

Abordagem Sistemática de Modelagem e Análise de Desempenho de Sistemas

Sistema é uma coleção de entidades, que podem ser pessoas, máquinas, módulos de software ou de hardware, que interagem entre si e das quais podemos determinar relações e comportamentos.

1 Conceito de Sistema e Análise de Desempenho

A análise de sistemas de computação tem por objetivo determinar o desempenho de um sistema existente ou em desenvolvimento e determinar o dimensionamento mais adequado aos seus componentes de forma a garantir uma meta de desempenho pré-definida e levando em conta uma determinada carga de trabalho.

A análise de desempenho tem interesse tanto sob o ponto de vista de melhorar o desempenho de um sistema já existente quanto para o dimensionamento adequado de um novo sistema a ser projetado.

A análise do comportamento de sistemas pode ser feita através de experimentos com o sistema real ou através de experimentos com modelos do sistema. Muitas vezes o sistema real não está disponível, pois está sendo projetado, ou não é acessível por não poder ser perturbado ou por não ser possível atuar no sistema em uma escala de tempo e espaço viáveis.

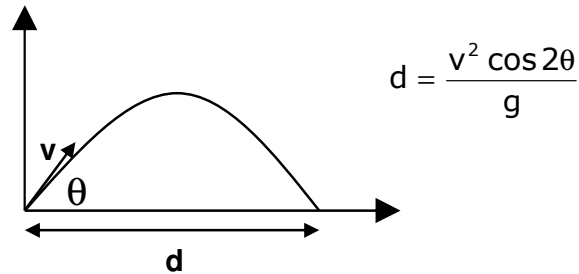
Modelos de Sistemas

Os modelos de sistemas podem ser classificados em:

- **Físicos:** modelos reais, tais como protótipos, que reproduzem o comportamento do sistema.
- **Matemáticos:** representados por fórmulas, algoritmos ou procedimentos que podem ser classificados nas categorias:
 - **Analíticos:** são fórmulas que definem de forma exata ou aproximada o comportamento do sistema.
 - **Simuladores:** algoritmos ou procedimentos que representam o comportamento do sistema em uma escala de tempo.

Exemplo 1: Determinação da trajetória percorrida por um projétil.

- **Analíticos:** cálculo pela fórmula:



- **Simulador:** Um programa que calcula incrementalmente os avanços até chegar ao final.

Outros modelos analíticos serão vistos na teoria de **Redes de Filas**.

Toda avaliação de desempenho envolve a seleção cuidadosa de:

- **Metodologia** que consiste da definição de etapas a serem seguidas na análise do sistema considerado.
- **Carga de trabalho** (“Workload”) que consiste na identificação da carga de trabalho a ser submetida ao sistema.
- **Ferramentas de modelagem e análise** que consiste da escolha de técnicas de modelagem do sistema, ferramentas para construção do modelo, e ferramentas para análise do sistema modelado.

2 Metodologia de Análise de Desempenho

O processo de avaliação de desempenho é considerado uma arte por Raj Jain [1], pois não é uma atividade realizada de forma mecânica. Cada análise de desempenho requer um conhecimento íntimo do sistema sendo modelado e uma escolha cuidadosa de metodologias, cargas e ferramentas de análise. Quando apresentada ao analista, os problemas de desempenho são formulados de forma vaga, através de impressões e sentimentos pouco exatos e cabe ao analista interpretar e dar forma ao modelo que represente com fidelidade a situação apresentada. Cada analista possui seu próprio estilo, competência e intuição e, diferentes analistas podem chegar a resultados diferentes na análise de um mesmo problema.

Em geral, os problemas são mal definidos e transformá-los num enunciado tratável é mais uma operação de arte do que de engenharia.

