

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

# *Relatório de Projeto Laboratorial*

## Simulação de uma Clínica Médica

**Algoritmos e Técnicas de Programação**  
**Ano Letivo 2025/2026**

Bárbara Jacques, a109722

Esmeralda Freitas, a109932

Martim Rocha, a112252

**Docentes:**

**José Carlos Leite Ramalho**

**Luís Filipe Costa Cunha**

Braga, 11 de janeiro de 2026

## Resumo

Este projeto consiste no desenvolvimento de uma aplicação em Python para a simulação de uma clínica médica, utilizando a metodologia de Simulação de Eventos Discretos (DES). O objetivo principal foi modelar o fluxo de atendimento de doentes, desde a sua chegada (baseada num processo de Poisson) até à alta médica, passando pela triagem e consulta. A aplicação foi estruturada de forma modular para garantir a escalabilidade e a manutenção do código. O núcleo da simulação (principal.py e manipulacao.py) gera uma lista de eventos prioritária, processando chegadas e saídas cronologicamente. Os doentes são encaminhados para filas de espera específicas (Cardiologia, Pneumologia, Clínica Geral) com base em regras de triagem aplicadas a um dataset real de utentes (pessoas.json). Para a interação com o utilizador, desenvolveu-se uma Interface Gráfica (GUI) robusta utilizando a biblioteca FreeSimpleGUI3. Esta interface permite a configuração dinâmica dos parâmetros da simulação (número de médicos, taxa de chegada, distribuição estatística do tempo de consulta) e oferece visualização em tempo real do progresso e dos eventos. Adicionalmente, o projeto integrou um módulo de Análise de Dados e Visualização<sup>5</sup>. Após a simulação, o sistema gera relatórios estatísticos detalhados (tempos médios de espera, taxas de ocupação, dimensão das filas) e gráficos interativos (Matplotlib) que ilustram a evolução do sistema ao longo do tempo<sup>6</sup>. Foi também implementada a funcionalidade de exportação destes resultados para ficheiros externos (JSON e TXT), permitindo a persistência e análise posterior dos dados. Em suma, este trabalho demonstra a aplicação prática de algoritmos complexos e estruturas de dados na resolução de problemas de engenharia biomédica, oferecendo uma ferramenta funcional para o estudo e otimização de recursos em ambiente hospitalar.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos do Sistema</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Descrição Geral do Funcionamento</b>	<b>3</b>
3.1	Parâmetros de Configuração . . . . .	3
3.2	Resultados Produzidos . . . . .	4
3.3	Gráficos Gerados . . . . .	4
3.4	Interface Gráfica . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Interface</b>	<b>6</b>
4.1	Configuração da Simulação . . . . .	6
4.2	Execução da Simulação . . . . .	6
4.3	Tratamento de Erros e Validação de Dados . . . . .	7
4.4	Análise de Dados . . . . .	8
4.5	Visualização Gráfica dos Resultados . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Integração de Dados Reais</b>	<b>10</b>
5.1	Exemplo de Estrutura JSON . . . . .	10
5.2	Carregamento dos Dados . . . . .	11
5.3	Cálculo de Estatísticas Demográficas . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Tecnologias Utilizadas</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Metodologia de Simulação</b>	<b>15</b>

7.1	Estrutura do Código e Modularização . . . . .	15
7.2	Funcionamento do Núcleo da Simulação . . . . .	16
7.2.1	Visão Geral da Função simula . . . . .	16
7.2.2	Importação de Módulos e Definição de Constantes . . . . .	16
7.2.3	Carregamento do Dataset e Definição das Especialidades . . . . .	17
7.2.4	Inicialização da Simulação . . . . .	17
7.2.5	Geração dos Eventos de Chegada . . . . .	18
7.2.6	Ciclo Principal de Eventos . . . . .	18
7.2.7	Tratamento de Eventos de Chegada . . . . .	19
7.2.8	Tratamento de Eventos de Saída . . . . .	19
7.2.9	Cálculo das Estatísticas Finais . . . . .	19
7.2.10	Considerações Finais . . . . .	20
<b>8</b>	<b>Desafios e Soluções</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Conclusão</b>	<b>22</b>

## 1 Introdução

No âmbito da unidade curricular de Algoritmos e Técnicas de Programação, foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação em Python destinada à simulação do funcionamento de uma clínica médica. O objetivo principal do projeto consiste em modelar, de forma realista, o atendimento de doentes numa clínica, recorrendo a processos probabilísticos e a uma simulação de eventos discretos.

