

# Modelação e Simulação Inteligente

## Simulação Discreta Abordagem por Atividades

Paulo Matos

P. PORTO

isep Instituto Superior de  
Engenharia da Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
INFORMÁTICA

© DE/ISEP

1

## Disclaimer

---

### Materiais e Slides

- Materiais/slides são adaptados dos slides criados pela prof. Isabel Praça

2023/24

MOD5

2

© DE/ISEP

2

## Simulação Discreta

- Estrutura de um Simulador

- Bloco Executivo

- Motor controlador do simulador, responsável pelo controlo do tempo e pelo sequenciamento das operações a serem executadas durante a simulação

- Bloco das Operações

- Contém a descrição do modelo em termos de rotinas de programação nas quais serão definidas as sequências de interação entre as várias entidades no sistema

- Bloco de Utilidades

- Inclui rotinas de interesse genérico, usadas pelo analista como ferramentas de apoio à simulação
      - rotinas de cálculo de números aleatórios, de distribuições estatísticas, de apresentação de resultados, etc.

2023/24

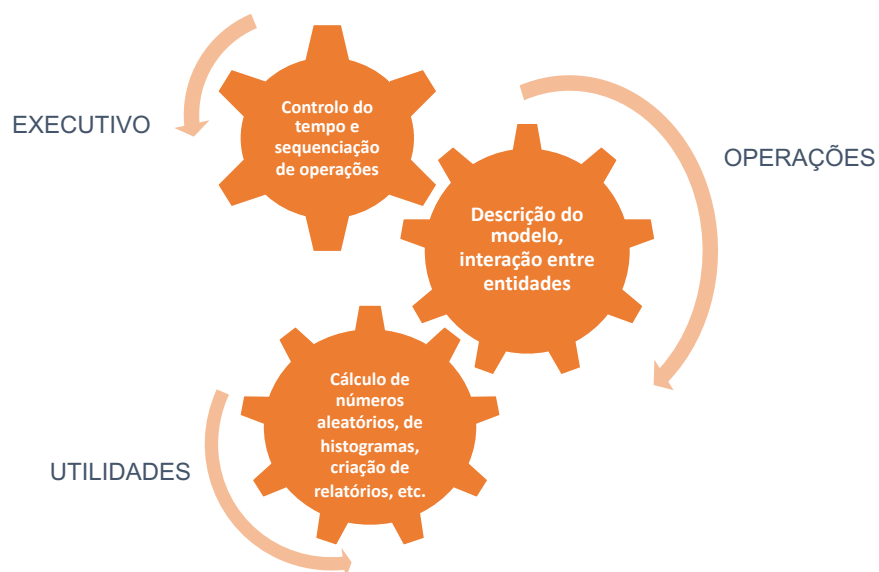
MOD05

3

© DEI/ISEP

3

## Simulação Discreta



2023/24

MOD05

4

© DEI/ISEP

4

## Simulação Discreta

---

- Abordagem por Atividades
  - Funcionamento do sistema é visto como o sequenciamento de atividades realizadas por diversas entidades
  - Criar o modelo é descrever o conjunto das atividades detetadas no sistema e especificar a sequência de ações a realizar em cada uma dessas atividades
  - Só é necessário descrever as atividades vivas
  - As atividades mortas são entendidas como filas de espera

2023/24

MCOSS

5

© DEI/ISEP

5

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Bloco das Operações
  - Cada atividade deverá ser descrita por uma rotina de programação
- Executivo
  - Responsável por percorrer todas as rotinas e fazer executar as que, no momento, reúnam condições para tal
  - Rotinas organizadas de forma a permitir testar se as suas condições de exequibilidade, no momento em que são analisadas pelo Executivo, estão satisfeitas, caso contrário a atividade não será executada

2023/24

MCOSS

6

© DEI/ISEP

6

## Simulação Discreta por Atividades

- Bloco das Operações
  - Rotinas das atividades
    - Secção relativa às operações a realizar no início da atividade
    - Secção relativa às operações a realizar no fim da atividade
      - Cabeçalho de teste – condições de exequibilidade da rotina
      - Corpo de procedimento – ações a efetuar caso a atividade possa ser executada