A análise de um mesmo sistema feita por diferentes analistas pode resultar em conclusões opostas como mostra o exemplo a seguir:

Exemplo 2: Uma empresa está se decidindo sobre a compra de um novo sistema de computação e entrou em contato com dois diferentes fornecedores A e B, pedindo que os mesmos mostrassem o desempenho dos sistemas na execução de duas amostras diferentes de programas denominadas X e Y. Dois analistas de desempenho dessas empresas, Carlos e Pedro, foram encarregados de fazer a análise de desempenho. As

medidas foram realizadas considerando-se o tempo médio para execução dos programas da amostra X e da amostra Y obtendo-se os seguintes valores:

Sistemas		Tempo médio de execução (segundos)
Sistema A	Amostra X	10
	Amostra Y	15
Sistema B	Amostra X	20
	Amostra Y	5

Carlos apresentou os resultados da seguinte forma:

Tempo Médio de Execução (segundos)			
	Sistema A	Sistema B	Relação Tempo B/Tempo A
Amostra X	10	20	2
Amostra Y	15	5	0.33
Média			1.67

Carlos concluiu que em média o sistema A é 1.67 mais rápido que o sistema B.

Pedro, por sua vez, apresentou a seguinte tabela como resultado:

Tempo Médio de Execução (segundos)			
	Sistema A	Sistema B	Relação Tempo A/Tempo B
Amostra X	10	20	0.5
Amostra Y	15	5	3
Média			1.75

Pedro concluiu que em média o sistema B é 1.75 mais rápido que o sistema A.

Ambos fizeram cálculos similares mas sob diferentes pontos de vista e cada um mostrou que seu sistema é melhor que o do concorrente.

Um resultado como este pode ocorrer na prática pois podemos supor que a amostra X usa processamento de forma intensiva enquanto a amostra Y realiza muitas operações de entrada e saída e pouco processamento. Neste caso um sistema se mostrou mais rápido em processamento e o outro mais rápido em entrada e saída.

Na análise de um sistema, o analista pode se enganar na modelagem e na análise e chegar a resultados incorretos ou então, não apresentar os resultados obtidos de forma adequada. Algumas das causas que comprometem o resultado do trabalho são resultantes de:

- Os objetivos da análise e do sistema não estarem formulados de forma clara.

- Foi utilizado um enfoque não sistemático na análise.
- As métricas de desempenho escolhidas são incorretas.
- Foi escolhida uma técnica de avaliação errada: medida de modelo real, simulação ou modelo analítico.
- Foram ignorados parâmetros relevantes à análise.
- Foram realizados experimentos inadequados.
- Houve falha na análise de dados.
- A análise de sensibilidade foi realizada de forma incorreta.
- Houve falha projeção da análise para o futuro.
- O modelo resultante é muito complexo.
- Os resultados foram apresentados de forma inadequada.
- Foram omitidas hipóteses ou limitações.

O uso de metodologias tem por objetivo evitar os enganos enumerados. A metodologia utilizada consiste das seguintes etapas:

2.1 Definição dos objetivos e planejamento da análise

Nesta etapa inicial devem ser feitas reuniões de planejamento que devem resultar em:

- Definição clara dos objetivos da análise de desempenho e dimensionamento do sistema.
- Configuração do sistema a ser analisado
- Cronograma para realização do estudo
- Recursos necessários.

2.2 Definição do sistema

O sistema deve ser estudado de forma detalhada devendo ficar bem determinadas:

- As características do sistema a ser analisado,
- As fronteiras que delimitam o sistema.

Devem ser coletadas informações sobre a arquitetura do sistema e sobre os procedimentos operacionais a partir de documentações disponíveis, conversa com os especialistas no assunto (SME-Subject-matter experts) e conversa com pessoas que operam o sistema.

A escolha de fronteiras que englobem um número elevado de componentes torna a análise muito complexa e muitas vezes inviável. Neste caso devem ser utilizadas técnicas de decomposição do sistema.

2.3 Enumeração dos serviços e resultados do sistema

Devem ser identificados:

- Os objetivos do sistema,
- Os serviços realizados pelo sistema e,
- Os resultados esperados do sistema.

2.4 Seleção de métricas de desempenho

Métricas determinam as formas de se medir o desempenho do sistema.

Possíveis métricas:

- Volume de trabalho produzido.
- Velocidade.
- Precisão.
- Disponibilidade do sistema.
- Taxa de erros.

