m.*,

1. Ato ou efeito de desempenhar(-se).
2. *Mil.* Conjunto de características ou de possibilidades de atuação de uma aeronave, tais como velocidade de cruzeiro, velocidade de pouso, capacidade de carga, autonomia de vôo, etc.
3. *Teat. V.* interpretação.

O que é desempenho?

[Webster]

per.for.mance n p*(r)-'for-m*n(t)s\

1. a: the execution of an action
b: something accomplished : **DEED, FEAT**
2. : the fulfillment of a claim, promise, or request:
IMPLEMENTATION
3. a: the action of representing a character in a play
b: a public presentation or exhibition
4. a: the ability to perform: **EFFICIENCY**
b: the manner in which a mechanism performs
5. : the manner of reacting to stimuli: **BEHAVIOR**

O quê, como e por quê?

- O que é desempenho?
 - Medida da *capacidade de resposta* de um sistema
- Como analisar o desempenho de um sistema?
 - Medições, análise quantitativa
 - Métricas de desempenho
- Por quê?
 - Aspecto chave no projeto, compra e uso de um sistema de computação
 - Ex: desempenho de sistemas da Web é crítico para vida contemporânea

Para quê?

- Identificar pontos de contenção e/ou de desperdício de um sistema
- Avaliar múltiplas alternativas de projeto e/ou implementação de uma aplicação
- Determinar configuração ótima dos parâmetros de um sistema
- Fazer previsão de desempenho em função do crescimento da carga
- Planejamento de capacidade
- Validação
(identificação de erros de implementação)

Complexidade

- Ambientes complexos e dinâmicos
 - Sistema = hardware + SO + aplicações
 - Surgimento de novas aplicações
 - Determinação de premissas é essencial
- Dependência da carga:
 - Comportamento de usuário é imprevisível
 - Mudanças drásticas: flash crowds (11/9, morte do Michael Jackson)
- Requisitos (QoS)
 - Service Level Agreement (SLA)
 - Tempo de resposta médio inferior a 1 segundo
 - Taxa de processamento superior a X transações por seg (quanto no Google?)

Google: Complexidade

- 2008:
 - Searches on Google no mundo inteiro: 48.7 bi
 - Searches/hour on Google em Julho: 65 mi.
 - Searches on Microsoft no mundo inteiro: 2.3 bi
 - Searches/hour on Microsoft em Julho: 3.1 mi



- Mais recente:
 - <http://www.alex.com/siteinfo/google.com>

Qual a meta?



Observar
Medir
Aprender
Otimizar
Iterar



"Users really respond to speed."

Marissa Mayer, Google

"Worry about the data first
before you worry about the
algorithm"

Peter Norvig, Google

+500 ms → -20% traffic
@Google

+100 ms → -1% sales
@Amazon

Wed

listen 

Bing found that a 2 second slowdown caused a 4.3% reduction in revenue/user

Google Search found that a 400 millisecond delay resulted in 0.59% fewer searches/user

AOL revealed that users that experience the fastest page load times view 50% more pages/visit than users experiencing the slowest page load times

Shopzilla undertook a massive performance redesign reducing page load times from ~7 seconds to ~2 seconds, with a corresponding 7-12% increase in revenue and 50% reduction in hardware costs

~7.5 pages/visit. This drops to ~6 pages/visit in the 3rd decile, and bottoms out at ~5 pages/visit for users with the slowest page load times. ([slides](#))

The real reason why Google wants to speed up the Web

Posted in [Main](#) on July 22nd, 2009 by Pingdom

In June Google launched [a Web community](#) with the specific long-term goal [to make the Web faster](#). The tone of Google's presentation when launching this initiative was very much "let's do this for the good of the world".



Here is a section [from the FAQ](#), explaining why Google wants to speed up the Web:

Improving the speed of the web will help not just Google but the entire web community because it will:

- Increase the number of internet users globally, thus accessible
- Help developers produce better more responsive web performance to desktop apps. This will make the web users, who will start using it more, for tasks that need desktop apps
- Help new applications and markets emerge

Overall we believe that speeding up the web will improve the lives of millions of people.

Although we like the altruistic aspects of this, it's worth noting that one here. **Google is doing this because it's good for Google.**

Some of the main benefits for Google would be:

- **Faster crawling:** Faster websites and faster communications means it's easier and faster for Google to crawl the information available, a necessary criterion for the real-time Web everyone is talking about these days. Faster crawling might even provide cost savings because less time will be spent on downloading pages.
- **More ad impressions:** Faster web pages will mean less aborted page downloads, which leads to more page views, which will help Google because statistically this means more ads can be served.
- **More Internet users:** One side effect of a faster, better Internet is more users. And few companies are better positioned to benefit from this than Google as they can expand their "customer base" even more.
- **Improving the viability of the Web as a platform:** The [Chrome OS](#), anyone? If the Web is ever going to become THE platform for our applications, it needs to become a lot faster and more responsive.
- **It's good for Google's datacenters:** This is connected with the point above; the Web as a platform. Google's "cloud" essentially consists of multiple interconnected datacenters ([lots of them](#)). The faster and more efficient the Internet becomes, the better these datacenters can work together.

In the end, this all translates into one thing: More money for Google.

Fonte: <http://royal.pingdom.com/2009/07/22/the-real-reason-why-google-wants-to-speed-up-the-web/>

Métricas de Desempenho

Figure 2: Effect of distance on throughput and download times.

Distance from Server to User	Network Latency	Typical Packet Loss	Throughput (quality)	4GB DVD Download Time
Local: <100 mi.	1.6ms	0.6%	44Mbps (HDTV)	12 min.
Regional: 500–1,000 mi.	16ms	0.7%	4Mbps (not quite DVD)	2.2 hrs.
Cross-continent: –3,000 mi.	48ms	1.0%	1Mbps (not quite TV)	8.2 hrs.
Multi-continent: –6,000 mi.	96ms	1.4%	0.4Mbps (poor)	20 hrs.