2022/24

MOOS

7

© DE/ISEP

7

## Simulação Discreta por Atividades

- Estrutura básica de uma rotina, correspondente a uma atividade

{ início da rotina

### 1. Secção do início da atividade

<Cabeçalho de Teste>

{ Ação 1  
Ação 2  
.....  
Ação 3 }

### 2. Secção de fim da atividade

<Cabeçalho de Teste>

{ Ação 1  
Ação 2  
.....  
Ação 3 }

} fim da rotina

© DE/ISEP

8

## Simulação Discreta por Atividades

- Bloco das Operações – Células de Tempo
  - Cada entidade deverá possuir no seu grupo de atributos um marcador de tempo -> célula de tempo
  - Controla o tempo de permanência da entidade numa dada atividade
    - Contém o instante em que essa entidade deverá terminar a atividade em que se encontra ( $t_{fim}$ )
  - Comparado com o relógio da simulação (tempo decorrido na simulação), permite detetar se uma atividade está a ter início, ou se, pelo contrário, se encontra a ser finalizada (em curso ou ociosa)

2022/24

MOOS

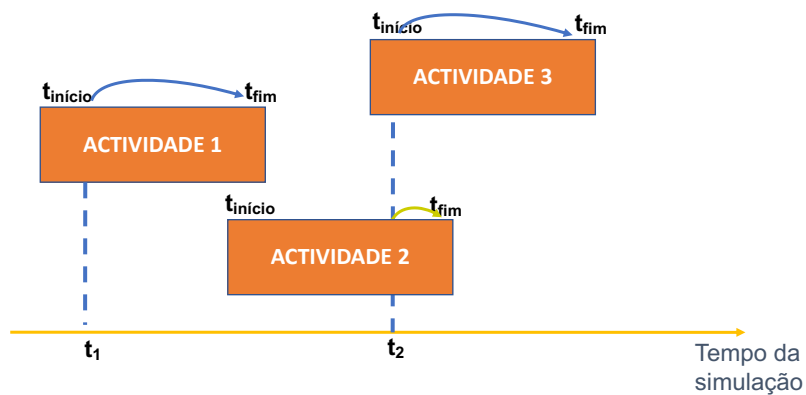
9

© DEI/ISEP

9

## Simulação Discreta por Atividades

- Tempo das atividades e tempo da simulação

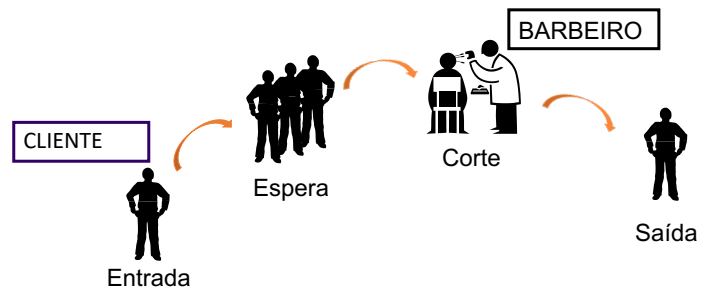


© DEI/ISEP

10

## Simulação Discreta por Atividades

- Exemplo - Barbearia

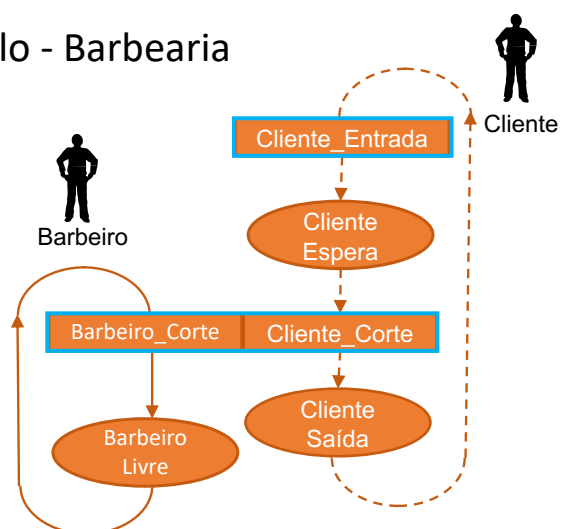


© DEI/SEP

11

## Simulação Discreta por Atividades

- Exemplo - Barbearia



© DEI/SEP

12

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Exemplo – Barbearia
  - Atividade “Cliente\_Entrada”
    - Atividade de entrada, através da qual a entidade temporária Cliente entra no sistema
    - Chegada do próximo cliente deve ser determinada cada vez que esta atividade for iniciada
      - Taxa de chegada (fonte de aleatoriedade)