A aplicação permite analisar o impacto de diferentes parâmetros, tais como a taxa de chegada de doentes, o número de médicos disponíveis e o tempo médio de consulta, no desempenho global do sistema.

## 2 Objetivos do Sistema

Os principais objetivos do sistema desenvolvido são:

- Simular a chegada de doentes a uma clínica médica segundo uma distribuição de Poisson;
- Simular o atendimento médico com tempos de consulta aleatórios, seguindo distribuições estatísticas apropriadas;
- Registar métricas de desempenho como tempos de espera, tamanho da fila e ocupação dos médicos;
- Gerar gráficos que representem a evolução desses indicadores ao longo do tempo;
- Permitir a variação dos parâmetros da simulação e a análise do impacto dessas alterações nos resultados.

### 3 Descrição Geral do Funcionamento

O funcionamento básico da simulação segue o seguinte fluxo:

- Os doentes chegam à clínica de forma aleatória, de acordo com uma distribuição de Poisson com parâmetro  $\lambda$ ;
- Caso exista um médico disponível, o doente é atendido de imediato;
- Caso contrário, o doente entra numa fila de espera (*queue*);
- O tempo de consulta é gerado aleatoriamente, seguindo uma distribuição exponencial, normal ou uniforme;
- Após o término da consulta, o doente abandona a clínica e o médico fica disponível para atender outro doente.

Todo o sistema é baseado numa simulação de eventos discretos, onde os principais eventos são a chegada e a saída de doentes.

#### 3.1 Parâmetros de Configuração

A aplicação permite configurar diversos parâmetros relevantes para a simulação, entre os quais:

- Taxa de chegada de doentes (doentes por hora);
- Número de médicos disponíveis;
- Tipo de distribuição do tempo de consulta;
- Tempo médio de consulta;
- Duração total da simulação.

Estes parâmetros podem ser alterados de modo a testar diferentes cenários e analisar o comportamento do sistema.

### 3.2 Resultados Produzidos

Durante a execução da simulação, são recolhidos diversos indicadores de desempenho, nomeadamente:

- Tempo médio de espera dos doentes;
- Tempo médio de consulta;
- Tempo médio total de permanência na clínica;
- Tamanho médio e máximo da fila de espera;
- Percentagem de ocupação dos médicos;
- Número total de doentes atendidos.

### 3.3 Gráficos Gerados

Com base nos dados recolhidos, a aplicação gera vários gráficos, entre os quais:

- Evolução do tamanho da fila de espera ao longo do tempo;
- Evolução da taxa de ocupação dos médicos ao longo da simulação;
- Relação entre a taxa de chegada de doentes e o tamanho médio da fila de espera;
- Outros gráficos adicionais considerados relevantes para a análise do sistema.

### 3.4 Interface Gráfica

A aplicação dispõe de uma interface gráfica desenvolvida com o módulo *SimpleGUI*, permitindo:

- Executar a simulação;
- Alterar os parâmetros do sistema;

- Visualizar os gráficos gerados;
- Visualizar graficamente a fila de espera e a ocupação dos consultórios.

A interface foi concebida de forma a facilitar a interação do utilizador com a simulação e a interpretação dos resultados obtidos.

## 4 Interface

### 4.1 Configuração da Simulação

Na fase inicial, o utilizador tem acesso a uma janela de configuração onde pode definir os principais parâmetros da simulação, tais como a taxa de chegada de doentes, o número de médicos disponíveis e a duração média das consultas. Estes parâmetros são fundamentais para caracterizar o comportamento do sistema e influenciam diretamente os resultados obtidos.



Figura 1: Janela de configuração inicial da simulação.