FEBRUARY 2009 | VOL. 52 | NO. 2 | COMMUNICATIONS OF THE ACM 47

Improving Performance on the Internet

Tom Leighton, Communications Of the ACM Feb 2009

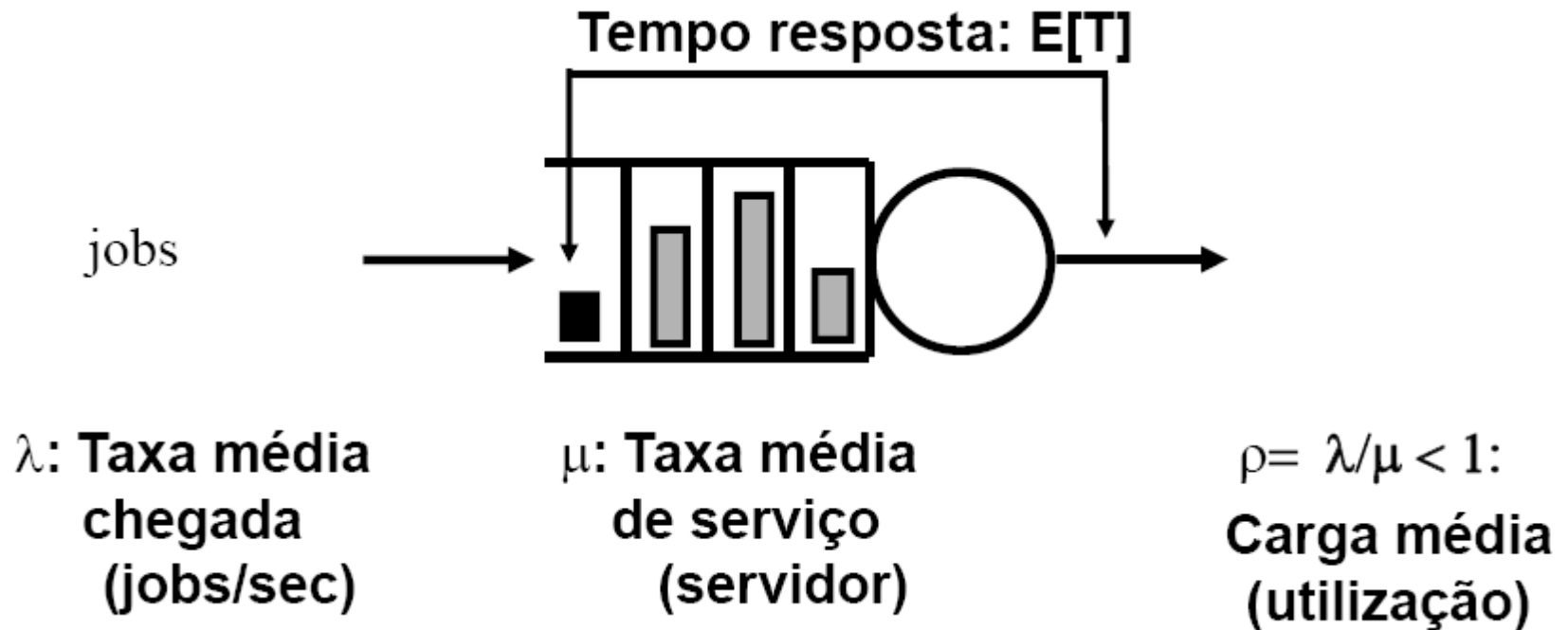
Slide derivado da apresentação de Virgílio Almeida

It is all about queues...