2023/24

MDOSS

13

© DEI/ISEP

13

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Exemplo – Barbearia
  - Atividade “Cliente\_Entrada” (continuação)
    - Início da Atividade
      - Estado da entidade *cliente* = EXTERIOR && relógio da simulação = célula de tempo da entidade (instante definido para a chegada do cliente)
    - Fim da Atividade
      - Estado da entidade *cliente* = CHEGADA && relógio da simulação = célula de tempo da entidade

2023/24

MDOSS

14

© DEI/ISEP

14

## Simulação Discreta por Atividades

- Barbearia – Atividade Cliente\_Entrada

```
Cliente_Entrada() {  
    // primeiro teste -> Atividade pode iniciar agora?  
    if (EntAtual.estado == EXTERIOR && EntAtual.tfim == tsim)  
    1. retira cliente atual do exterior  
    2. calcula o seu tempo de entrada (dt)  
    3. cliente.tfim = tsim + dt //marca o fim da entrada  
    4. cliente.estado = ENTRADA  
    5. cria próximo cliente (cliente2)  
    6. calcula o instante em que ele chegará (tnext)  
    7. cliente2.tfim = tnext //marca a futura entrada  
    8. cliente2.estado = EXTERIOR  
  
    // segundo teste -> Atividade pode finalizar agora?  
    if(EntAtual.estado == ENTRADA && EntAtual.tfim == tsim)  
    1. passa cliente de ENTRADA para em ESPERA  
}
```

2023/24

15

© DEI/ISEP

15

## Simulação Discreta por Atividades

- Barbearia – Atividade Cliente\_Entrada Instantânea

```
Cliente_Entrada() {  
    // primeiro teste -> Atividade pode iniciar agora?  
    if(EntAtual.estado == EXTERIOR && EntAtual.tfim == tsim) {  
    1. retira cliente atual do exterior  
    2. coloca cliente na fila "clientesEmEspera"  
    3. cria próximo cliente (cliente2)  
    4. calcula o instante em que ele chegará (tnext)  
    5. cliente2.tfim = tnext //marca a futura entrada  
    6. cliente2.estado = EXTERIOR  
    }  
}
```

2023/24

MCD05

16

© DEI/ISEP

16



## Simulação Discreta por Atividades

---

- Bloco das Operações
  - Rotinas de Atividades de entrada
    - Criar a próxima entidade a entrar, com base em dados tabelados, amostragem de histogramas ou por intermédio de valores retirados de qualquer distribuição estatística
    - Assegurar interface com a próxima atividade morta

2023/24

MCOSS

17

© DE/ISEP

17

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Exemplo – Barbearia
  - Atividade “Corte”
    - Se o Barbeiro estiver livre, a atividade Corte começará de imediato a ser executada
      - Cliente não tem qualquer tempo de espera
    - Se o Barbeiro estiver ocupado
      - Cliente espera até que chegue a sua vez de ser atendido

2023/24

MCOSS

18

© DE/ISEP

18

## Simulação Discreta por Atividades

- Exemplo – Barbearia
  - Atividade “Corte” (continuação)
    - Início da Atividade
      - Estado da entidade *barbeiro* = LIVRE && nº\_clientes\_espera > 0
    - Fim da Atividade
      - Estado da entidade *barbeiro* = OCUPADO && tempo da simulação = célula de tempo da entidade

2023/24

MCOSS

19

© DEI/ISEP

19

## Simulação Discreta por Atividades

- Barbearia – Actividade Corte

```
Corte() {  
    // início de atividade - se existe algum cliente em espera  
    if(barbeiro.estado == LIVRE && clientesEmEspera.tamanho > 0) {  
        1. retira cliente da fila "clientesEmEspera"  
        2. cliente.estado = CORTE  
        3. barbeiro.estado = OCUPADO  
        4. calcula o tempo que durará o corte (tcorte)  
        5. barbeiro.tfim = tsim + tcorte  
    }  
  
    // fim de atividade -> fim de corte coincide com o tempo de simulação  
    if(EntAtual.estado == OCUPADO && EntAtual.tfim == tsim) {  
        1. cliente.estado = SAIDA // elimina cliente  
        2. barbeiro.estado = LIVRE  
    }  
}
```

