

**Trabalho de Simulação de MAB-515**  
**Segundo Semestre de 2017 - Prof. Paulo Aguiar**  
**Grupo de 3 alunos máximo**  
**V1.0**

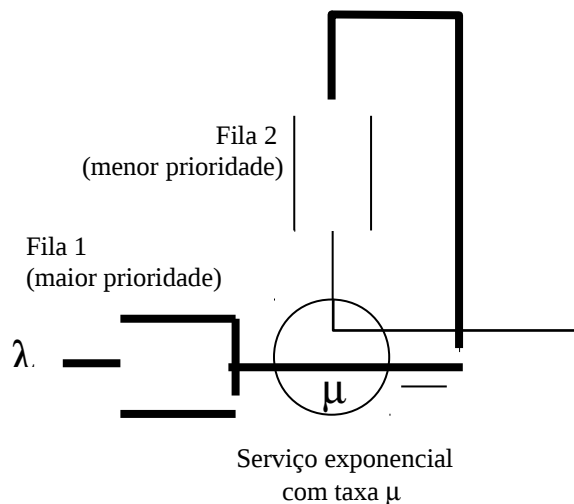
**A data limite para a entrega do trabalho estará definida no site.**

Os grupos devem estar definidos até 11/09, segunda-feira, devendo ser definido em sala de aula ou enviado um e-mail para [aguiar@nce.ufrj.br](mailto:aguiar@nce.ufrj.br) com o assunto Grupo de AD.

Alunos que estiverem sem grupos serão considerados como grupos individuais.  
Após o dia 11/09, alteração de grupo só com a autorização do professor.

Neste trabalho, o aluno terá de executar a simulação do comportamento de um sistema no qual duas filas disputam o servidor, e uma das filas tem prioridade preemptiva sobre a outra (um serviço de menor prioridade, uma vez começado, pode ser interrompido pela chegada de um freguês de maior prioridade). Este serviço interrompido será terminado posteriormente, do ponto onde parou.

Veja o esquema abaixo:



Fregueses chegam à fila 1 segundo um Processo Poisson com taxa  $\lambda$  (tempo entre chegadas é exponencial com taxa  $\lambda$ ). Esta é a fila de maior prioridade do sistema. Após serem servidos pela primeira vez, os fregueses seguem para a fila 2, de menor prioridade, onde serão servidos por uma segunda vez. Ao término deste segundo serviço, os fregueses vão embora.

Tanto o primeiro como o segundo serviço do freguês são obtidos de forma independente a partir de uma distribuição exponencial com taxa  $\mu = 1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ . Isto significa que os serviços recebidos por um mesmo freguês são totalmente independentes, não guardando nenhuma relação entre eles.

Todavia, o serviço em andamento da fila 2 pode ser interrompido pela chegada de um freguês na fila 1. Neste caso, o serviço interrompido será retomado de onde parou. Observe que um freguês da fila 2 poderá ser interrompido mais de uma vez. Quando o freguês da fila 2 é interrompido, ele passa a ser o primeiro na fila de espera da fila 2.

As filas operam em regime FCFS (*first come first serve* - o primeiro a chegar é o primeiro a ser servido).

Os fregueses aguardando na fila 2 só são colocados em serviço, quando não há nenhum freguês em espera na fila 1.

O tempo total médio gasto no sistema por um freguês pode ser dividido em 4 etapas:

1.  $E[W_1]$  = tempo médio de espera na fila 1
2.  $E[X_1]$  = tempo médio do primeiro serviço
3.  $E[W_2]$  = tempo médio de espera na fila 2
4.  $E[X_2]$  = tempo médio do segundo serviço

Evidentemente,  $E[X_1] = E[X_2] = E[X] = 1/\mu = 1$  segundo. O tempo médio gasto na fila 1 é dado por  $E[T_1] = E[W_1] + E[X]$ , e o tempo médio gasto na fila 2 é dado por  $E[T_2] = E[W_2] + E[X]$ .