Fila ➡ gargalos (contenção) ➡ espera

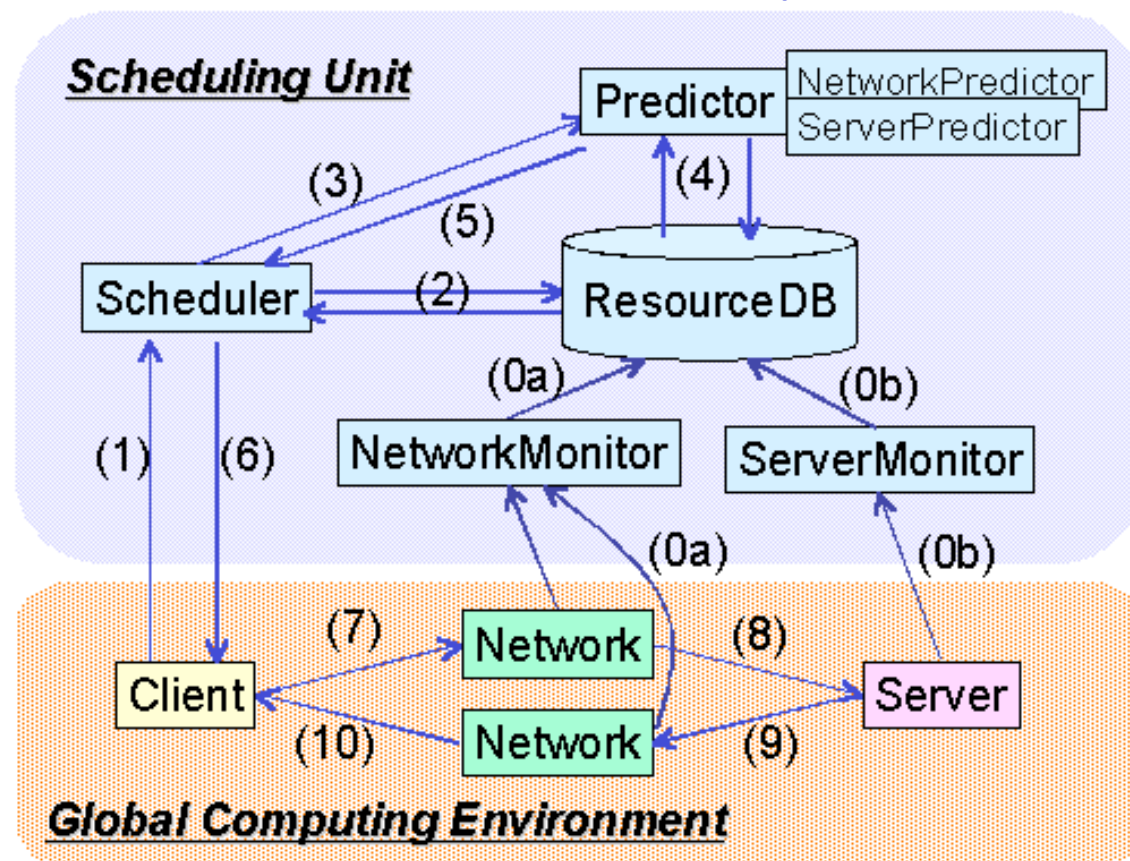
O Modelo Básico



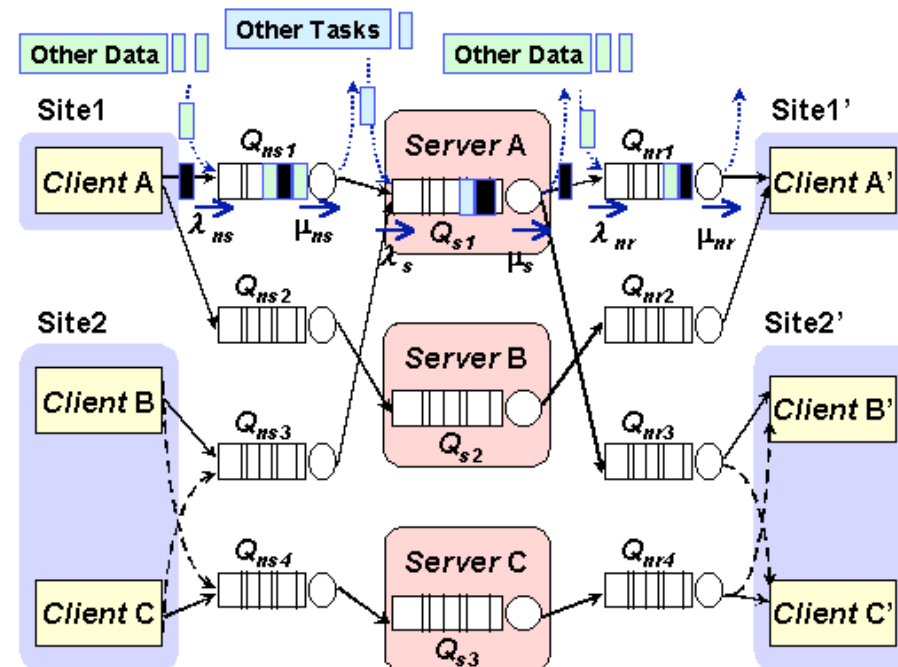
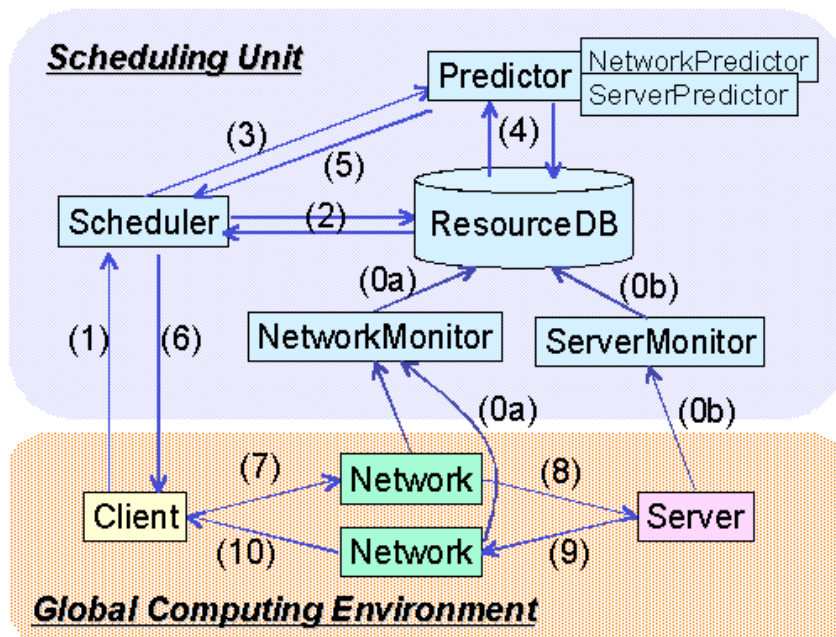
Servidor: roteadores
Processadores
Locks de Banco de Dados
Web Servers
Pontos de acesso a WiFi
Threads

....

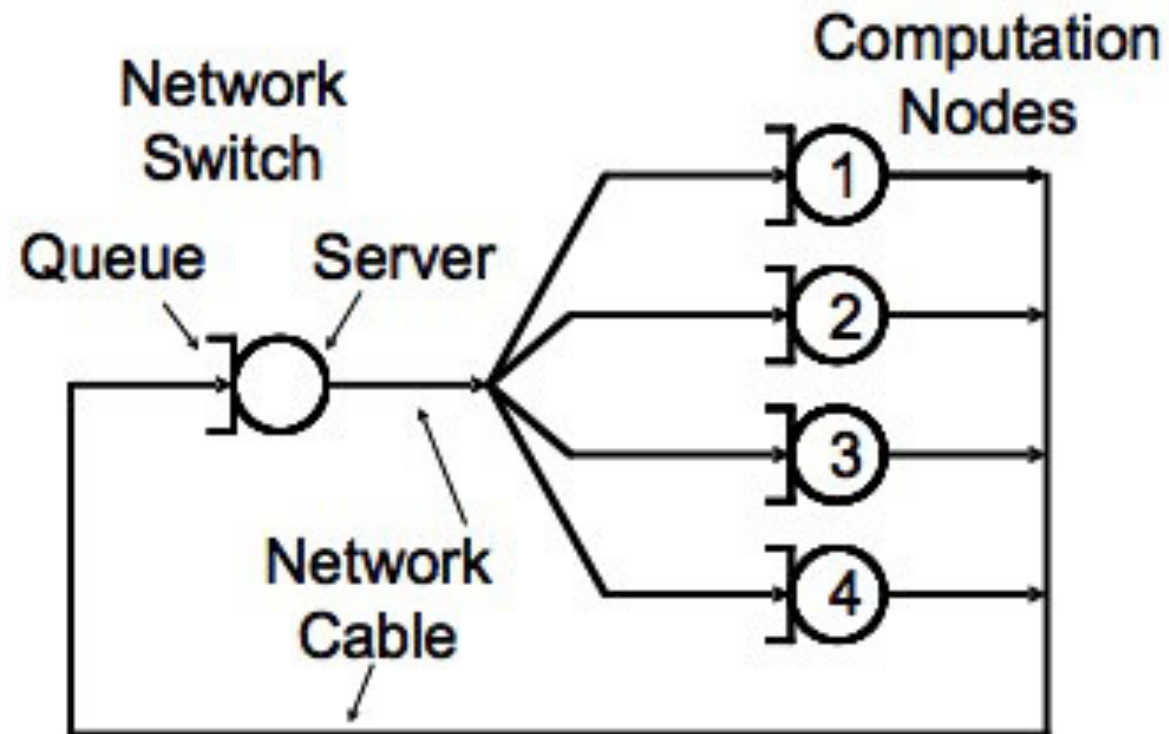
Mapeando um sistema de computação em um sistema de filas