2.5 Enumeração dos parâmetros da análise

Parâmetros são todos os valores que determinam o comportamento do sistema. Os parâmetros estão relacionados com as características intrínsecas do sistema e de carga do trabalho a ser submetido ao sistema. Um mesmo sistema vai se comportar de forma diferente de acordo com a carga de trabalho submetida ao mesmo. Por exemplo, na análise de um servidor podemos considerar que o tipo da UCP, a quantidade de memória do sistema e o tempo de acesso dos discos são parâmetros do sistema.

Deve ser planejada e realizada a coleta dos dados para determinar os parâmetros do modelo. Os dados podem ser resultantes de monitoração do sistema real ou projeções sobre um sistema a ser desenvolvido.

2.6 Seleção dos fatores a serem estudados

Na etapa anterior podem ter sido enumerados uma grande quantidade de parâmetros e nem todos podem ser relevantes à análise a ser efetuada. A consideração de um número excessivo de parâmetros pode tornar a análise muito complexa e difícil de ser encaminhada. Entre os parâmetros identificados, serão selecionados aqueles que tem maior impacto no desempenho e que serão variados na análise. Os parâmetros que serão variados durante a análise são denominados Fatores. Por exemplo, se o estudo tiver por objetivo determinar a influência do tamanho da memória no desempenho de um servidor, este tamanho será considerado como um fator que deverá assumir diferentes níveis de valores durante a análise (64 M, 128 M, 256 M, 512 M,...).

2.7 Seleção da carga de trabalho

A carga de trabalho é um fator da análise que define os tipos de serviços e os respectivos volumes a serem submetidos ao sistema. Deve ser feita coleta de dados do sistema real ou projeção da carga a ser submetida ao sistema. Deve ser consideradas a carga típica do sistema e a carga em momentos de pico.

2.8 Definição do modelo conceitual do sistema

Utilizando as informações obtidas nas etapas anteriores, elaborar um documento com o modelo conceitual do sistema que especifica a concepção que se tem do sistema e tudo o que foi assumido. Os detalhes do modelo dependem de: objetivos do projeto, medidas de desempenho, disponibilidade dos dados, questões de credibilidade das informações obtidas, limitações de recursos de computação, opiniões dos especialistas SME, limitações em tempo e dinheiro.

Não precisa haver correspondência 1-1 entre os elementos do modelo e o sistema real.

2.9 Seleção da técnica de modelagem

Deve ser escolhida a mais adequada entre as seguintes técnicas de avaliação disponíveis:

- Medidas em um sistema real.
- Modelagem analítica
- Simulação

Juntamente com a técnica de modelagem também deve ser feita a escolha da ferramenta a ser utilizada na modelagem. No caso de simulação, por exemplo, deve ser feita a escolha de uma linguagem de programação ou de um pacote de simulação. No caso de medição de um sistema real devem ser escolhidas ferramentas de monitoração do sistema.

Ferramenta de modelagem	Custo da ferramenta	Custo do projeto
Linguagens de programação: C, C++, FORTRAN, Java.	Menor ↓	Maior ↑
Softwares de cálculos matemáticos tais como MathCad e MathLab.	↓	↑
Pacotes de simulação: Arena, Promode, Comnet, Optnet, etc.	Maior	Menor

2.10 Realização da modelagem

Planejar os experimentos com o modelo real ou um protótipo deste ou implementar o modelo de simulação ou realizar a modelagem analítica.

Escolhida a técnica de modelagem e a ferramenta a ser utilizada, o desenvolvimento do modelo analítico ou de simulação deve ser feito obedecendo as definições do documento do modelo conceitual do sistema.

2.11 Definição e projeto dos experimentos

Escolher os diversos níveis (ou valores) dos fatores que afetam o desempenho do sistema, entre os quais a carga a ser submetida ao sistema e aqueles que determinam características do sistema. Para a análise devem ser escolhidos diversos níveis destes fatores.

2.12 Validação do modelo

Realizar execuções piloto para validar o modelo. Utilizar, caso exista, dados de outro sistema do qual se possua medida de desempenho e com o qual o sistema possa ser comparado.

A equipe que desenvolveu a simulação, bem como o especialista, deve revisar o modelo e verificar se os resultados estão corretos e dentro do esperado.