O tamanho médio da fila de espera na fila 1 será denominado  $E[N_{q1}]$ , e o número médio de fregueses na fila 1 será designado por  $E[N_1]$ . Num determinado instante de tempo  $t$ , se o servidor estiver servindo um freguês da fila 1, então, naquele instante,  $N_1(t) = N_{q1}(t) + 1$ . Se por outro lado, o servidor estiver servindo um freguês da fila 2, então, naquele instante, devemos ter  $N_1(t) = N_{q1}(t) = 0$ . Para a fila 2, os valores médios serão  $E[N_2]$ , para o número médio da fila 2, e  $E[N_{q2}]$ , para o tamanho médio da fila de espera da fila 2.

Durante um tempo muito longo  $T$ , o número médio de chegadas é dado por  $\lambda T$ , e o número de serviços executados será dado por  $2 \lambda T$ . O tempo médio que o servidor fica ocupado é então dado por  $2 \lambda T E[X]$ , e a fração do tempo que o servidor está ocupado (ou sua utilização) é  $2 \lambda T E[X] / T = 2 \lambda E[X] = 2 \lambda / \mu = 2 \lambda = \rho$ .

Os resultados serão obtidos para diferentes valores de utilização  $\rho$  (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9). O programa de simulação deverá fornecer o intervalo de confiança de 95% dos seguintes parâmetros:  $E[T_1]$ ,  $E[W_1]$ ,  $V(W_1)$ ,  $E[N_1]$ ,  $E[N_{q1}]$ ,  $E[T_2]$ ,  $E[W_2]$ ,  $V(W_2)$ ,  $E[N_2]$  e  $E[N_{q2}]$ .

A taxa de chegada  $\lambda$  para cada cenário é função do  $\rho$ .

Os resultados deverão ser fornecidos na forma de uma tabela ou forma equivalente, indicando a precisão do intervalo de confiança, além do valor médio do intervalo.

Os resultados poderão também ser apresentados na forma de gráficos, com o intervalo de confiança indicado.

O intervalo de confiança da variância do tempo de espera deverá ser calculado usando as duas alternativas vistas em sala de aula: usando a chi-quadrado e usando a t-Student, quando calculamos a variância média entre os vários valores medidos a cada rodada. Ambos os intervalos devem apresentar resultados com a precisão especificada abaixo.

**A precisão do intervalo de confiança deve ser no máximo de 5%, para qualquer valor de  $\rho$ .** Esta condição obrigará a escolha adequada do número de rodadas, do tamanho da fase transiente e do número de eventos a serem tratados por rodada. As escolhas dos parâmetros podem ser função do  $\rho$  e devem estar justificadas no relatório, na seção parâmetros da simulação.

Você poderá sempre melhorar seus intervalos através de uma escolha adequada de parâmetros.

Para o cálculo do intervalo de confiança, você rodará o simulador um número  $n$  de vezes, usando o método batch ou o método replicativo (leia o capítulo de simulação da apostila).

Para cada rodada, você calculará  $E[T1]$ ,  $E[W1]$ ,  $E[N1]$ ,  $E[Nq1]$ ,  $E[T2]$ ,  $E[W2]$ ,  $E[N2]$ ,  $E[Nq2]$ ,  $V[W1]$ , e  $V[W2]$ . Apesar do número médio de pessoas na fila e na fila de espera estarem relacionados analiticamente com os tempos médios na fila de espera e na fila como um todo, respectivamente, estas métricas serão computadas diretamente pela simulação e a relação que existe entre elas será uma consequência e poderá ser usada como uma possível forma de comprovação da corretude do programa de simulação.

Você terá  $n$  amostras de cada grandeza e a partir delas você calculará o intervalo de confiança de 95% correspondente. Veja a forma de calcular o intervalo de confiança na apostila.