Antes de iniciar a simulação, são efetuadas validações automáticas aos dados introduzidos, garantindo que todos os campos obrigatórios se encontram preenchidos e que os valores inseridos são compatíveis com o tipo esperado.

### 4.2 Execução da Simulação

Após a correta configuração dos parâmetros, o utilizador pode dar início à simulação. Durante esta fase, o sistema processa os eventos de chegada e atendimento dos doentes de acordo com os modelos probabilísticos definidos.



Figura 2: Figura 2: Barra de progresso durante a execução da simulação.

Para fornecer feedback contínuo ao utilizador, é apresentada uma barra de progresso que indica o estado de execução da simulação, permitindo acompanhar visualmente a sua evolução.

### 4.3 Tratamento de Erros e Validação de Dados

Com o objetivo de aumentar a robustez da aplicação, foram implementados mecanismos de tratamento de erros. Sempre que o utilizador insere dados inválidos, como campos vazios ou valores não numéricos, o sistema apresenta mensagens de aviso claras, orientando o utilizador para a correção do erro.

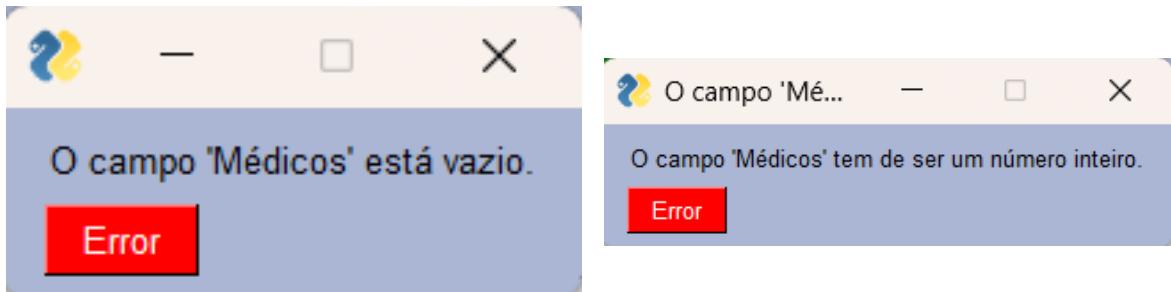


Figura 3: Exemplos de mensagens de erro apresentadas ao utilizador

## 4.4 Análise de Dados

Após a conclusão da simulação, o utilizador pode aceder à janela de análise de dados, onde são apresentadas estatísticas relevantes sobre os doentes atendidos e o desempenho do sistema. Esta análise inclui, entre outros aspetos, a distribuição etária, a identificação de perfis de risco e informações gerais sobre a população simulada.

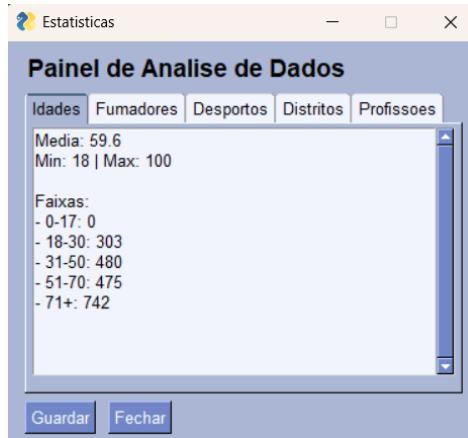


Figura 4: Janela de análise de dados demográficos da simulação.

## 4.5 Visualização Gráfica dos Resultados

A aplicação disponibiliza ainda um menu dedicado à visualização gráfica dos resultados obtidos.



Figura 5: Botão menu gráficos.

Através deste menu, o utilizador pode selecionar diferentes gráficos que representam métricas importantes, como a evolução da fila de espera, o número de doentes atendidos ou o desempenho por especialidade.