Utilizar análises de sensibilidade para determinar quais fatores tem impacto mais significativo sobre as medidas de desempenho e devem ser modelados com maior cuidado.

Se o modelo não for válido voltar à etapa dois.

2.13 Execução dos experimentos

Realize os experimentos com o modelo desenvolvido e validado utilizando os níveis de carga escolhidos.

No caso de modelos de simulação, para cada configuração de interesse, especificar:

- Duração/tamanho de cada execução.
- Duração do transitório, isto é, período inicial até o sistema entrar em regime estável. Este período é excluído das medidas.
- Número de execuções independentes (com diferentes números aleatórios) para permitir a determinação de intervalos de confiança.

2.14 Análise e interpretação dos resultados

Os resultados dos experimentos são quantidades aleatórias e que exigem uma análise estatística para sua correta interpretação.

2.15 Documentação e apresentação dos resultados

Deve ser documentado:

- O modelo conceitual do sistema e tudo que foi assumido em termos de parâmetros e fatores.
- O programa correspondente ao modelo analítico ou de simulação.
- A análise dos resultados.

Os resultados devem ser apresentados aos gerentes e às demais pessoas envolvidas na tomada de decisões, evitando o uso de jargão técnico/estatístico, através de relatórios e apresentações com:

- Animações do modelo;
- Gráficos e tabelas das análises;
- Discussão da construção do modelo e do processo de validação para promover a sua credibilidade.

Utilizar os resultados nos processos de tomada de decisão se estes forem válidos e tiverem credibilidade.

3 Seleção de Métricas

A métrica a ser utilizada na avaliação do desempenho do sistema deve considerar os possíveis resultados em sua execução tanto no caso de execução bem sucedida como em caso de erro ou falha do sistema.

O sistema pode realizar o serviço com um dos três seguintes resultados:

- Executa o serviço de forma correta;
- Executa o serviço de forma incorreta;
- Não executa o serviço.

As métricas associadas com cada um dos possíveis resultados dos serviços do sistema são chamadas respectivamente de:

- Velocidade;
- Confiabilidade;
- Disponibilidade.

Para cada métrica, em geral, o seu **valor médio** pode ser suficiente. Porém, em certos casos pode ser também importante a sua **variabilidade**.

a) O sistema executa o serviço corretamente

Se o sistema executa o serviço corretamente o seu desempenho pode ser medido por:

- Tempo que leva para executar o serviço
- Taxa de execução do serviço na unidade de tempo;
- Recursos consumidos na execução do serviço.

Estas três métricas são conhecidas como:

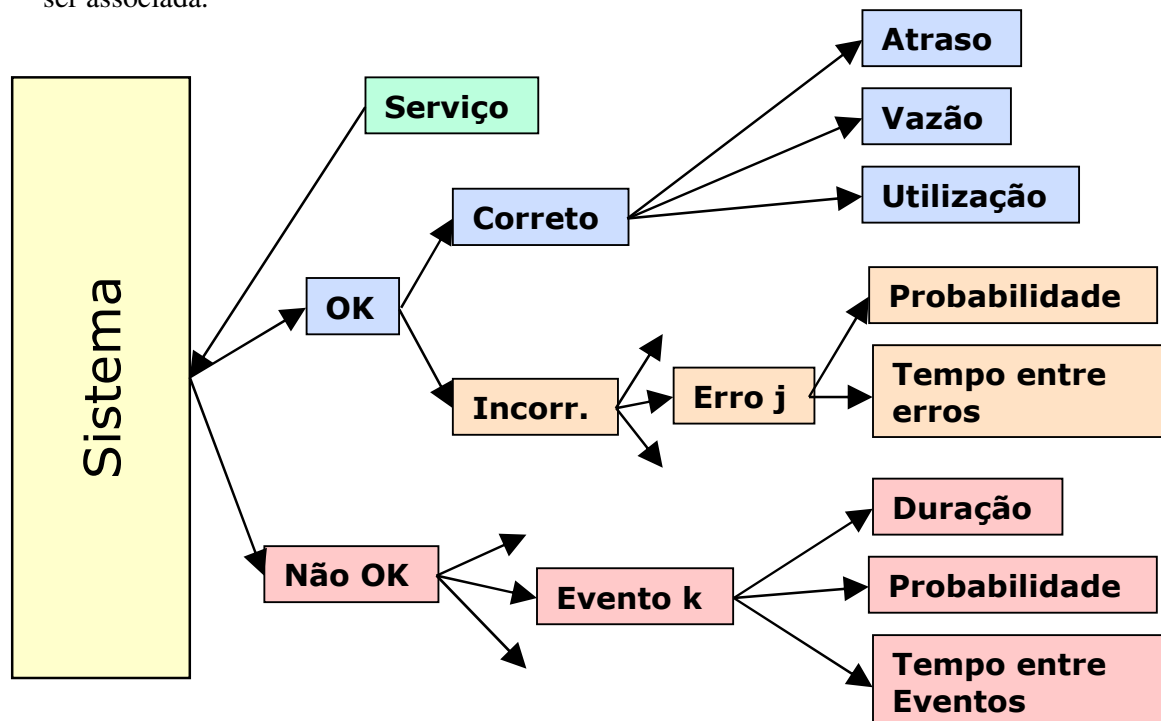
- Responsividade;
- Produtividade;
- Utilização.

