

# **Jogo de Labirinto 3D com OpenGL**

**Bruno Correia (51741), Henrique Laia (51742)**

Relatório de Projeto de Computação Gráfica  
**Engenharia Informática**

Professores: Abel Gomes, João Dias

**Dezembro de 2025**



# **Resumo**

Este projeto consiste no desenvolvimento de um jogo de labirinto 3D utilizando OpenGL como API gráfica principal. O jogo apresenta geração procedural de labirintos através do algoritmo de Kruskal, um sistema de iluminação dinâmica com efeito de lanterna, comunicação em rede entre dois jogadores (host e cliente) via sockets TCP, e renderização de texto para interface com o utilizador. O projeto demonstra a aplicação prática de conceitos fundamentais de computação gráfica, incluindo transformações 3D, iluminação, texturas, shaders GLSL, e gestão de cena.

## **Palavras-chave**

OpenGL, Computação Gráfica, Labirinto, Geração Procedural, Kruskal, GLFW, Shaders, Networking



# Índice

<b>Resumo</b>	<b>iii</b>
<b>Índice</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 História e Enquadramento . . . . .	1
1.2 Motivação . . . . .	1
1.3 Objetivos . . . . .	1
1.4 Estrutura do Relatório . . . . .	2
<b>2 Tecnologias Utilizadas</b>	<b>3</b>
2.1 OpenGL . . . . .	3
2.2 GLFW . . . . .	3
2.3 GLM . . . . .	4
2.4 GLAD . . . . .	4
2.5 FreeType . . . . .	4
2.6 STB Image . . . . .	5
2.7 CMake . . . . .	5
2.8 Sockets TCP . . . . .	5
2.9 Resumo de Bibliotecas . . . . .	5
<b>3 Desenvolvimento e Implementação</b>	<b>7</b>
3.1 Gestão do Projeto . . . . .	7
3.1.1 Estrutura de Diretórios . . . . .	7
3.1.2 Sistema de Compilação . . . . .	7
3.2 Descrição do Código . . . . .	8

3.2.1	Classe Game . . . . .	8
3.2.2	Classe Maze . . . . .	8
3.2.3	Classe Camera . . . . .	9
3.2.4	Classe Shader . . . . .	9
3.2.5	Geração de Labirinto: Algoritmo de Kruskal . . . . .	9
3.2.6	Classe TextRenderer . . . . .	10
3.2.7	Classe Mesh . . . . .	10
3.2.8	Módulo Network . . . . .	10
3.3	Funcionalidades Implementadas . . . . .	11
3.3.1	Geração Procedural de Labirintos . . . . .	11
3.3.2	Sistema de Iluminação Dinâmica . . . . .	11
3.3.3	Networking Host/Cliente . . . . .	11
3.3.4	Sistema de Diálogo Introdutório . . . . .	12
3.3.5	Ambiente Exterior . . . . .	12
3.3.6	Deteção de Colisões . . . . .	12
3.3.7	Sistema de Pausa . . . . .	12
3.3.8	Transição de Cor Progressiva . . . . .	13
3.3.9	Texturas e Materiais . . . . .	13
3.4	Documentação com Doxygen . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Conclusão e Trabalho Futuro</b>	<b>15</b>
4.1	Conclusão . . . . .	15
4.1.1	O que se Fez . . . . .	15
4.2	Limitações e Trabalho Não Realizado . . . . .	16
4.3	Trabalho Futuro . . . . .	16
4.4	Considerações Finais . . . . .	17

## **Lista de Figuras**



## Lista de Tabelas



# Capítulo 1

## Introdução

1

### 1.1 História e Enquadramento

O jogador vê-se num labirinto, com uma lanterna que ilumina o seu caminho e uma citação pouco escalarecedora. Percebe que a mesma pessoa que vai sair dali, não é a mesma que entrou.

