

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA E INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA COMPUTACIONAL

Bruno Moraes Vasconcelos

PCGLab3D: Laboratório de Geração Procedural de Conteúdo em Godot

Juiz de Fora

2026

Moraes Vasconcelos, Bruno.

PCGLab3D: Laboratório de Geração Procedural de Conteúdo em Godot / Bruno Moraes Vasconcelos. - 2026.
61 f.

Orientador: Igor de Oliveira Knop

Coorientador: Marcelo Caniato Renhe

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia e Instituto de Ciências Exatas. Bacharelado em Engenharia Computacional, 2026.

1. Geração Procedural de Conteúdo. 2. Mapas de Influência. 3. Jogos Digitais. 4. Design de Nível. I. de Oliveira Knop, Igor, orient. II. Caniato Renhe, Marcelo, coorient. III. Título.

Bruno Moraes Vasconcelos

PCGLab3D: Laboratório de Geração Procedural de Conteúdo em Godot

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do curso de graduação em Engenharia Computacional da Faculdade de Engenharia e Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Computacional.

Orientador: Prof. Dr. Igor de Oliveira Knop

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Caniato Renhe

Juiz de Fora

2026

Bruno Moraes Vasconcelos

PCGLab3D: Laboratório de Geração Procedural de Conteúdo em Godot

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do curso de graduação em Engenharia Computacional da Faculdade de Engenharia e Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Computacional.

Aprovado em 14 de julho de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Igor de Oliveira Knop - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcelo Caniato Renhe - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. Dra. Flávia de Souza Bastos
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. Dra. Luciana Conceição Dias Campos
Universidade Federal de Juiz de Fora

A todos que acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelas oportunidades concedidas.

Aos meus pais, Alexandre Vasconcelos e Narcisa Saggioro, por acreditarem em mim em todos os momentos da minha vida, pelos ensinamentos, apoio, sustento, sacrifícios e dedicação de uma vida inteira, que me possibilitaram chegar até aqui.

À minha tia Sheila Saggioro, por, durante toda a minha vida, me apoiar e me incentivar a ir mais longe, por me ajudar e se fazer presente em minha vida, mesmo que muitas vezes de longe.

Ao meu avô Eduardo Moraes (*in memoriam*), que sempre acreditou no meu potencial e me incentivou. Mesmo não estando presente para compartilhar esta conquista, continuará sempre vivo em minha memória.

À minha namorada Mirjhenyfer Martins, por todo o suporte, confiança e carinho, por sempre oferecer cuidado e incentivo nos momentos difíceis. Sua presença fez toda a diferença durante esta etapa da minha vida.

Aos professores Igor Knop e Marcelo Caniato, pela orientação, pelos ensinamentos e pela paciência, primordiais para a realização deste trabalho.

A todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender ao longo da graduação, pela dedicação, pelos ensinamentos e por contribuírem para minha formação acadêmica e profissional. Em especial, às professoras Alessandra Oliveira, Flávia Bastos e Luciana Campos.

Aos amigos que fiz durante minha trajetória na UFJF, por todos os momentos bons e ruins compartilhados, pelas batalhas vencidas e perdidas juntos. Em especial, a Alexandre Braga, Allan Rodrigues, Andrew Buzinari, Ewerson Rodrigues, Felipe Iglesias e Jhuan Olimpio.

Aos amigos de fora da UFJF, por estarem também ao meu lado dia após dia, ajudando-me e apoiando-me, direta e indiretamente, e por todas as *gameplays* e momentos de descontração. Em especial, a Arthur Oliveira, Bernardo Castro, Caio Amaral, Caio Dutra, Matheus Cagnim, Thiago Lunardi e Vinícius Drummond.