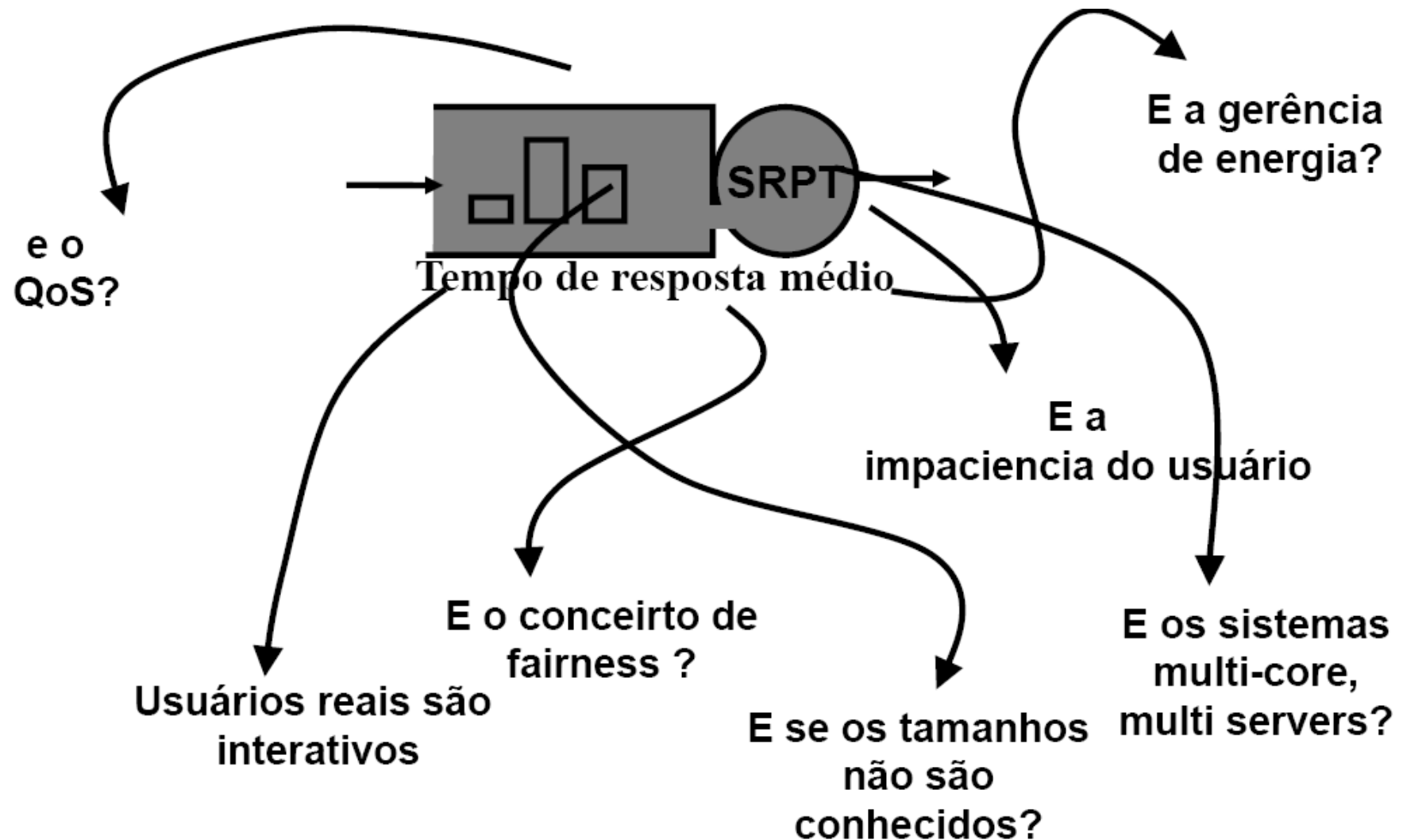
Mapeando um sistema de computação em um sistema de filas