b) Ocorre erro na execução do sistema

Se o sistema executa o serviço incorretamente então um **erro** deve ter acontecido. É muito importante classificar o erro e associar uma probabilidade a cada tipo de erro que possa ocorrer no serviço.

c) Ocorre falha na execução do sistema

Se o sistema não executa o serviço, ele é considerado em **falha**. Todos os possíveis modos de falhas devem ser classificados e para cada um deles uma probabilidade deve ser associada.



Os fornecedores de sistemas costumam utilizar os seguintes indicadores da confiabilidade do sistema em relação à falhas que são:

MTBF – Mean Time Between Failures.

Define o tempo médio entre falhas. Exemplo: um disco tem tempo entre falhas de 300.000 horas.

MTTR – Mean Time To Repair.

Define o tempo médio necessário ao reparo da falha, definido pelo provedor do serviço de manutenção do sistema.

Exemplo 3: Análise do mecanismo de controle de congestionamento em rede

Considere o problema de se comparar dois mecanismos de controle de congestionamento em uma rede. O problema de congestionamento ocorre quando o número de pacotes esperando em um nó intermediário excede a capacidade de “bufferização” do sistema e alguns pacotes devem ser descartados. O único serviço sendo considerado na rede é a comutação de pacotes.

Quando um nó origem envia um bloco de pacotes para um nó destino pode acontecer um dos seguintes resultados:

- Alguns pacotes são entregues em ordem no destino correto;
- Alguns pacotes são entregues fora de ordem no destino correto;
- Alguns pacotes são entregues mais de uma vez no destino correto (pacotes duplicados);
- Alguns pacotes são descartados pela rede (pacotes perdidos).

Para os pacotes entregues corretamente e em ordem, define-se:

- Tempo de resposta: atraso interno à rede para pacotes individuais.
- Vazão: Número de pacotes entregue na unidade de tempo.
- Tempo de processamento por pacote no sistema origem e no sistema destino.
- Tempo de processamento por pacotes nos sistemas intermediários.
- Variância do tempo de resposta.

Casos de erros ou falhas:

- Probabilidade de pacotes fora de ordem
- Possibilidade de desconexão

4 Seleção de carga de trabalho

Dado um sistema, existirão pelo menos cinco aspectos que devem ser considerados para selecionar sua carga de trabalho:

- Nível de interface;
- Nível de detalhe;
- Representatividade;
- Nível de carga;
- Repetibilidade.

4.1 Nível de Interface

As requisições de serviço devem ser representadas no nível de interface que acessa o **sistema em teste** e o **componente em estudo**.

4.2 Nível de detalhe

Após a definição do nível de interface adequado e dos serviços do sistema, deve-se proceder à escolha do nível de detalhe apropriado:

- Requisições mais freqüentes;
- Freqüência dos tipos de requisições;
- Trace: Seqüência temporal de requisições;
- Média da demanda de recursos;
- Distribuição da demanda de recursos.