### 1.2 Motivação

A escolha de desenvolver um jogo de labirinto 3D foi motivada por diversos fatores:

- **Geração Procedural:** Implementar algoritmos de geração procedural, nomeadamente o algoritmo de Kruskal, permite criar labirintos únicos e imprevisíveis em cada execução.
- **Aplicação de Computação Gráfica:** O projeto requer a aplicação prática de transformações 3D, sistemas de iluminação, mapeamento de texturas, e programação de shaders GLSL.
- **Interatividade:** A implementação de controlos de câmara em primeira pessoa e deteção de colisões proporciona uma experiência imersiva.
- **Networking:** A inclusão de funcionalidades de rede (modo host/cliente) adiciona complexidade técnica e demonstra conhecimentos de programação de sistemas.
- **Desafios Técnicos:** O projeto apresenta desafios interessantes em áreas como otimização de renderização, gestão de recursos, e arquitetura de software.

### 1.3 Objetivos

Os principais objetivos deste projeto são:

---

<sup>1</sup>Este relatório foi produzido utilizando o template L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X para teses e dissertações da Universidade da Beira Interior [?], uma versão não oficial mantida pela comunidade.

- Desenvolver um motor de renderização 3D funcional utilizando OpenGL.
- Implementar geração procedural de labirintos através do algoritmo de Kruskal.
- Criar um sistema de iluminação dinâmica com efeito de lanterna (*flashlight/spotlight*).
- Implementar comunicação em rede entre dois jogadores (modo host e cliente).
- Desenvolver sistema de camera em primeira pessoa com controlos intuitivos.
- Adicionar elementos visuais como ambiente exterior, árvores e portal de saída.
- Implementar renderização de texto para interface com o utilizador.
- Aplicar texturas e materiais realistas aos elementos do jogo.

## 1.4 Estrutura do Relatório

Este relatório está organizado da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** descreve as tecnologias e bibliotecas utilizadas no desenvolvimento do projeto.
- O **Capítulo 3** detalha o desenvolvimento e implementação, incluindo a gestão do projeto, descrição das classes e funções principais.
- O **Capítulo 4** apresenta as conclusões, trabalho realizado, limitações e sugestões para trabalho futuro.

# Capítulo 2

## Tecnologias Utilizadas

Este capítulo descreve as tecnologias, bibliotecas e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do jogo de labirinto 3D.

### 2.1 OpenGL

O **OpenGL** (Open Graphics Library) [?] é a API gráfica principal utilizada neste projeto. Trata-se de uma API multiplataforma para renderização de gráficos 2D e 3D, amplamente utilizada na indústria de jogos e aplicações gráficas.

O projeto utiliza OpenGL moderno (versão 3.3+) com um *pipeline* programável, permitindo o uso de shaders personalizados para controlo total sobre a renderização. As principais funcionalidades do OpenGL utilizadas incluem:

- **Vertex Buffer Objects (VBO):** Para armazenamento eficiente de dados de vértices na GPU.
- **Vertex Array Objects (VAO):** Para gestão de estado de atributos de vértices.
- **Shaders GLSL:** Programas executados na GPU para processamento de vértices e fragmentos.
- **Texturas:** Mapeamento de imagens em superfícies 3D para realismo visual.
- **Depth Testing:** Para renderização correta de objetos com base na profundidade.

### 2.2 GLFW

A biblioteca **GLFW** [?] é utilizada para gestão de janelas, contextos OpenGL e processamento de entrada (teclado e rato). GLFW é uma biblioteca leve e portável que simplifica a criação de aplicações OpenGL multiplataforma.

Principais funcionalidades utilizadas:

- Criação e gestão de janela de renderização
- Inicialização de contexto OpenGL

- Gestão de eventos de entrada (teclado, rato, movimento de rato)
- Controlo de cursor (normal/escondido para modo de jogo)

## 2.3 GLM

A biblioteca **GLM** (OpenGL Mathematics) [?] fornece funcionalidades matemáticas essenciais para programação gráfica 3D. GLM implementa tipos e operações compatíveis com GLSL, facilitando a transferência de dados entre CPU e GPU.

Funcionalidades utilizadas:

- Vetores 3D (`glm::vec3`) para posições, direções e cores
- Matrizes 4x4 (`glm::mat4`) para transformações
- Funções de transformação: `translate`, `rotate`, `scale`
- Projeção perspectiva (`glm::perspective`)
- Cálculos trigonométricos e normalização de vetores

## 2.4 GLAD

O **GLAD** é um carregador de extensões OpenGL que gera a obtenção de ponteiros para funções OpenGL. É necessário porque as funções OpenGL modernas não estão disponíveis diretamente no sistema operativo, devendo ser carregadas em tempo de execução.