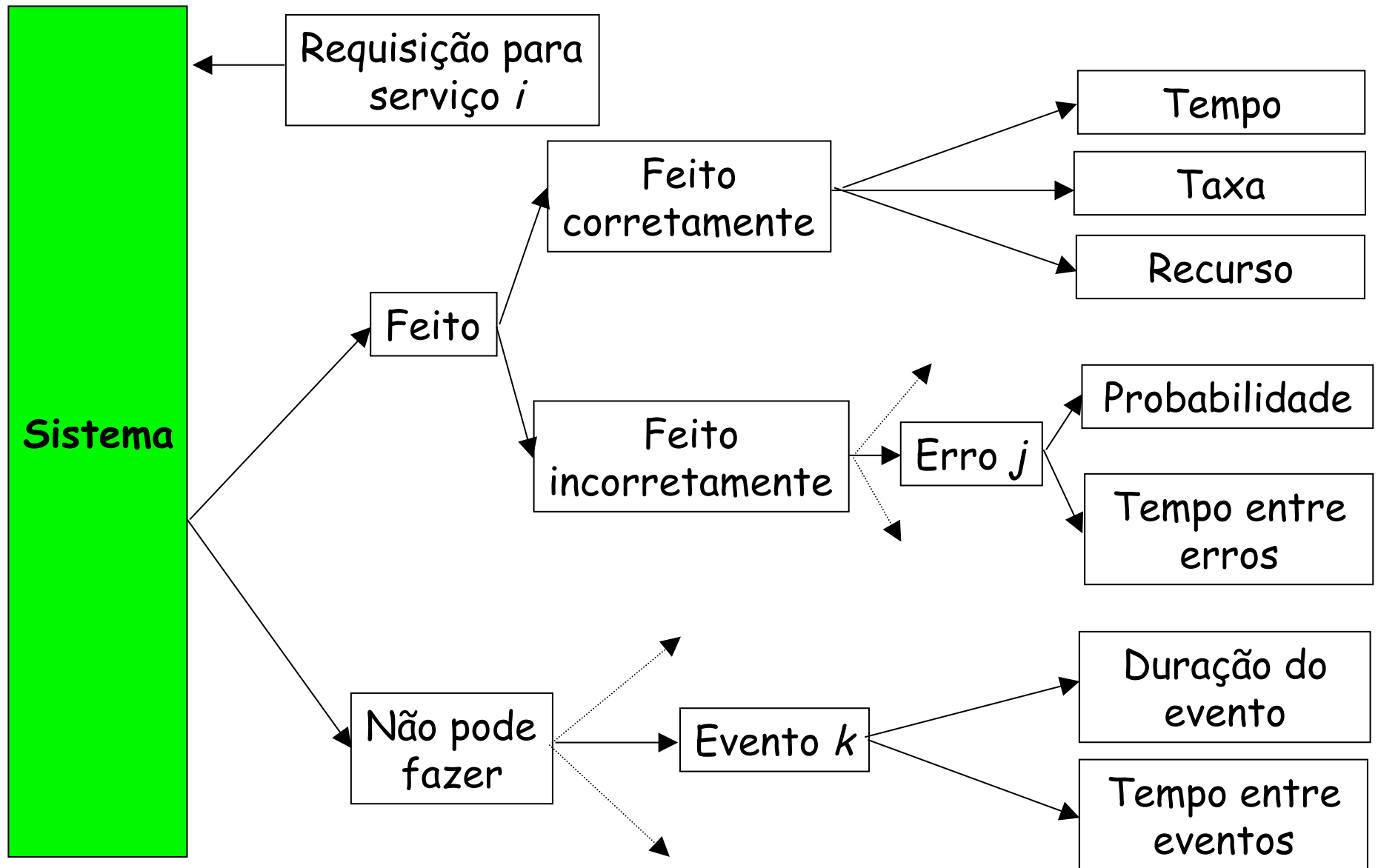
Um outro exemplo...



Desafios do mundo real ...



Métricas de Desempenho



Métricas de Desempenho

- Tempo de resposta (total, por componente)
- Taxa de processamento (*throughput*)
 - Transações/s, HTTP requests/s, sessões/s, I/O/s, etc.
- Utilização
- Escalabilidade
- Disponibilidade (falhas ou sobre-carga)
 - Controle de admissão
 - Disponibilidade vs. tempo de resposta
- Confiabilidade
- Custo

Métricas de Desempenho

- Segurança: confidencialidade, integridade
 - autenticação
- Extensibilidade: fácil evolução para incluir novos requisitos funcionais e de desempenho
- A escolha da(s) métrica(s) mais adequada(s) é chave para o sucesso de uma avaliação de desempenho
 - Eliminar redundâncias (tempo de espera e tamanho da fila)
 - Evitar métricas que têm alta variabilidade (ex: razão de duas variáveis)
 - O conjunto de métricas deve ser completo (ex: protocolo + rápido causa maior # de desconexões)
 - As métricas devem ser realísticas e mensuráveis!
- Métricas devem ser possíveis de se obter!

Métricas de Desempenho: Exemplos

<http://www.internethealthreport.com>

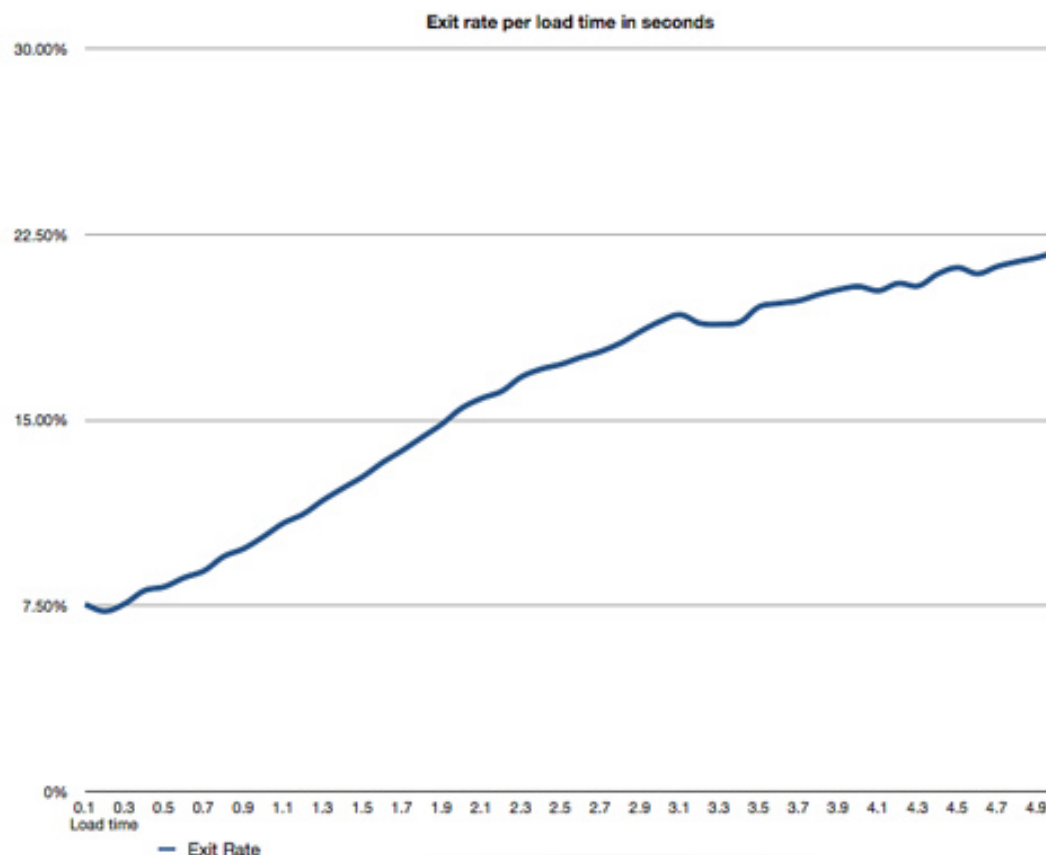
SEARCH

Find

Wikia: fast pages retain users

July 27, 2009 10:52 PM

At [OSCON](#) last week, I attended Artur Bergman's session about [Varnish - A State of the Art High-Performance Reverse Proxy](#). Artur is the VP of Engineering and Operations at [Wikia](#). He has been singing the praises of Varnish for awhile. It was great to see his experiences and resulting advice in one presentation. But what really caught my eye was his last [slide](#):



Wikia measures *exit rate* - the percentage of users that leave the site from a given page. Here they show that exit rate drops as pages get faster. The exit rate goes from ~15% for a 2 second page to ~10% for a 1 second page. This is another data point to add to the list of stats from [Velocity](#) that show that faster pages is not only better for users, it's better for business.