2023/24

MCOSS

20

© DEI/ISEP

20

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Rotinas de Atividades “vivas”
  - Dividir em duas rotinas: **Início da atividade** e **Fim da atividade**
  - Permite executar primeiro as ações de finalização das atividades, libertando mais cedo as entidades nelas envolvidas
  - Permite distinguir entre atividades que, num dado momento da simulação, podem ser executadas (atividades tipo B), daquelas cuja execução depende dos estados do sistema nesse momento (atividades tipo C)
    - Abordagem das três fases (será visto mais à frente)

2023/24

MODS

21

© DEI/ISEP

21

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Bloco das Operações – Recolha de Dados
  - Considerar no sistema uma nova atividade, independente, e fazê-la executar com a frequência com que interessa recolher os dados
  - Criar entidade fictícia associada
  - Por exemplo, definir atividade AMOSTRAGEM e a entidade AMOSTRADOR

2023/24

MODS

22

© DEI/ISEP

22

## Simulação Discreta por Atividades

- Barbearia – Atividade Amostragem

- Os dados relevantes a recolher são a quantidade de entidades que, num dado momento, se encontram em cada estado

```
Amostragem() {  
    // início  
    if(EntAtual == amostrador && EntAtual.tfim == tsim) {  
        1. memoriza número de entidades no estado EXTERIOR  
        2. memoriza número de entidades no estado ESPERA  
        3. memoriza número de entidades no estado CORTE  
        4. calcula o tempo para a próxima amostragem (tnext)  
        5. amostrador.tfim = tnext  
    }  
}
```

2023/24

MCOSS

23

© DEI/ISEP

23

## Simulação Discreta por Atividades

- Bloco Executivo

- Estabelecer ciclo que se divide entre a execução de operações e a tarefa de fazer evoluir o tempo da simulação
  - A simulação prossegue enquanto esse ciclo puder ser executado
- Abordagem por atividades
  - Manter lista das entidades no sistema
  - Detetar de entre as entidades no sistema, a célula de tempo que possui o menor valor, e fazer evoluir o tempo da simulação para esse valor
  - Percorrer o conjunto das atividades implementadas no Bloco de Operações
    - Controlo do programa voltará depois ao Executivo para sofrer um novo incremento no tempo