4.3 Representatividade

A representatividade de uma carga de trabalho deve ser analisada segundo os seguintes aspectos:

- **Taxa de chegada:** a taxa de chegada da carga de trabalho deve ser a mesma ou proporcional à carga real do sistema
- **Demanda de recursos:** A demanda total em cada um dos recursos chave deve ser a mesma ou proporcional à carga real do sistema.
- **Perfil de utilização de recursos:** o perfil da carga de trabalho deve ser similar à da carga real.

4.4 Nível da Carga

A carga de trabalho deve ser capaz de exercitar o sistema em diferentes capacidades:

- **Melhor caso:** capacidade total.
- **Pior caso:** além da capacidade máxima do sistema.
- **Caso típico:** próximo à carga real de uso do sistema.

Em muitos casos pode ser mais interessante analisar o sistema em momentos de pico do que nos casos típicos pois o sistema deve ser dimensionado para realizar bom serviços nos momentos de pico.

4.5 Repetibilidade

A carga de trabalho deve ser tal que os resultados possam ser facilmente repetidos sem muita variabilidade.

4.6 Exemplo: Comparação de duas redes de computadores

Considere o problema de selecionar a carga de trabalho para comparar duas redes de computadores. Uma forma de representar os níveis de interface envolvidos na rede é utilizar o modelo OSI.

Estes níveis e a correspondente carga de trabalho são dados a seguir:

Nível Físico

Esta camada lida com a transmissão de bits. Portanto o serviço chave para avaliar esta camada é a transmissão de bits individuais ou símbolos (grupos de bits). A carga de trabalho para comparar duas redes neste nível deve ser definida pela frequência dos diferentes símbolos que devem trafegar pela rede real.

Nível de Enlace

Este nível lida com a transmissão de quadros sobre um enlace físico. A carga de trabalho para comparar duas redes neste nível deve especificar as características dos quadros tais como: tamanho dos quadros e sua taxa de chegada. Em enlace multiponto deve ser especificada a matriz de tráfego origem-destino.

Nível de Rede

Neste nível a rede direciona pacotes entre um nó de origem e um de destino passando por múltiplos enlaces. A carga de trabalho neste caso deve especificar a matriz de tráfego origem-destino, a distância entre os nós e as características dos pacotes a serem transmitidos.

Nível de transporte

Neste nível a rede lida com a transmissão de mensagens fim-a-fim. Os serviços fornecidos incluem segmentação e remontagem de mensagens. A carga de trabalho deve especificar a frequência, o tamanho e as outras características das várias mensagens.

Nível de Sessão

Este nível trata dos diálogos que constituem as diversas sessões da comunicação. A camada de sessão fornece serviços relativos à: inicialização, manutenção e desconexão das sessões. A carga de trabalho para este nível deve incluir a especificação da frequência e a duração dos diversos tipos de sessões.

Nível de Apresentação

Este nível fornece os serviços de compactação e segurança de dados. A carga de trabalho para este nível deve caracterizar a frequência e os vários tipos de segurança e compactação de dados requisitados.

Nível de Aplicação

Este nível consiste da aplicação do ponto de vista do usuário: correio eletrônico, transferência de arquivos e terminais virtuais são exemplos. A carga de trabalho neste nível deve especificar a frequência dos vários tipos de aplicações e suas características associadas.