## 2.5 FreeType

A biblioteca **FreeType** [?] é utilizada para renderização de texto na interface do jogo. FreeType permite o carregamento de fontes TrueType e a geração de texturas de caracteres para renderização em OpenGL.

No projeto, FreeType é utilizado para:

- Renderização do diálogo introdutório
- Mensagens de estado do jogo
- Interface de utilizador

## 2.6 STB Image

A biblioteca **STB Image** [?] é uma biblioteca de cabeçalho único (*header-only*) para carregamento de imagens em diversos formatos (PNG, JPEG, etc.). É utilizada para carregar as texturas aplicadas às paredes, chão e ambiente exterior do labirinto.

## 2.7 CMake

O sistema de construção **CMake** [?] é utilizado para gestão da compilação do projeto. CMake permite definir dependências, configurar opções de compilação e gerar ficheiros de projeto para diferentes sistemas operativos e IDEs.

O projeto está configurado para gerar dois executáveis distintos:

- `maze_host.exe`: Versão host/servidor
- `maze_client.exe`: Versão cliente

## 2.8 Sockets TCP

Para a comunicação em rede entre o host e o cliente, o projeto utiliza **sockets TCP** POSIX. Esta escolha permite comunicação fiável entre processos através de uma interface de programação standard disponível em sistemas Unix-like.

## 2.9 Resumo de Bibliotecas

A Tabela 2.1 resume todas as bibliotecas externas utilizadas e os seus propósitos.

Tabela 2.1: Bibliotecas externas utilizadas no projeto.

Biblioteca	Propósito
OpenGL	API gráfica para renderização 3D
GLFW	Gestão de janela e entrada
GLM	Matemática 3D (vetores, matrizes, transformações)
GLAD	Carregamento de extensões OpenGL
FreeType	Renderização de texto
STB Image	Carregamento de texturas (PNG, JPEG)
CMake	Sistema de construção multiplataforma
Sockets TCP	Comunicação em rede host/cliente



# Capítulo 3

## Desenvolvimento e Implementação

Este capítulo descreve a gestão do projeto, a arquitetura do código, e as principais funcionalidades implementadas.

### 3.1 Gestão do Projeto

#### 3.1.1 Estrutura de Diretórios

O projeto está organizado da seguinte forma:

- `src/`: Código fonte C++ (.cpp)
- `include/`: Ficheiros de cabeçalho (.h, .hpp)
- `shaders/`: Shaders GLSL (vertex e fragment shaders)
- `assets/`: Recursos (texturas, fontes)
- `build/`: Diretório de compilação (gerado pelo CMake)
- `docs/`: Documentação do projeto

#### 3.1.2 Sistema de Compilação

O projeto utiliza CMake para gestão da compilação. O ficheiro `CMakeLists.txt` define:

- Dependências externas (GLFW, FreeType, OpenGL)
- Dois executáveis distintos: `maze_host.exe` e `maze_client.exe`
- Ficheiros fonte comuns partilhados entre ambos os executáveis
- Comandos personalizados para cópia de shaders e assets para o diretório de compilação

A separação em dois executáveis permite executar o jogo em modo host e cliente simultaneamente para testar funcionalidades de rede.

## 3.2 Descrição do Código

### 3.2.1 Classe Game

A classe `Game` é o núcleo da aplicação, responsável pela gestão do ciclo de vida do jogo. Localizada em `src/Game.cpp` e `include/Game.h`, implementa os seguintes métodos principais:

- `Init()`: Inicialização de recursos (shaders, geometria, texturas, rede)
- `ProcessInput(float dt)`: Processamento de entrada do teclado e rato
- `Update(float dt)`: Lógica do jogo (networking, deteção de proximidade ao portal)
- `Render()`: Renderização da cena 3D
- `ProcessMouseMovement()`: Controlo de câmara com o rato
- `CheckPortalProximity()`: Verificação de proximidade ao portal de saída

A classe gera também o estado do jogo incluindo:

- Modo de jogo (HOST ou CLIENT)
- Estado de pausa
- Estado do diálogo introdutório
- Bloqueio de movimento (para modo cliente)
- Sockets de rede para comunicação