2023/24

MCOSS

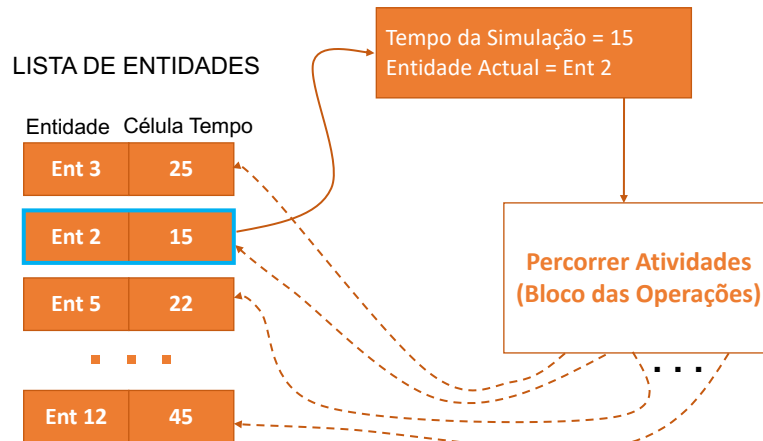
24

© DEI/ISEP

24

## Simulação Discreta por Atividades

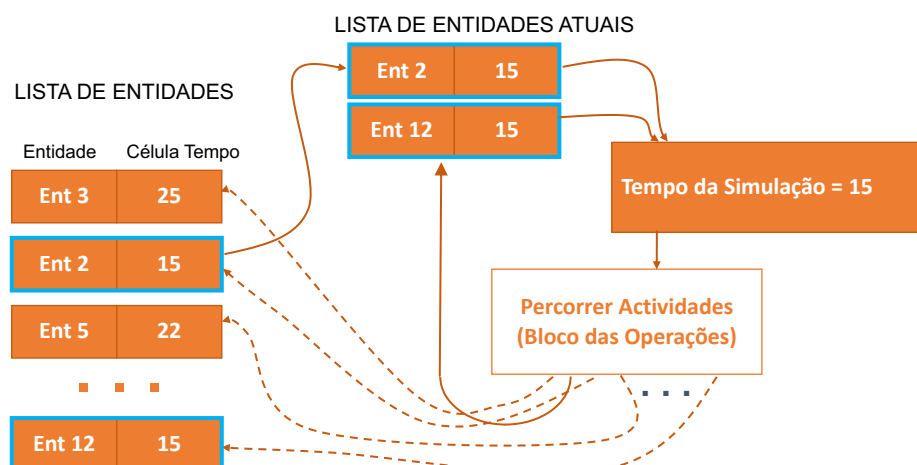
- Ciclo do Executivo na abordagem por Atividades



25

## Simulação Discreta por Atividades

- Ciclo do Executivo na abordagem por Atividades



26

## Simulação Discreta por Atividades

- Bloco Executivo
  - Varrimento do tempo
    - É percorrida a lista das entidades no sistema e detetado o instante da próxima transição de estado, atualizando-se o tempo da simulação e preenchendo a lista das entidades atuais
  - Varrimento das atividades
    - São executadas as rotinas do bloco das operações até que se esgotem as entidades na lista de entidades atuais
    - Depois, voltará a ser realizado um novo varrimento do tempo

2023/24

MCOSS

27

© DEI/ISEP

27

## Simulação Discreta por Atividades

- Bloco Executivo – apoio à implementação

```
Executivo() {  
    while (simular == TRUE){  
        // varrimento do tempo  
        1. percorrer lista de entidades no sistema e detetar aquelas cujo  
           valor da célula de tempo é mínimo (tminimo)  
        2. colocar essas entidades na Lista de Entidades Actuais  
        3. colocar tempo de simulação (tsim = tminimo)  
  
        while(ListaEntidadesAtuais.tamanho>0) {  
            // varrimento das actividades  
            1. EntidadeAtual = próxima entidade da lista  
            2. BlocoOperações(EntidadeAtual, tsim)  
               // Executa o Bloco das operações passando-lhe a  
               // Entidade Atual e o Tempo da Simulação  
        }  
    }  
}
```

2023/24

28

© DEI/ISEP

28

## Simulação Discreta por Actividades

---

- Características
  - Ordem pela qual as rotinas das atividades do Bloco de Operações são percorridas pelo Executivo é relevante, na medida em que as primeiras serão consideradas mais prioritárias
  - Analista deve organizar as prioridades, o que, por vezes implica alterar essa ordem de acordo com o caso a simular, ou desenvolver mecanismo através do qual o operador possa definir essa ordem, aumentando a complexidade do Executivo por forma a assegurar a sua execução pela ordem estabelecida
  - É conveniente que as acções de fim das actividades sejam executadas antes das acções de início, pois assim libertam-se mais cedo as entidades nelas envolvidas<sup>29</sup>

2023/24

© DEI/ISEP

29

## Simulação Discreta por Actividades

---

- Características (continuação)
  - É conveniente que as ações de fim das atividades sejam executadas antes das ações de início, pois assim libertam-se mais cedo as entidades nelas envolvidas
  - Localizar primeiro as secções de fim

2023/24

MCD05

30

© DEI/ISEP

30

## Simulação Discreta por Atividades

---

- Limitações
  - Todas as atividades são analisadas em cada incremento de simulação, mesmo as que não irão ser executadas
- Vantagens
  - Implementação simples e rápida das atividades do sistema
  - Utilizada sobretudo nas fases de arranque de certos projetos de simulação

2022/24

MOOS

31

© DE/ISEP

31

## Modelação e Simulação Inteligente

### Simulação Discreta Abordagem por Atividades

Paulo Matos

P.PORTO

isep Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

FEUP INSTITUTO DE ENGENHARIA  
INFORMÁTICA

© DE/ISEP

32