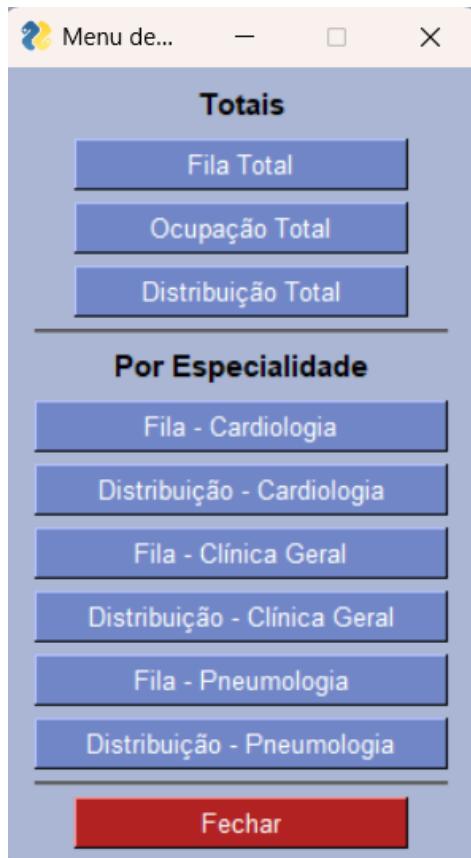


Figura 6: Menu de seleção de gráficos estatísticos.

Após a seleção, o gráfico correspondente é gerado e apresentado numa nova janela, facilitando a interpretação visual dos resultados da simulação.

Em conjunto, estas funcionalidades tornam a interface gráfica uma componente essencial do sistema, permitindo não só a configuração e execução da simulação, mas também uma análise clara e estruturada dos resultados obtidos.

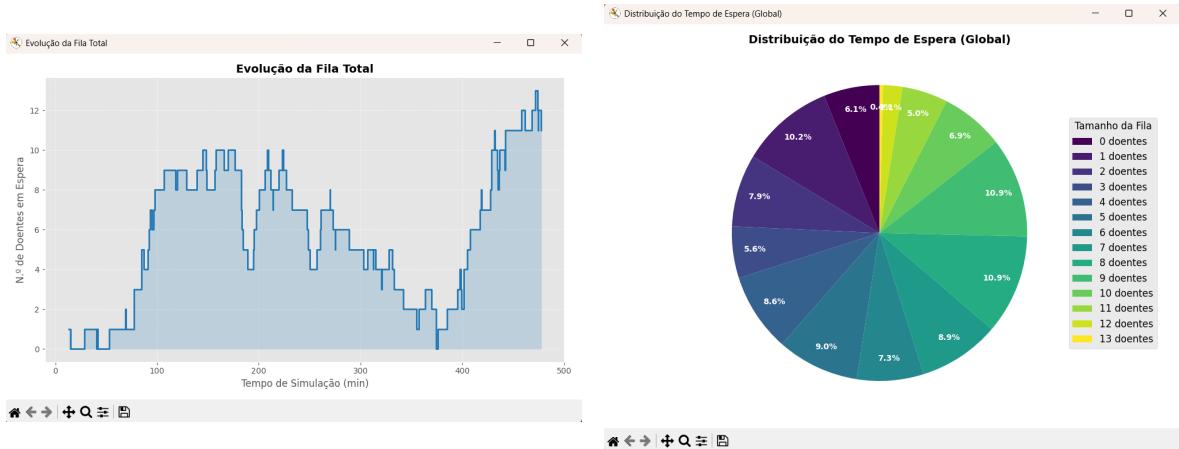


Figura 7: Exemplos de gráficos gerados a partir dos resultados da simulação.

## 5 Integração de Dados Reais

Para tornar a simulação mais realista e alinhada com um contexto clínico real, foi integrada a utilização de um dataset de pessoas em formato JSON, fornecido no âmbito do projeto. Em vez de trabalhar apenas com identificadores abstratos de doentes, o sistema passa a lidar com pessoas reais, caracterizadas por atributos demográficos e comportamentais.