5 “Checklist” para Análise de Desempenho

	Item	
1.	O sistema está corretamente definido e os objetivos claramente estabelecidos?	✓
2.	Os objetivos estão definidos de uma forma não polarizada?	✓
3.	Todos os passos da análise foram seguidos sistematicamente?	✓
4.	O problema está claramente entendido antes de começar a análise?	✓
5.	As métricas de desempenho são relevantes para o problema?	✓
6.	A carga de trabalho está adequada para o problema?	✓
7.	A técnica de avaliação está apropriada para o problema?	✓
8.	A lista de parâmetros que afeta o problema está completa?	✓
9.	Todos o parâmetros que afetam o desempenho foram escolhidos para serem variados?	✓
10.	Os experimentos foram escolhidos de forma eficiente em termos de tempo e resultados?	✓
11.	O nível de detalhamento está adequado?	✓
12.	Os dados medidos estão sendo apresentados com análise e interpretação?	✓
13.	A análise está estatisticamente correta?	✓
14.	Foi feita uma análise de sensibilidade?	✓
15.	Os valores fora da faixa normal foram adequadamente identificados e tratados?	✓
16.	As mudanças futuras no sistema foram corretamente incorporadas ao modelo?	✓
17.	A variabilidade foi devidamente levada em conta na análise?	✓
18.	A análise esta fácil de ser apresentada?	✓
19.	A apresentação da análise esta adequada para a audiência alvo?	✓
20.	Os resultados foram apresentados na forma gráfica na medida do possível?	✓
21.	Todas as hipóteses e limitações foram claramente documentadas junto com as conclusões?	✓

6 Bibliografia

- [1] Jain, R., “The Art of Computer Systems Performance Analysis”, John Wiley & Sons Inc, ISBN: 0-471-50336-3, 1991, 685 p.
- [2] Law, A. M., Kelton, W. D., "Simulation Modeling and Analysis", 3rd ed., McGraw-Hill Companies Inc, 2000, ISBN 0-07-059292-6, 760p.
- [3] Cassandras, C. G., "Discrete Event Systems: Modeling and Performance Analysis", Aksen Associates Incorporated Publishers, 1993 , ISBN: 0-256-11212-6, 790p.
- [4] Menascé, D. A., Almeida, V. A. F., “Scaling E-Business: Technologies, Models, Performance and Capacity Planning”, Prentice-Hall, ISBN: 0-13-086328-9, 2000, 449p.

7 Leituras

- [1] Bouman, J., Trienekens, J., Van der Zwan, M., “Specification of Service Level Agreements, Clarifying Concepts on the Basis of Practical Research”, Software Technology and Engineering Practice, 1999. STEP '99. Proceedings , 1999 p. 169 –178.
- [2] Almeida, V.A.F., Menasce, D.A., “Capacity Planning an Essential Tool for Managing Web Services”, IT Professional,V. 4, N. 4, 2002, p. 33 –38.

8 Exercícios

- 1) Faça uma lista de métricas para comparar:
 - a) Duas unidades de disco rígido
 - b) Dois computadores pessoais
 - c) Dois concentradores de mensagens (roteadores)
 - d) Dois sistemas de bases de dados
- 2) Selecione um sistema de serviços ao público (lanchonete, agência bancária, supermercado) e para o sistema escolhido identifique:
 - a) Objetivos e serviços realizados pelo sistema
 - b) Componentes do sistema
 - c) Parâmetros e fatores do sistema
 - d) Carga do sistema
 - e) Métricas de desempenho
- 3) Selecione um sistema de computação (redes, computadores, bancos de dados, por exemplo) e para o sistema escolhido identifique:
 - a) Objetivos e serviços realizados pelo sistema
 - b) Componentes do sistema
 - c) Parâmetros e fatores do sistema
 - d) Métricas a serem utilizadas nas análises
 - e) Carga
- 4) Considere um sistema de E-Commerce de uma loja de vendas via Web e identifique:
 - a) Objetivos e serviços realizados pelo sistema
 - b) Componentes do sistema
 - c) Parâmetros e fatores do sistema
 - d) Métricas a serem utilizadas nas análises
 - e) Carga

Anexo: Formulário para Análise e Modelamento de Sistemas

Nome do Modelo: Posto Lava-rápido de Veículos

Objetivos:

- Do Sistema modelado: lavagem de veículos com tempo de espera reduzido.
- Da Análise: modelar e dimensionar adequadamente o posto para atender à demanda atual e projetar novos postos.