*“Time is the giver and the thief
of all things.”*

*(McKane Davis & Kid Reverie,
Eye of the Universe)*

RESUMO

Introdução: A Geração Procedural de Conteúdo é uma abordagem consolidada no desenvolvimento de jogos digitais, capaz de produzir ambientes, itens e outros elementos de jogo por meio de algoritmos, reduzindo custos de produção para as editoras e ampliando a variabilidade para o jogador. **Objetivos:** Este trabalho realiza uma migração da ferramenta PCGLab para um motor de jogos popular, na busca de prover um ambiente que possa ser utilizado tanto na academia quanto na indústria. Adicionalmente, analisa quantitativa e qualitativamente duas estratégias de disposição de elementos nas salas em jogos *roguelike*. **Material e Métodos:** O ambiente original, bem como seus métodos de geração baseados em mapas de influência, foi adaptado para a Godot Engine 4. As análises numéricas e gráficos de resposta ao projetista foram refeitos e novos foram adicionados. Uma nova função de exportação de dados permite que análises numéricas possam ser realizadas também fora da ferramenta. **Resultados:** Este trabalho apresenta um novo laboratório para estudos em geração procedural de conteúdo, o PCGLab3D. Ele permite a geração, a análise e o teste de *dungeons* procedurais em um ambiente tridimensional discretizado com a coleta de métricas utilizando mapas de influência e caminhos que simulam a experiência do jogador, dando à indústria e à academia uma nova ferramenta para criar e comparar diferentes métodos de geração de conteúdo entre si.

Palavras-chave: Geração Procedural de Conteúdo. Mapas de Influência. Jogos Digitais. Design de Nível.

ABSTRACT

Introduction: Procedural Content Generation is a well-established approach in game development that uses algorithms to create environments, items, and other game elements, reducing production costs for developers while increasing gameplay variety for players. **Objectives:** This work presents the migration of the PCGLab tool to a widely used game engine, aiming to provide an environment suitable for both academic research and industry applications. In addition, it quantitatively and qualitatively analyzes two strategies for placing elements in *roguelike* rooms. **Materials and Methods:** The original environment, along with its generation methods based on influence maps, was adapted to Godot Engine 4. The numerical analyses and designer feedback charts were recreated, and new ones were added. A new data export feature was also implemented, allowing numerical analyses to be performed outside the tool. **Results:** This work introduces PCGLab3D, a new laboratory for Procedural Content Generation research. It supports the generation, analysis, and testing of procedural *dungeons* in a discretized three-dimensional environment, where metrics are collected using influence maps and player paths that simulate the player's experience. This provides both industry and academia with a new tool for creating and comparing different content generation methods.

Keywords: Procedural Content Generation. Influence Maps. Digital Games. Level Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

2.1	Sala de uma masmorra gerada no PCGLab.	22
3.1	<i>Assets</i> utilizados na <i>dungeon</i>	26
4.1	PCGLab 3D: modo de edição e modo jogável.	29
4.2	Diagrama simplificado <i>Procedural Content Generation Laboratory 3D</i> (PCGLab 3D). Relações 1:1.	30
4.3	Exemplos de salas geradas pelo gerador geométrico (retangular, em cruz e em T).	31
4.4	Exemplos de salas geradas pelo gerador por Autômatos Celulares.	32
4.5	Decaimento de influência de um elemento.	34
4.6	Exemplos de mapa de calor representando influências.	34
4.7	Sala com posicionamento aleatório de elementos.	35
4.8	Mapas de influência de moedas somados em um cenário de atração e outro de repulsão.	37
4.9	Sala com posicionamento de elementos por mapas de influência.	38
4.10	Caminho direto entre portais em uma sala de exemplo.	39
4.11	Caminho explorador em uma sala de exemplo.	40
4.12	Caminho livre realizado por um jogador em uma sala de exemplo.	40
5.1	Mapas de calor de uma mesma sala da <i>seed</i> utilizada com estratégias de posicionamento diferentes.	44
5.2	Gráficos estatísticos relativos às amostras obtidas por meio do caminho livre de seis jogadores além dos caminhos explorador e direto.	45
5.3	Perfil dos participantes do experimento obtido por meio do questionário após sessão de jogo.	47
5.4	Respostas às perguntas 1 e 2 do formulário de percepção de diferença.	48
5.5	Percepção de desafio e diversão com posicionamentos aleatório e baseado em mapas de influência.	49
5.6	Percepção de diferença do posicionamento de standartes (pontos de recarga de energia) entre um cenário e outro.	49
5.7	Boxplots de comparação entre geradores, posicionamento, caminhos e tamanhos de sala.	51

5.8 Média de influência ao longo do percurso normalizado em salas de tamanhos diferentes criadas pelo gerador geométrico.	51
---	----

LISTA DE TABELAS

3.1	Especificações do ambiente computacional utilizado.	25
5.1	Configurações dos experimentos realizados.	42
5.2	Faixas de dimensão (em ladrilhos) configuradas para cada tamanho de sala. . .	43
5.3	Influência média e desvio padrão no caminho explorador de cada sala (50 seeds - 400 salas para cada combinação de Gerador/Tamanho/Posicionamento). .	52