### 5.1 Exemplo de Estrutura JSON

O ficheiro JSON utilizado contém uma lista de pessoas, onde cada elemento representa um possível doente da clínica. Cada registo inclui informação como nome, idade, morada, hábitos de saúde e outros atributos relevantes. Um excerto simplificado do dataset é apresentado de seguida:

```
{
  "nome": "Neyanne Sampaio",
  "idade": 47,
  "sexo": "feminino",
  "morada": {
    "cidade": "Ferreira do Alentejo",
    "distrito": "Portalegre"
  }
}
```

```

    "distrito": "Beja"
},
"profissao": "Programador de aplicações",
"desportos": ["Peteca", "Rugby de praia"],
"atributos": {
    "fumador": true,
    "gosta_musica": true,
    "comida_favorita": "vegetariana"
},
"id": "p0"
}

```

## 5.2 Carregamento dos Dados

O carregamento do dataset é realizado através de uma função dedicada, responsável por ler o ficheiro JSON e devolver a lista de pessoas a utilizar na simulação:

```

import json

def carregar_e_validar(caminho):
    """Carrega o JSON e devolve a lista de pessoas."""
    with open(caminho, "r", encoding="utf-8") as f:
        dados = json.load(f)
    return dados

```

## 5.3 Cálculo de Estatísticas Demográficas

A partir da lista de pessoas carregada, são calculadas várias estatísticas que permitem caracterizar a população atendida pela clínica. Por exemplo, o cálculo da idade média, mínima e máxima é realizado da seguinte forma:

```
def estatisticas_idades(lista):
```

```

    soma = 0
    contagem = 0
    min_idade = 999
    max_idade = -1

    for p in lista:
        idade = p["idade"]
        soma += idade
        contagem += 1
        if idade < min_idade:
            min_idade = idade
        if idade > max_idade:
            max_idade = idade

    return {
        "media": soma / contagem if contagem > 0 else 0,
        "min": min_idade,
        "max": max_idade,
        "total": contagem
    }
}

```

De forma semelhante, são implementadas funções para calcular a distribuição por distrito, hábitos de consumo (fumadores e não fumadores), prática de desporto, profissões mais frequentes e faixas etárias.

Estas estatísticas permitem enriquecer a análise da simulação, possibilitando estudos adicionais como o impacto da idade, localização geográfica ou estilo de vida na procura por determinadas especialidades médicas.

Além disso, os resultados estatísticos obtidos podem ser representados graficamente e exportados para ficheiros JSON e TXT, assegurando persistência dos dados, reprodutibilidade das experiências e facilidade de análise posterior.

Para tornar a simulação mais realista e alinhada com um contexto clínico real, foi

integrada a utilização de um dataset de pessoas em formato JSON, fornecido no âmbito do projeto. Em vez de trabalhar apenas com identificadores abstratos de doentes, o sistema passa a lidar com pessoas reais, caracterizadas por atributos demográficos e comportamentais.

O carregamento e validação dos dados é realizado através de funções dedicadas, garantindo uma separação clara entre a lógica da simulação e o tratamento de dados. A partir deste conjunto de dados são extraídas diversas estatísticas relevantes, que permitem caracterizar a população atendida pela clínica.

As estatísticas calculadas incluem:

Distribuição etária: cálculo da idade média, mínima e máxima dos doentes, bem como a sua distribuição por faixas etárias; Distribuição geográfica: análise da frequência de doentes por distrito; Hábitos de saúde: distinção entre fumadores e não fumadores; Atividade física: frequência da prática de diferentes desportos; Perfil profissional: identificação das profissões mais comuns entre os doentes. Estas métricas permitem enriquecer a análise da simulação, possibilitando estudos adicionais como o impacto da idade ou do estilo de vida na procura por determinadas especialidades médicas.

Além disso, os resultados estatísticos obtidos podem ser representados graficamente e exportados para ficheiros JSON e TXT, assegurando persistência dos dados, reprodutibilidade das experiências e facilidade de análise posterior.

## 6 Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento do sistema, foi necessária a importação de bibliotecas e módulos, de modo a conseguir realizar o programa da forma mais eficiente possível. As bibliotecas e os módulos em questão são:

- Python – linguagem de programação principal;
- SimpleGUI – desenvolvimento da interface gráfica;
- NumPy – geração de variáveis aleatórias e apoio ao cálculo estatístico;
- Matplotlib – criação de gráficos e visualizações;
- JSON – armazenamento e configuração de parâmetros.