Serviços:

Serviços	Resultados	Métricas
Lavagem de veículos	Veículo lavado e secado	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo 3. Qualidade do serviço
Encerar e polir	Veículo encerado e polido	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por intervalo de tempo 3. Qualidade do polimento

Parâmetros, fatores e seus níveis:

Parâmetros do Sistema	Níveis	Fator
1. Tempo médio do Enxágüe inicial: <ul style="list-style-type: none"> • Carro médio • Carro grande 	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
2. Tempo médio para Ensaboar <ul style="list-style-type: none"> • Carro médio • Carro grande 	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
3. Tempo médio para Jato d'água <ul style="list-style-type: none"> • Carro médio • Carro grande 	Tempo com 1 funcionário trabalhando no mesmo carro	
4. Tempo médio para Secagem <ul style="list-style-type: none"> • Carro médio • Carro grande 	Tempos com 1, 2 e 3 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
5. Tempo médio para Aspirar <ul style="list-style-type: none"> • Carro médio 	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM

<ul style="list-style-type: none"> Carro grande 		
6. Tempo médio para Polimento (opcional) <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Tempos com 1, 2 e 3 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
7. Intervalo médio entre uma etapa e a próxima		
8. Tempo médio para Pagar		
9. Gasto de água por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 		
10. Gasto de energia elétrica por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 		
11. Gasto de produtos de limpeza por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 		
12. Gasto de cera por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 		
Parâmetros de Carga	Níveis	Fator
13. Intervalo médio entre chegadas de carros	Cargas baixas, média e alta	SIM
14. Porcentagem de carros médios e grandes que chegam		
15. Porcentagem de carros que solicitam polimento		

Carga de Trabalho:

Parâmetro	Tipo da Carga	Tipo de distribuição	Parâmetros da distribuição
Intervalo médio entre chegadas de carros	Veículos	Exponencial	Intervalo médio
Porcentagem de carros médios e grandes que chegam			
Porcentagem de carros que solicitam polimento			

Experimentos:

Experimentos	Fatores	Métricas
1	1, 2 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
2	4, 5 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
3	6 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo

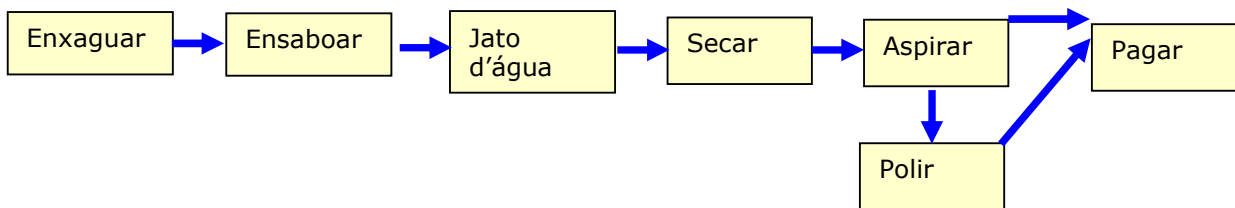
Técnica de modelagem e avaliação:

Podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

- Simulação do sistema utilizando uma ferramenta de simulação Arena.
- Modelagem analítica através de redes abertas de filas (algoritmo de Análise do Valor Médio)

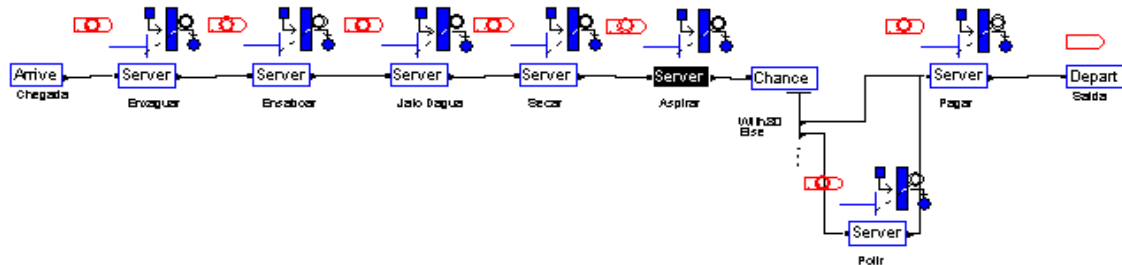
Foram descartados testes com o sistema real pois afeta o faturamento do posto. Foi escolhida a simulação o a ferramenta Arena.

Estrutura do Sistema:



Modelo de Redes de Filas:

Modelo no simulador Arena:



Apresentação dos Resultados:

Relatório com gráficos, tabelas, análises e conclusões.