A corretude do simulador deverá ser feita adicionalmente acompanhando um número selecionado de eventos em situações particulares (chegadas e serviços determinísticos para demonstração de correção pode ser interessante). Lembre-se que você deve mostrar que as estruturas estão sendo tratadas corretamente e que as estatísticas estão também sendo coletadas sem erro. Você deverá documentar esta depuração e anexá-la ao relatório. Não adianta apenas dizer que fez isso ou aquilo. Tem que apresentar dados.

Esta documentação de depuração do simulador é fundamental. Se vamos fazer uma simulação é porque, em geral, não temos possibilidade de obter valores analíticos. Garantir, então, que o simulador está correto é uma necessidade. Se os seus testes sobre correção forem adequados, os resultados do simulador serão automaticamente corretos. Estaremos realizando uma simulação bem simples, mas os resultados analíticos conhecidos não podem ser usados para demonstrar a corretude. Podem ser usados como informação complementar na apresentação dos resultados.

O relatório deverá incluir necessariamente as seções especificadas abaixo. Notas serão dadas a cada sessão individualmente. A soma das notas das sessões constituirá a nota final do relatório.

**Na página de rosto do seu trabalho descreva a participação de cada integrante do grupo na produção do trabalho. Esta indicação de participação é obrigatória e deve ser assinada por todos os integrantes. Sem esta indicação o trabalho não será corrigido.**

### **1) Introdução (10 pontos)**

Descreva com detalhes a implementação do simulador, explicando:

- Funcionamento geral do simulador;
- Os eventos escolhidos;
- Estruturas internas utilizadas;
- A forma de geração das variáveis aleatórias envolvidas (facilidades de geração de número aleatório da linguagem utilizada); mostre como a semente é escolhida;
- Tipo de linguagem utilizada;
- Método usado: replicativo ou batch;
- Indicar como implementou o conceito de cores ou equivalência;
- Explicação da escolha dos parâmetros utilizados nas rodadas da simulação e tabela com os valores utilizados para cada cenário e para cada utilização (número de fregueses coletados por rodada, número de rodadas, tamanho da fase transiente, etc.). Estes dados podem também serem apresentados a cada resultado da simulação do item 4.
- Indique a máquina utilizada e a duração dos experimentos que levaram ao fator mínimo (explicado a frente)
- Outras informações pertinentes

### **2) Teste de Correção (10 pontos)**

Nesta seção você descreverá os testes de correção que foram efetuados para garantir o pleno funcionamento do simulador. Você deve demonstrar que o seu programa está simulando exatamente e com correção o esquema proposto. Fórmulas analíticas não podem ser utilizadas para garantir a correção. Servem apenas de orientação, pois na maioria das vezes partimos para a simulação exatamente por não termos os resultados analíticos.

Procure rodar o simulador com cenários determinísticos com estatística conhecida, demonstrando que o programa está correto.

Você deverá anexar comentários sobre a boa qualidade dos intervalos de confiança obtidos e como os valores exatos se encaixam nestes intervalos, para os diversos valores de  $\rho$ .

### **3) Estimativa da fase transiente (10 pontos)**

Nesta seção você descreverá como a fase transiente foi estimada para os diversos valores de  $\rho$  (obviamente existirá uma métrica mais crítica). A fase transiente deve sempre implicar num certo número de eventos de partida que são desprezados, esperando que o sistema entre em equilíbrio. Este número de partidas em cada cenário e para cada valor de utilização deve ser documentado, qualquer que seja o método escolhido para determinar o fim da fase transiente.

A determinação da fase transiente é obrigatória, pois é um exercício para determinar a entrada em equilíbrio do sistema. Você terá que justificar suas escolhas. Este é um processo empírico, mas as dicas na apostila ajudam.

Apresente resultados quantitativos que justificam sua escolha. Se você usou o método batch, além da estimação da fase transiente, mostre como as estatísticas entre as rodadas foram coletadas.