SIGLAS

BFS *Breadth First Search*. 20, 33, 36

FIFO *First In First Out*. 20

GPC *Geração Procedural de Conteúdo*. 18, 19

PCG *Procedural Content Generation*. 14–16

PCGLab 3D *Procedural Content Generation Laboratory 3D*. 8, 17, 28, 30, 54

PCV *Problema do Caixeiro Viajante*. 21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	15
1.2	Objetivos	16
1.3	Organização do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Jogos Digitais, <i>Dungeon Crawlers</i> e <i>Roguelikes</i>	17
2.2	<i>Level Design</i>	17
2.3	Geração Procedural de Conteúdo (GPC)	18
2.4	Autômatos Celulares	19
2.5	Busca em Largura (BFS)	20
2.6	Pathfinding - Algoritmo A*	21
2.7	Problema do Caixeiro Viajante	21
2.8	Trabalhos Relacionados	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Ferramentas e Tecnologias	25
3.2	Métricas de Avaliação e Análise dos Dados	26
4	DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA.....	28
4.1	Funcionamento do Sistema	28
4.2	Design de Nível	30
4.3	Geradores Procedurais	31
4.3.1	Gerador Geométrico	31
4.3.2	Gerador Baseado em Autômatos Celulares	32
4.4	Influência de Elementos	33
4.5	Posicionamento de Elementos	35
4.5.1	Posicionamento Aleatório	35
4.5.2	Posicionamento por Mapas de Influência	36
4.6	Caminhos Analíticos	38

4.6.1	Caminho Direto	39
4.6.2	Caminho Explorador	39
4.6.3	Caminho Livre	40
5	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	41
5.1	Avaliação Qualitativa - Experimento 1	41
5.2	Avaliação Quantitativa - Experimento 2	41
5.3	Resultados dos Experimentos	43
5.3.1	Experimento 1	43
5.3.1.1	<i>Análise Qualitativa Visual dos Mapas de Influência</i>	43
5.3.1.2	<i>Análise de Caminhos</i>	44
5.3.1.3	<i>Experiência dos Jogadores</i>	46
5.3.2	Experimento 2	50
5.4	Discussão Geral dos Resultados	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6.1	Limitações	54
6.2	Trabalhos Futuros	55
	APÊNDICES	57
A	Formulário de Avaliação da Experiência do Usuário	58

1 INTRODUÇÃO

O mercado de jogos é massivo e vem crescendo ano após ano, superando indústrias gigantes como cinema e música. Em 2025, o setor teve sua receita estimada em U\$197 bilhões (+7,5% em relação ao ano anterior), com uma estimativa de aproximadamente 3,6 bilhões de jogadores (+4,4% em relação ao ano anterior) distribuídos entre PC, console e dispositivos móveis. No mesmo ano, projetou-se que, até 2028, o aumento destes valores seria para U\$227,2 bilhões e aproximadamente 3,9 bilhões de jogadores (Newzoo, 2025). O Brasil acompanha o cenário mundial, aparecendo, em 2025, em nono lugar no ranking de maiores receitas da indústria de jogos, com aproximadamente U\$2,8 bilhões, contando com 123,3 milhões de jogadores, segundo a mesma fonte.

Com cada vez mais pessoas jogando ao redor do mundo, é natural que o número de estúdios de desenvolvimento de jogos digitais tenda a crescer. A 2ª Pesquisa Nacional da Indústria de Games (Abragames e ApexBrasil, 2023) mapeou que, em 2023, havia no Brasil 1042 desenvolvedoras distribuídas em todo o território nacional, com maior concentração no sudeste do país (56% dos estúdios).

Nesse cenário, cada vez mais, a qualidade e a variedade da experiência oferecida ao jogador tornam-se diferenciais competitivos fundamentais. Um dos principais desafios encontrados por desenvolvedores é a criação de conteúdo suficientemente diverso a fim de manter a atenção e o engajamento de quem joga, sem que isso implique um custo elevado de tempo e dinheiro voltado para a produção manual.