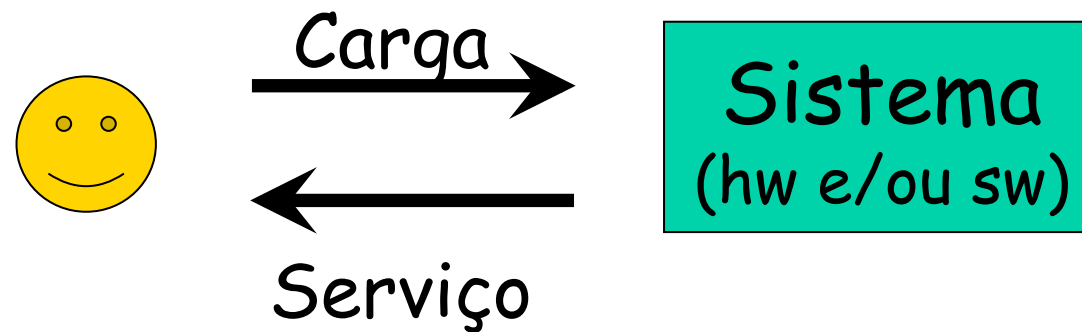
Avaliação de Desempenho

- Modelagem analítica:
 - Conjunto de fórmulas e/ou algoritmos que determinam as medidas de desempenho (métricas) em função de um conjunto de parâmetros de carga (entrada)
 - Modelos determinísticos: análise de limites e de valores médios
 - Modelos probabilísticos: processos estocásticos, modelos de filas
- Modelos de simulação
- Experimentação em sistemas reais
 - Instrumentação
 - Monitoração

Para casa e Projeto

- Para casa: 28/08 (em sala)
 - Ler 1º capítulo de "Performance by Design", by Menasce, Almeida and Dowdy
 - Escrever resenha (até 2 páginas) sobre o capítulo
 - Entregar no dia 29/08, em sala
- Proposta de projeto: 19/09
 - Contextualização/escopo e definição do problema
 - Perguntas que pretende responder
 - Cenários, parâmetros e métricas de avaliação

Modelo de Sistema



- Modelo: representação do comportamento do desempenho do sistema
- Etapas principais:
 - Caracterização do comportamento do usuário / carga: taxa de chegada, tempo de serviço,....
 - Medições no sistema: utilização de recursos, nível de multiprogramação
 - Medições no serviço: tempo de resposta, taxa de sucesso

Exemplos de Aplicação

- Modelagem analítica responde:
 - Como o tempo de resposta de um banco de dados de transações varia com a taxa de transações?
 - Qual o impacto no tempo de resposta de um upgrade de CPU? De disco?
 - Em média, qual o número de processos que ficam bloqueados no semáforo X da aplicação Y?
- Simulação responde:
 - Qual a política de replicação de conteúdo que resulta em maior byte hit ratio?
- Experimentação responde:
 - Quais os principais componentes do tempo de resposta em um servidor Web?
 - Qual o impacto do mecanismo de slow-start do protocolo TCP no desempenho de servidores Web tradicionais?

Seleção da Técnica de Avaliação de Desempenho

- Modelagem analítica
 - Pode ser bastante precisa e simples
 - Baixo custo: fornece resultados rápidos
 - Facilita projeto e configuração do sistema: melhora conhecimento sobre ele
 - avaliação dos compromissos entre vários parâmetros
 - impacto de cada parâmetro
 - Responde perguntas do tipo *what if*
 - Captura aspectos mais gerais do funcionamento do sistema
 - não captura alguns aspectos mais específicos

Seleção da Técnica de Avaliação de Desempenho

- Simulação
 - Custo mais elevado: simulação deve cobrir estado estacionário (as vezes difícil), várias execuções (quantas?)
 - Captura detalhes do funcionamento do sistema
 - Responde perguntas do tipo *what if*
- Experimentação
 - Alta complexidade, muitas variáveis: alto custo
 - Difícil avaliar impacto de fatores isolados: falta de controle, ruído de fatores externos
 - Alta precisão *se e somente se* experimentação realizada corretamente (difícil)

Seleção da Técnica de Avaliação de Desempenho

Critério	Modelagem Analítica	Simulação	Experimentação
Estágio	Qualquer	Qualquer	Após protótipo
Tempo necessário	Pequeno	Médio	Variável
Ferramenta	Análise	Linguagem de Programação	Instrumentação e Monitoração
Precisão	Variável		
Avaliação de Compromissos	Fácil	Médio	Difícil
Custo	Pequeno	Médio	Grande

Abordagem Sistemática para Avaliação de Desempenho

- Definir objetivos e escopo (sistema)
- Listar serviços e saídas
- Selecionar métricas de desempenho
- Listar parâmetros
- Selecionar *fatores* para estudo
- Selecionar técnica de avaliação
- Selecionar carga de trabalho
- Projetar experimentos
- Analisar e interpretar dados (resultados)
- Apresentar resultados

Objetivos e Escopo

- Definir objetivos do estudo é essencial para definir escopo
- Definir escopo é chave para as demais escolhas de métricas, cargas, técnica de avaliação
- Exemplos: Dadas 2 CPUs
 - Objetivo 1: estimar impacto no tempo de resposta de usuários interativos
 - Escopo: sistema de time sharing, resultado depende de outros fatores externos a CPU
 - Objetivo 2: CPU são similares com exceção da ALU
 - Escopo: somente componentes internos da CPU