Procure demonstrar a influência da escolha da fase transiente na qualidade das medidas. É preciso indicar com clareza se a estimativa utilizada é a mesma para os diferentes cenários e diferentes valores da utilização. **A determinação da fase transiente deve ser independente da semente inicial. Comprove isso no relatório.**

#### **4) Tabelas com os resultados e comentários pertinentes (35 pontos)**

Comente os resultados obtidos. Procure analisar a evolução dos valores e o porquê de sua obtenção. Garanta que todos os resultados analíticos estão dentro do intervalo de confiança. Isso é essencial! Apresente os resultados analíticos conhecidos junto com os valores medidos.

Para cada utilização indique precisamente o número de rodadas, o tamanho das rodadas (explique como foi determinado), e o tamanho da fase transiente.

#### **5) Otimização (15 pontos)**

Para cada valor de utilização, obtenha os resultados otimizados, isto é, considerando sempre o número de eventos de partida computados, procure determinar FATOR MÍNIMO (disciplina) = número de rodadas x tamanho de rodada (número de partidas) + fases transientes (número de partidas desprezadas), que satisfaz no seu simulador aos requisitos do tamanho do intervalo de simulação, independente do valor de utilização. Este fator mínimo deve ser independente da semente e isso tem que ser demonstrado. Ao escolher nova semente, garanta que os resultados ótimos continuam a ser válidos. Documente isso.

Obviamente, este FATOR será obtido para a métrica mais crítica, entre parâmetro e valor de utilização. Com seu simulador operando corretamente, a busca da combinação ótima dará um bônus extra ao grupo que conseguir os menores valores, dentro de uma margem de 20%. Se por exemplo, um grupo conseguir 1.000.000 eventos de partida como FATOR MÍNIMO e outro tenha conseguido 1.200.000, eles estarão tecnicamente empatados e ambos ganharão bônus (20% a mais na nota).

Como a simulação é muito simples, o maior interesse é na otimização. Procure demonstrar que você conseguiu de fato o menor tamanho de rodada e o menor número de rodadas para cada valor de utilização. Mostre que você encontrou o mínimo solicitado com algum recurso gráfico. Busque o ponto ótimo de forma automática sempre que possível. Tudo deve ser documentado.

## **6) Conclusões (10 pontos)**

Coloque aqui seus comentários finais.

Descreva dificuldades encontradas, as otimizações feitas, e outras conclusões que você tirou do trabalho. Indique o tempo que foi gasto para executar todas as rodadas necessárias para a simulação dos resultados, bem como informações da máquina usada (processador, memória, etc). Comente o que poderia ser melhorado, como, por exemplo, o tempo de execução do seu programa, caso haja soluções nitidamente mais eficientes. Adicione quaisquer comentários que você julgar relevante.

Cada uma das seções terá sua avaliação. Portanto, não deixe de colocar nenhuma seção no seu relatório. Não deixe de ler o capítulo de simulação na apostila.

## **7) Anexo - Listagem documentada do programa (10 pontos)**

A documentação do programa fonte deverá ser feita com rigor, explicando cada sub-rotina ou passo da programação. Código fonte sem comentários não é aceitável. Mande a listagem do código fonte como um anexo ao relatório.

O Grupo deve apresentar um executável funcionando na apresentação do trabalho, em PC Windows ou Linux Ubuntu, ou em máquina própria. O executável deve ser passível de ser rodado com uma escolha arbitrária do número de fregueses por rodada e número de rodadas.

**O relatório completo deve ser entregue impresso (e não em mídia eletrônica).**

Uma versão eletrônica do documento impresso deve ser disponibilizada, adicionalmente. O programa executável deverá ser enviado para [aguiar@nce.ufrrj.br](mailto:aguiar@nce.ufrrj.br).

Se o Grupo usar alguma linguagem específica, ele deve compilar o ambiente e apresentar um executável que rode sem necessidade de instalação especial, em Windows 10 ou Ubuntu. O programa será testado com alguns valores particulares para averiguar sua correção e integridade.