## 7 Metodologia de Simulação

O sistema utiliza uma abordagem de simulação de eventos discretos, mantendo uma lista ordenada de eventos futuros. Cada evento corresponde a uma chegada ou saída de um doente. O estado do sistema é atualizado à medida que os eventos são processados, permitindo calcular métricas de desempenho em tempo real.

Os médicos são modelados como recursos que podem estar ocupados ou livres, e a fila de espera é representada por uma estrutura de dados do tipo queue.

A utilização de especialidades médicas e a atribuição automática dos doentes com base em características como a idade e hábitos de saúde permitiu tornar a simulação mais realista. Esta abordagem aproxima o comportamento do sistema a um cenário clínico real, onde diferentes perfis de doentes recorrem a especialidades distintas, influenciando diretamente a dinâmica da fila de espera e a ocupação dos médicos.

### 7.1 Estrutura do Código e Modularização

O código desenvolvido foi organizado de forma modular, de modo a facilitar a leitura, manutenção e extensão do sistema. Cada conjunto de funções desempenha uma responsabilidade específica, promovendo a separação de preocupações.

O módulo de análise de dados é responsável pelo carregamento e validação do dataset de pessoas, bem como pelo cálculo de estatísticas demográficas, como distribuição etária, hábitos de saúde, localização geográfica e profissões mais frequentes.

O módulo de simulação implementa o núcleo da simulação de eventos discretos, incluindo a gestão da fila de eventos, o estado dos médicos, a atribuição de especialidades e o processamento das chegadas e saídas de doentes.

As funções de visualização gráfica encontram-se isoladas num módulo próprio, permitindo gerar gráficos independentes da lógica da simulação, como a evolução do tamanho da fila e a taxa de ocupação dos médicos.

Por fim, o módulo da interface gráfica coordena a interação com o utilizador, asse-

gurando a validação de dados, a execução da simulação, a apresentação dos resultados e a exportação dos relatórios.

## 7.2 Funcionamento do Núcleo da Simulação

### 7.2.1 Visão Geral da Função simula

O núcleo do sistema encontra-se implementado na função `simula`, responsável por coordenar todo o processo de simulação do funcionamento da clínica médica. Esta função integra a geração de eventos, a gestão da fila de espera, a atribuição de médicos, a recolha de métricas estatísticas e a interação com a interface gráfica.

A função `simula` implementa uma simulação de eventos discretos, sendo responsável por controlar o tempo da simulação e o processamento sequencial dos eventos de chegada e saída dos doentes.

### 7.2.2 Importação de Módulos e Definição de Constantes

O sistema recorre a vários módulos externos para assegurar funcionalidades específicas:

- json para carregamento do dataset de pessoas;
- numpy para cálculo de médias estatísticas;
- manipulacao (importado como mani) onde se encontram funções auxiliares de geração de
  - tempos, gestão de médicos e filas
  - FreeSimpleGUI para a interface gráfica.

São ainda definidas duas constantes simbólicas, `CHEGADA` e `SAIDA`, que identificam os tipos de eventos processados na simulação, aumentando a clareza e legibilidade do código.

```

import json
import numpy as np
import manipulacao as mani
import FreeSimpleGUI as sg

CHEGADA = 0
SAIDA = 1

```

### 7.2.3 Carregamento do Dataset e Definição das Especialidades

O ficheiro pessoas.json é carregado no início da execução e armazenado na variável PESSOAS. Este dataset contém informação realista sobre indivíduos, permitindo que cada doente da simulação possua atributos próprios.

```

with open("pessoas.json", "r", encoding="utf-8") as f:
    PESSOAS = json.load(f)

especialidades = ["Cardiologia", "Clínica Geral", "Pneumologia"]

```

### 7.2.4 Inicialização da Simulação

A função simula recebe como parâmetros o número de médicos, a taxa de chegada de doentes, o tempo médio de consulta, a duração total da simulação e o tipo de distribuição estatística a utilizar.

```

def simula(n_medicos, taxa_chegada, tempo_medio, tempo_simulacao,
           distribuicao):
    mani.N_MEDICOS = n_medicos
    mani.TAXA_CHEGADA = taxa_chegada
    mani.TEMPO_MEDIO = tempo_medio
    mani.DISTRIBUICAO = distribuicao