Surge, nesse contexto, a Geração Procedural de Conteúdo do inglês, *Procedural Content Generation* (PCG), como uma abordagem consolidada, capaz de produzir elementos que compõem um jogo por meio de algoritmos e parâmetros predefinidos. Sua utilização no desenvolvimento de jogos é apontada como uma alternativa capaz de reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento em até 40% (Pereira *et al.*, 2021). Essa otimização torna-se muito vantajosa para estúdios independentes e pequenas desenvolvedoras, uma vez que a restrição orçamentária e de pessoal dessas equipes muitas vezes dificulta a criação manual massiva de detalhes e ativos, como imagens, modelos e áudios (Lazaridis e Fragulis, 2024).

Além da melhora na etapa de produção do jogo, existe, no pós-venda, um fator muito positivo na utilização de um algoritmo para a geração de conteúdo em um jogo: o possível aumento da rejogabilidade. Em um cenário com cada vez mais jogadores e

desenvolvedoras, um jogo que apresenta elementos que variam a cada partida tende a diminuir a sensação de repetição e monotonia, contribuindo para que os jogadores fiquem mais tempo engajados.

A PCG não é exclusividade apenas de um gênero ou subgênero de jogos. Na verdade, diversos a utilizam, porém, alguns se destacam por usá-la com maior frequência, dada sua própria natureza. Dentre esses, pode-se citar o gênero *roguelike* (e sua versão mais moderna, *roguelite*), que está historicamente ligado à geração procedural de conteúdo, na medida em que os níveis de cada partida são gerados aleatoriamente. Além desses, jogos com mundo aberto e exploração de ambientes podem ser muito favorecidos na geração do ambiente e na disposição dos elementos no mesmo. Os *dungeon crawlers*, gênero em que o jogo de testes deste trabalho busca se situar, se encaixam nesse contexto por terem foco na exploração de labirintos e masmorras. Os gêneros citados acima são melhor explorados na Seção 2.1.

1.1 MOTIVAÇÃO

Embora a geração procedural de ambientes, como salas de *dungeons*, seja um problema relativamente bem explorado na literatura e na indústria, o posicionamento de elementos dentro desses ambientes ainda possui mais lacunas a serem exploradas. De acordo com Shi e Crawfis (2013), o posicionamento de objetos na fase impacta diretamente a jogabilidade, além disso, como visto em Liapis *et al.* (2013), o balanceamento da fase é fortemente influenciado pela distribuição espacial dos elementos do ambiente. Dessa forma, a distribuição de inimigos, itens e pontos de interesse impacta diretamente o equilíbrio do jogo e, consequentemente, a experiência do jogador.

Nesse contexto, ainda há desafios na modelagem e análise da relação entre características do conteúdo gerado, incluindo sua distribuição espacial e a experiência ou comportamento do jogador (Yannakakis e Togelius, 2011). Ferramentas que permitem aos desenvolvedores visualizar, analisar e comparar diferentes algoritmos de geração procedural do ambiente e estratégias de posicionamento em ambientes tridimensionais fazem-se muito valiosas.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho busca prover um meio para que diferentes métodos de PCG possam ser comparados em um mesmo contexto. Isso é buscado por meio da migração do PCGLab para um motor de jogos popular. Um motor de jogos é um software que fornece ferramentas e mecanismos essenciais para desenvolver, executar e gerenciar jogos digitais.

Busca-se realizar a implementação com uma nova abordagem adaptada para um mundo 3D, introduzindo novos mecanismos de análise de caminhos, posicionamento de itens e aprofundando a comparação entre diferentes estratégias. Para isso, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Fazer a migração do PCGLab, com suas funções principais, para o motor popular, Godot Engine 4 (Godot Engine, 2026);
- Realizar a implementação de alguns métodos de geração de salas;
- Implementar os sistemas de métricas baseados em mapas de influência para realizar as comparações;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta monografia está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, foi apresentado o contexto no qual este trabalho está inserido, apresentando suas motivações e seus objetivos. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando conceitos fundamentais relacionados a jogos, geração procedural de conteúdo e alguns outros conceitos. O Capítulo 3 descreve os materiais utilizados e os métodos adotados, incluindo as tecnologias escolhidas e detalhes da pesquisa. O Capítulo 4 detalha o desenvolvimento do software e a descrição dos módulos implementados, trazendo também algumas definições úteis para os experimentos. O Capítulo 5 detalha os experimentos e discute os resultados obtidos, comparando as diferentes abordagens. Por fim, o Capítulo 6 traz as conclusões e limitações encontradas, além de perspectivas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos teóricos que fundamentam o desenvolvimento do PCGLab 3D. Dentro do contexto deste trabalho, os tópicos abordam desde assuntos um pouco mais gerais, como jogos digitais e *level design*, até algoritmos específicos utilizados na geração procedural de ambientes, no posicionamento dos elementos e na análise de caminhos.