Métricas de Desempenho

- Escolha específica para estudo, a partir da lista de serviços e possíveis saídas
 - Execução correta: desempenho, escalabilidade
 - tempo de resposta, taxa de processamento (serviço), utilização de recursos
 - Execução incorreta: confiabilidade
 - identificação das classes de erros
 - probabilidade de cada tipo de erro, tempo entre erros
 - Não execução: disponibilidade
 - Identificação das possíveis causas
 - Uptime (% tempo disponível), prob. de downtime, tempo entre falhas (MTTF = *Mean Time To Failure*)

Tempo de Resposta

- Intervalo de tempo entre requisição do usuário e a resposta do sistema
- Definição do intervalo tem que ser clara:
 - Inclui tempo entre momento que usuário termina comando e sistema inicia execução?
 - Inclui tempo entre início e término da geração da resposta?
- Pode conter vários componentes, com influência de vários subsistemas e da carga durante execução
- Ex: `time <programa> (Unix)`
3.5 real 0.2 user 0.9 sys

$\text{real} - (\text{user} + \text{sys}) = 2.4 \text{ segundos}$ gastos ONDE???

Slowdown

- Causado por:
 - operações de I/O (leituras, escritas, paginação)
 - tempo de rede
 - tempo gasto em outros programas (escalonamento)
 - contenção por recursos: filas dos recursos

Tempo de resposta = tempo de serviço + tempo nas filas

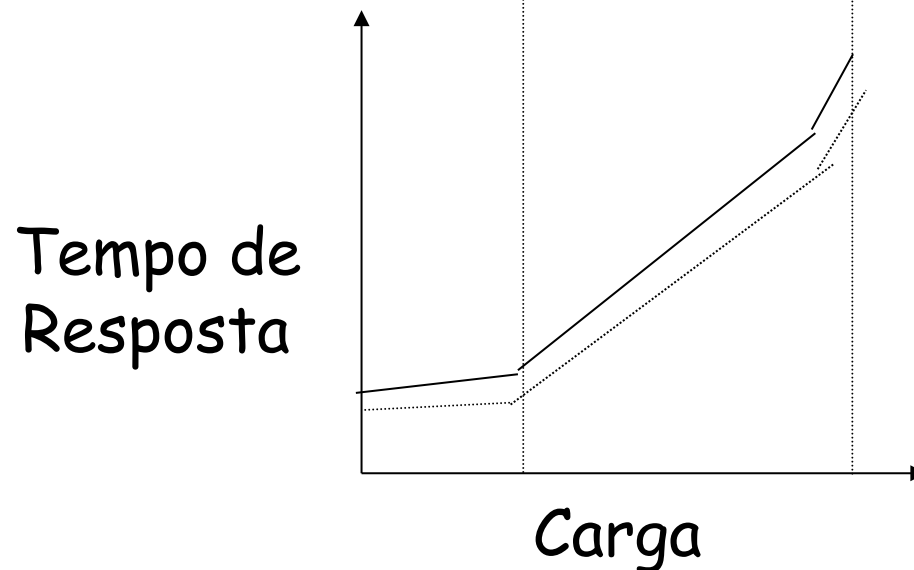
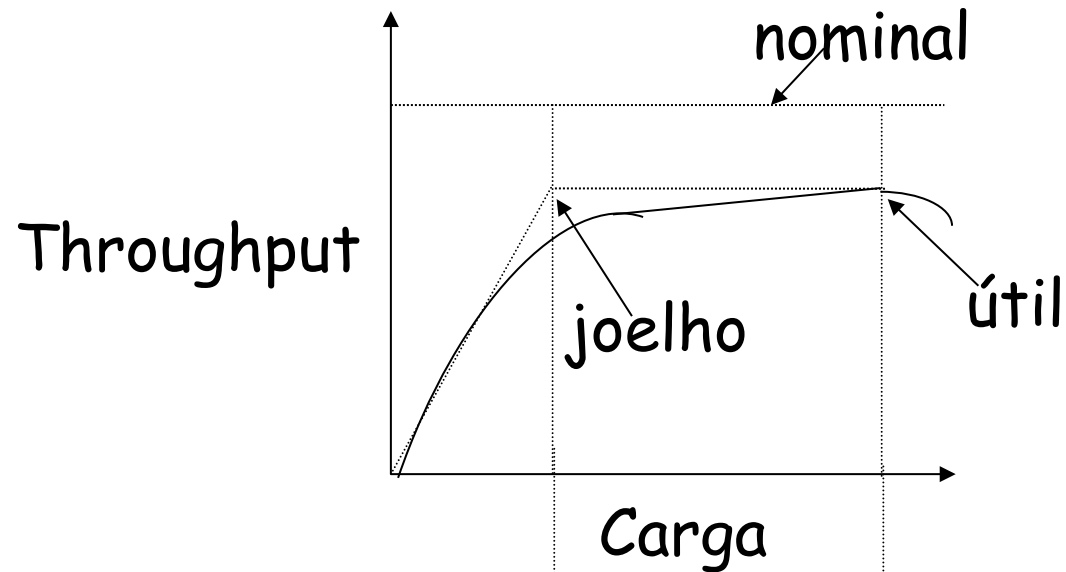
$$TR = TS + TF$$

Slowdown = TF/TS : impacto do tempo de fila

Taxa de Processamento

- Ou taxa de serviço: quantidade de serviço executado por unidade de tempo (throughput)
- Capacidade nominal: capacidade especificada pelo fabricante
 - Ethernet de 100 Mbps
 - Disco com 40Mbps
- Capacidade útil: throughput máximo alcançável
 - Ethernet 100: 70-80 Mbps

Tempo de Resposta x Taxa de Serviço



Joelho da curva =
ponto ótimo de operação

Outras Métricas

- Eficiência: capacidade útil / capacidade nominal
- Utilização : % tempo que recurso está executando serviço
 - Tempo ocioso (*idle time*)
- Custo-benefício = custo / desempenho
 - custo por taxa de serviço
 - US\$/consultas/s, US\$/hits/s
- Métricas específicas
 - % Perda de pacotes, tamanho das rajadas de perdas
 - Qualidade do sinal

Escolha das Métricas

- Incluir métricas para
 - Execução correta, incorreta e não execução
- Avaliar
 - Média, mediana, percentis
 - Variância, coeficiente de variabilidade (CV)
 - Distribuições
 - Medidas individuais, agregadas, por classes

Especificação de Requisitos de Desempenho

- Especificação deve ser precisa e realista
- Problemas:
 - Falta de especificação numérica
o sistema deve ser eficiente
 - Métricas difíceis de avaliar
 - Especificação não realista
o sistema não deve produzir respostas com erros

Especificação de Requisito de Desempenho

- Como fazer:
 1. Escolha um serviço S
 2. Escolha uma métrica M
 3. Escolha um valor máximo X para a métrica M

Opções:

1. média entre valores observados para M para o serviço S deve ser menor que X : arriscado (variabilidade)
3. $Y\%$ (grande) dos valores observados devem ser menores do que X : SIM!!!