### 3.2.2 Classe Maze

A classe `Maze` (`src/Maze.cpp`, `include/Maze.h`) é responsável pela representação e renderização do labirinto. Principais funcionalidades:

- `Generate(int width, int height)`: Gera um novo labirinto utilizando o algoritmo de Kruskal
- `Draw(Shader &shader)`: Renderiza paredes e chão do labirinto
- `IsWall(float x, float z)`: Deteção de colisões com paredes
- Armazena a grelha do labirinto (matriz 2D de inteiros)
- Gere os *meshes* de parede e chão

### 3.2.3 Classe Camera

A classe `Camera` (`include/learnopengl/camera.h`) implementa uma câmara em primeira pessoa com os seguintes recursos:

- Movimento WASD para navegação
- Rotação da câmara com o rato
- Cálculo de matriz de visualização (*view matrix*)
- Vetores direcionais (frente, direita, cima)
- Campo de visão ajustável (*zoom*)

### 3.2.4 Classe Shader

A classe `Shader` (`include/Shader.h`) encapsula a gestão de programas shader GLSL:

- Carregamento e compilação de vertex e fragment shaders
- Linking de programa shader
- Métodos utilitários para definição de uniformes (matrizes, vetores, valores escalares)
- Validação de erros de compilação

### 3.2.5 Geração de Labirinto: Algoritmo de Kruskal

A classe `maze::kruskal` (`include/kruksal/kruksal.cpp`) implementa o algoritmo de Kruskal para geração procedural de labirintos perfeitos (sem ciclos).

**Nota de Atribuição:** A implementação do algoritmo de Kruskal foi adaptada do repositório de Ferenc Nemeth [?], que fornece implementações de referência de vários algoritmos de geração de labirintos em C++.

#### Funcionamento do algoritmo:

1. Inicializa cada célula como um conjunto disjunto
2. Cria lista de todas as paredes possíveis entre células adjacentes
3. Baralha aleatoriamente a lista de paredes
4. Para cada parede:
  - Se as células adjacentes pertencem a conjuntos diferentes

- Remove a parede
  - Une os conjuntos
5. Continua até que todas as células pertençam ao mesmo conjunto

Este método garante que existe sempre um caminho único entre quaisquer dois pontos do labirinto.

### 3.2.6 Classe TextRenderer

A classe `TextRenderer` (`src/TextRenderer.cpp`) utiliza FreeType para renderização de texto:

- `Load(std::string font, unsigned int fontSize)`: Carrega fonte TrueType
- `RenderText()`: Renderiza texto 2D sobre a cena 3D
- Gera texturas de caracteres dinamicamente
- Utiliza projeção ortográfica para renderização 2D

### 3.2.7 Classe Mesh

A classe `Mesh` (`include/Mesh.hpp`) encapsula geometria 3D:

- Armazena vértices (posição, normal, coordenadas de textura)
- Gere VAO, VBO para renderização eficiente
- Suporta múltiplas texturas (difusa, normal, rugosidade)
- Método `Draw()` para renderização

### 3.2.8 Módulo Network

As funções de networking (`src/network.cpp`, `include/Network.h`) implementam comunicação TCP:

- `createSocket()`: Cria socket TCP
- `bindAndListen()`: Inicia servidor (modo host)
- `acceptConnection()`: Aceita ligação de cliente
- `connectToServer()`: Liga ao servidor (modo cliente)
- `sendData()`, `receiveData()`: Transferência de dados
- `closeSocket()`: Encerramento de ligação

### 3.3 Funcionalidades Implementadas

#### 3.3.1 Geração Procedural de Labirintos

Cada execução do jogo gera um labirinto único através do algoritmo de Kruskal. O tamanho do labirinto é configurável (atualmente 15x15 células).

#### 3.3.2 Sistema de Iluminação Dinâmica

O jogo implementa um sistema de iluminação tipo lanterna (*flashlight/spotlight*) através de shaders GLSL customizados:

- **Spotlight:** A luz segue a posição e direção da câmara
- **Atenuação:** Diminuição gradual da intensidade luminosa com a distância
- **Ângulos de corte:** Controlo do cone de luz (ângulo interno e externo)
- **Fog Effect:** Névoa atmosférica que esconde geometria distante

O vertex shader (`shaders/maze_vs.glsl`) transforma vértices e calcula posições para iluminação. O fragment shader (`shaders/maze_fs.glsl`) implementa o modelo de iluminação de Phong modificado com características de spotlight.