```

São inicializadas as principais estruturas de dados:

```

queueEventos = []

fila_espera = {esp: [] for esp in especialidades}
medicos = mani.criarMedicos(n_medicos, especialidades)

chegadas_d = {}
ent_consulta_d = {}
saida_d = {}

hist_fila = []
hist_fila_esp = {esp: [] for esp in especialidades}
hist_ocupa = []

```

### 7.2.5 Geração dos Eventos de Chegada

Antes do início do ciclo principal, são gerados todos os eventos de chegada até ao final da simulação. O intervalo entre chegadas é calculado com base numa distribuição probabilística.

### 7.2.6 Ciclo Principal de Eventos

A simulação decorre num ciclo while, onde os eventos são processados por ordem temporal.

```

while queueEventos:
    tempo_atual, tipo, pessoa, esp = mani.dequeue(queueEventos)
    ocupacao = mani.calcular_ocupacao(medicos)
    hist_ocupa.append((tempo_atual, ocupacao))

```

Durante esta fase, se a interface gráfica estiver ativa, é atualizada uma barra de progresso que reflete a percentagem da simulação já concluída.

### 7.2.7 Tratamento de Eventos de Chegada

```

if tipo == CHEGADA:
    medico = mani.procuraMedico(medicos, esp)
    if medico:
        duracao = mani.gera_tempo_consulta()
        mani.enqueue(queueEventos, (tempo_atual + duracao, SAIDA, pessoa, esp))
        ent_consulta_d[pessoa["id"]] = tempo_atual
    else:
        fila_espera[esp].append((tempo_atual, pessoa))

```

### 7.2.8 Tratamento de Eventos de Saída

```

elif tipo == SAIDA:
    mani.libertarMedico(medicos, esp)
    saida_d[pessoa["id"]] = tempo_atual

    if fila_espera[esp]:
        tempo_chegada, prox = fila_espera[esp].pop(0)
        duracao = mani.gera_tempo_consulta()
        mani.enqueue(queueEventos, (tempo_atual + duracao, SAIDA, prox, esp))

```

### 7.2.9 Cálculo das Estatísticas Finais

Após o processamento de todos os eventos, são calculadas métricas globais de desempenho, como tempos médios de espera e permanência na clínica.

```

media_espera = np.mean(list(ent_consulta_d.values())) if ent_consulta_d
else 0
media_clinica = np.mean(list(saida_d.values())) if saida_d else 0

```

Estas métricas são devolvidas juntamente com os históricos temporais, permitindo a geração de gráficos e a exportação dos resultados.

### 7.2.10 Considerações Finais

A função simula implementa uma simulação de eventos discretos completa, integrando geração probabilística de eventos, gestão de recursos, filas de espera por especialidade e recolha sistemática de dados estatísticos.

A separação entre a lógica da simulação e os módulos auxiliares contribui para um código modular, legível e facilmente extensível.

## 8 Desafios e Soluções

Durante o desenvolvimento do projeto foram identificados vários desafios, nomeadamente:

- A correta modelação do comportamento estocástico do sistema;
- A gestão eficiente da fila de espera;
- A recolha consistente de métricas ao longo da simulação;
- A integração de dados reais com a lógica da simulação.
- Estes desafios foram ultrapassados através de uma estruturação cuidada do código, desenvolvimento de funções modulares e realização de testes com diferentes cenários.

## 9 Conclusão

O desenvolvimento deste projeto permitiu consolidar os conhecimentos adquiridos na Unidade Curricular de Algoritmos e Técnicas de Programação, nomeadamente no que diz respeito à programação em Python, manipulação de dados e desenvolvimento de interfaces.

A simulação de uma clínica médica revelou-se uma aplicação prática e relevante, possibilitando a análise do impacto de diferentes parâmetros no desempenho do sistema. Conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos, resultando numa aplicação funcional, extensível e alinhada com os requisitos definidos para o projeto.