Acordo de Nível de Serviço (SLA)

- Exemplos:
 - $RTT < 100$ ms para conexões dentro dos EUA
 - Sistema deve estar disponível X% do tempo
 - X = 99% 7.2 horas/mês downtime
 - X = 99.9% 43 minutos/mês downtime
 - X = 99.999% 26 segundos/mês downtime
- Exemplos de SLAs de disponibilidade (Os 5 9's)
 - AT&T switches: 2hs de downtime em 40 anos
 - Cisco, HP, MS, Sun: garantem 99.999% de disponibilidade (5 min /ano downtime)

Disponibilidade

Custos Downtime (US\$/hora)

• Brokerage operations	\$ 6,450,000
• Credit card authorization	\$2,600,000
• Ebay (1 outage 22 hours)	\$225,000
• Amazon.com	\$180,000
• Package shipping services	\$150,000
• Home shopping channel	\$113,000
• Catalog sales center	\$90,000
• Ailine reservation center	\$89,000
• Cellular service activation	\$41,000
• On-line network fees	\$25,000
• ATM service fees	\$14,000

*Fonte: InternetWeek 4/3/2000 + Fibre Channel: A Comprehensive Introduction,
R. Kembel 2000, p.8. "... Based on a survey done by Contingency Planning Research*

Parâmetros

- Listar parâmetros que afetam desempenho
 - Parâmetros do sistema: software e hardware
 - CPU, memória, disco, controladora, tamanho de buffer (cache), políticas de escalonamento
 - Parâmetros de carga: usuário (imprevisível-?)
 - Tamanho, tipo e frequência das requisições a serviços
 - Eliminar parâmetros redundantes e/ou normalizar

Ex: servidor de vídeo:

Taxa de chegada λ , Tamanho do arquivo T (minutos)

Impacto no sistema: $N = \lambda T$

Não precisa variar λ e T isoladamente,
mas apenas o produto N

Fatores

- Parâmetros que vão variar no estudo
 - Variação = nível
 - Escolha: parâmetros com maior impacto e controlável
 - Começar com poucos parâmetros e níveis e estender a partir da avaliação dos resultados
 - Preferível maior número de parâmetros e poucos níveis
 - Avaliação inicial do impacto relativo de cada um
 - Refinamentos posteriores

Técnica de Avaliação

- A escolha depende:
 - Escopo (aspectos gerais x detalhes) e estágio
 - Tempo e recursos disponíveis
 - Precisão desejada
- Seja qual for a escolha:
 - Não acredite nos resultados de simulação até que sejam validados por análises ou experimentos
 - Não acredite nos resultados de modelos analíticos até que sejam validados por simulação ou experimentos
 - Não acredite nos resultados de experimentos até que sejam validados por modelos analíticos ou simulação

É NECESSÁRIO VALIDAR OS RESULTADOS!!!

Carga de Trabalho

- Carga baseada na lista de serviços do sistema
- Deve ser representativa do sistema real
 - Caracterização das cargas
- Cargas sintéticas vs. cargas reais
 - Cargas reais: traces
 - Cargas sintéticas: modelo baseado em distribuições estatísticas
- É importante definir nível de agregação (classes)

Agregação: Exemplo 1

- Várias tarefas, demanda por CPU

Tarefa	Tempo médio de utilização de CPU (s)
T1	10
T2	0.7
T3	0.04
T4	12
T5	0.8
T6	1
T7	0.5
T8	0.01

Média = 3.13

Agregação: Exemplo 1

- Várias tarefas, demanda por CPU

Tarefa	Tempo médio de utilização de CPU (s)	Classe
T1	10	A
T2	0.7	B
T3	0.04	C
T4	12	A
T5	0.8	B
T6	1	B
T7	0.5	B
T8	0.01	C

Média A = 11 Média B = 0.67 Média C = 0.025

Agregação: Exemplo 2

- Tempo entre chegada de requisições em um servidor de vídeo em um dia típico

Período	Taxa de chegadas (#reqs/min)	Tempo médio entre chegadas (min)
3:00-6:00	0.067	15
7:00-12:00	1.67	0.6
12:00-20:00	3.33	0.3
20:00-3:00	0.033	30

- Agregação também pode ocorrer no tempo

Agregação: Exemplo 3

- Tempo entre chegada de e-mails no servidor central da UFMG em um dia típico

Período	Taxa de chegadas (#e-mails/hora)
1:00-6:00	550
7:00-18:00	1800
19:00-24:00	550

- Agregação também pode ocorrer no tempo

Agregação: Exemplo 4

- % do vídeo assistido em cada interação de um usuário em um vídeo educacional (utilização de banda do servidor)

Tamanho do Vídeo (min)	% Vídeo assistido por interação
0 - 5	57%
5 - 20	17%
20 - 55	7%

Experimentos e Resultados

- Projeto dos experimentos a partir da definição dos fatores e níveis
 - Análise de sensibilidade:
 - E se premissas feitas não forem verdadeiras?
- Análise dos resultados (a luz das premissas)
 - Tratamento estatístico
 - Duração da simulação e/ou experimento suficiente
 - Número de repetições com sementes diferentes para capturar e/ou filtrar variabilidade
 - Importante transformar números em conclusões
- Apresentação: gráficos significativos
- Reavaliar decisões tomadas e possivelmente refazer estudo: novo ciclo