#### 3.3.3 Networking Host/Cliente

O jogo suporta dois modos de execução:

##### Modo HOST:

- Inicia servidor TCP na porta 8080
- Aguarda ligação de cliente
- Ao atingir o portal, envia mensagem "UNLOCK" ao cliente
- Permite movimento livre desde o início

##### Modo CLIENT:

- Liga ao servidor host (127.0.0.1:8080)
- Movimento bloqueado até receber mensagem "UNLOCK"
- Após desbloqueio, pode navegar até ao próprio portal
- Apresenta sequência de fim ao atingir portal

### **3.3.4 Sistema de Diálogo Introdutório**

Ao iniciar o jogo, é apresentado um diálogo com:

- Mensagem de boas-vindas
- Indicação do modo de jogo (HOST/CLIENT)
- Objetivo do jogo
- Controlos disponíveis
- Instrução para pressionar ENTER e iniciar

Durante a apresentação do diálogo, a entrada de movimento é ignorada.

### **3.3.5 Ambiente Exterior**

Para além do labirinto, o jogo inclui:

- **Plano de relva:** Superfície texturizada que estende 10 células além do labirinto
- **Árvores procedurais:** Árvores simples compostas por tronco (cilindro) e copa (pirâmide)
- **Portal de saída:** Estrutura arquitetônica com dois pilares e arco semicircular

### **3.3.6 Deteção de Colisões**

O sistema de colisões verifica:

- Interseção do jogador com paredes do labirinto
- Movimento é bloqueado em direções que causariam colisão
- Permite movimento deslizante ao longo de paredes

### **3.3.7 Sistema de Pausa**

Pressionando a tecla ESC:

- O jogo pausa/despausa
- Cursor do rato torna-se visível (modo pausa)
- Movimento e rotação da câmara são bloqueados

### 3.3.8 Transição de Cor Progressiva

Uma feature adicional implementada é a transição gradual da cor do ambiente à medida que o jogador se aproxima do portal. Este efeito visual cria feedback atmosférico e ajuda o jogador a perceber a proximidade ao objetivo.

#### Implementação:

- Cálculo da distância entre câmara e portal
- Normalização da distância (0-1) em relação à largura total do labirinto
- Aplicação de *smoothstep* para interpolação suave
- Transição de branco (normal) para roxo/místico (próximo do portal)
- Aplicação do *tint* no fragment shader antes do efeito de névoa

A função `GetEnvironmentTint()` calcula o fator de interpolação usando a fórmula:

$$t = t^2(3 - 2t) \quad (3.1)$$

Este *smoothstep* garante uma transição visual suave, sem mudanças abruptas de cor.

### 3.3.9 Texturas e Materiais

O jogo utiliza texturas PBR (Physically-Based Rendering) de alta qualidade (4K):

- **Paredes:** Textura de tijolos (Bricks101) com mapas de cor, normal e rugosidade
- **Chão:** Textura de pedras pavimentadas (PavingStones138)
- **Exterior:** Textura de relva (Grass005)

## 3.4 Documentação com Doxygen

O código está parcialmente documentado com comentários compatíveis com Doxygen. A classe `maze::kruskal` contém documentação Doxygen completa. Para gerar documentação HTML:

```
1 doxygen Doxyfile
```

**Nota:** A documentação Doxygen completa para todas as classes é um objetivo de trabalho futuro.



# Capítulo 4

## Conclusão e Trabalho Futuro

### 4.1 Conclusão

Este projeto atingiu com sucesso os seus objetivos principais, resultando numa aplicação 3D interativa funcional que demonstra a aplicação prática de conceitos fundamentais de computação gráfica.

#### 4.1.1 O que se Fez

As seguintes funcionalidades foram implementadas com sucesso:

- **Motor de Renderização 3D:** Sistema completo baseado em OpenGL com *pipeline* programável e shaders GLSL customizados.
- **Geração Procedural:** Implementação do algoritmo de Kruskal para geração de labirintos perfeitos, permitindo experiências únicas em cada execução.
- **Sistema de Iluminação:** Iluminação dinâmica tipo lanterna com atenuação realista e efeito de névoa atmosférica, criando uma atmosfera imersiva.
- **Networking Multiplayer:** Sistema de comunicação TCP entre host e cliente com mecânica de desbloqueio progressivo.
- **Câmera FPS:** Controlos de primeira pessoa intuitivos com movimento WASD e rotação com rato.
- **Ambiente 3D Completo:** Para além do labirinto, inclusão de ambiente exterior com árvores procedurais, portal arquitetônico e texturas realistas.
- **Interface de Utilizador:** Sistema de renderização de texto para diálogos e feedback ao jogador.
- **Física Básica:** Deteção de colisões e impedimento de atravessamento de paredes.
- **Texturas PBR:** Utilização de texturas de alta qualidade com mapas de normal e rugosidade para realismo visual.

- **Transição de Cor Progressiva:** Sistema de mudança gradual da cor do ambiente baseado na proximidade ao portal, proporcionando feedback visual atmosférico ao jogador.

O desenvolvimento deste projeto proporcionou aprendizagem valiosa em áreas como:

- Programação gráfica com OpenGL moderno
- Arquitetura de software para aplicações em tempo real
- Álgebra linear aplicada (transformações 3D, projeções)
- Programação de shaders GLSL
- Gestão de recursos (texturas, *meshes*, shaders)
- Networking com sockets TCP
- Algoritmos de geração procedural

## 4.2 Limitações e Trabalho Não Realizado

Apesar do sucesso geral do projeto, algumas limitações foram identificadas:

- **Documentação Doxygen Incompleta:** Apenas algumas classes possuem documentação Doxygen completa.
- **Otimização:** Não foram implementadas técnicas avançadas de otimização como *frustum culling* ou *occlusion culling*.
- **Sincronização de Rede:** O networking é assíncrono básico sem sincronização completa de posições entre jogadores.
- **Áudio:** Não foi implementado sistema de som ou música.
- **Modelos Complexos:** Os objetos 3D (árvores, portal) são procedurais simples, não modelos importados detalhados.
- **Interface Gráfica:** A interface é maioritariamente textual, sem HUD gráfico elaborado.

## 4.3 Trabalho Futuro

O projeto tem margem significativa para evolução. Sugestões para versões futuras incluem:

- **Níveis Múltiplos:** Sistema de progressão com múltiplos labirintos de dificuldade crescente.
- **Algoritmos Alternativos:** Implementação de outros algoritmos de geração (Prim, Recursive Backtracking, Eller) com seleção pelo utilizador.
- **Sincronização Completa de Rede:** Visualização da posição do outro jogador em tempo real na cena 3D.
- **Sistema de Áudio:** Música de fundo, efeitos sonoros de passos, sons ambientes.
- **Power-ups e Obstáculos:** Elementos de *gameplay* adicionais como chaves, portas trancadas, armadilhas.
- **Minimap:** Interface 2D mostrando o labirinto e posição do jogador.
- **Modelos 3D Importados:** Substituir geometria procedural por modelos artísticos de qualidade.
- **Shaders Avançados:** Implementar *shadow mapping*, *ambient occlusion*, *bloom*, e outros efeitos visuais.
- **Configuração Dinâmica:** Menu de configurações para ajustar resolução, qualidade gráfica, tamanho de labirinto.
- **Suporte VR:** Adaptação para *Virtual Reality* para experiência ainda mais imersiva.
- **Sistema de Partículas:** Efeitos visuais como poeiras, fagulhas, ou partículas mágicas no portal.
- **IA de Inimigos:** Adicionar entidades controladas por IA que perseguem o jogador.

#### 4.4 Considerações Finais

Este projeto demonstrou com sucesso a aplicação de conceitos de computação gráfica numa aplicação prática e interativa. A combinação de geração procedural, renderização 3D, iluminação dinâmica e networking resultou numa experiência de jogo funcional e tecnicamente interessante.

O desenvolvimento reforçou a importância de uma arquitetura de software bem estruturada, da gestão cuidadosa de recursos gráficos, e da compreensão profunda dos conceitos matemáticos subjacentes à computação gráfica 3D.