2.1 JOGOS DIGITAIS, *DUNGEON CRAWLERS* E *ROGUELIKES*

Uma possível definição para jogo, que tange o ramo da filosofia, é a de uma atividade livre, conscientemente tomada como “não-séria” e exterior à vida habitual, mas que absorve o jogador de maneira intensa e total, praticada dentro de limites espaciais e temporais próprios, segundo uma certa ordem e certas regras (Huizinga, 2019).

No contexto digital, essa definição se expande para considerar a presença de sistemas computacionais interativos nos quais o usuário atua dentro de um ambiente simulado, recebendo *feedbacks* em tempo real de acordo com suas decisões. Segundo Salen e Zimmerman (2012), um jogo pode ser definido como um sistema no qual os jogadores se envolvem em um conflito artificial, definido por regras que implicam um resultado quantificável.

Dentro do universo de jogos digitais, existem diversos gêneros que possuem estruturas, mecânicas e *design* distintos. É um gênero muito popular e, no escopo deste trabalho, pode-se citar os *dungeon crawlers*¹. Neste gênero, os jogadores se aventuram por uma série de salas populadas por monstros e armadilhas para conseguir acumular tesouros ou cumprir missões. O gênero surgiu na década de 70 e se popularizou com o jogo *Rogue*² (daí surge o termo *roguelike*) e é muito popular até hoje, com a série *Diablo* e *Hades*. Uma das características mais marcantes desses jogos continua sendo a exploração, fruto da aleatorização dos encontros e cenários, que causa a constante sensação de descoberta nos jogadores.

2.2 *LEVEL DESIGN*

Totten (2019) define *level design* como a execução cuidadosa da jogabilidade em um

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Dungeon_crawl

²[https://en.wikipedia.org/wiki/Rogue_\(video_game\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rogue_(video_game))

espaço de jogo para que os jogadores possam vivenciá-lo. Isto é, trata-se do processo de transformar mecânicas e ferramentas em um espaço navegável que enriqueça a experiência do jogador. Sendo assim, vai muito além da organização e definição geométrica do ambiente em que o jogador habita, envolvendo a análise do fluxo de navegação, o ritmo de progressão, a comunicação do ambiente com o jogador e a distribuição de desafios e recompensas.

No contexto dos *dungeon crawlers*, o *level design* adquire características particulares. Os ambientes são frequentemente fechados e com visibilidade limitada. A disposição de elementos dentro de uma sala, como a posição de inimigos em relação às recompensas e a localização de itens coletáveis e pontos de interesse, afeta diretamente a percepção de dificuldade e, conseqüentemente, a experiência do jogador (Kremers, 2009).

Essa interdependência espacial entre elementos é o que torna o seu posicionamento uma decisão de *level design* relevante. Um inimigo próximo à entrada de uma sala produz uma experiência distinta de um inimigo posicionado em um canto da mesma. Da mesma forma, um inimigo posicionado em uma zona de alto interesse cria um desafio mais interessante do que um inimigo posicionado em uma zona desinteressante para o jogador. Essa dimensão espacial é justamente o que o sistema de mapas de influência busca modelar, visando explicitar as relações entre elementos que, em um processo de criação manual da fase, seriam avaliadas intuitivamente por um *designer*.

2.3 GERAÇÃO PROCEDURAL DE CONTEÚDO (GPC)

A *Geração Procedural de Conteúdo* (GPC) pode ser definida como a criação algorítmica de conteúdo de jogo com entrada limitada ou indireta do usuário. Em outras palavras, como dito em Shaker *et al.* (2016), GPC se refere a um software capaz de criar conteúdo para um jogo por conta própria ou em conjunto com um jogador ou *designer*. A GPC diferencia-se assim da criação manual por delegar a um algoritmo a responsabilidade de produzir elementos como mapas, inimigos e itens, com base em parâmetros definidos previamente.

A utilização de GPC tem vantagens, como a redução de custos e tempo de desenvolvimento, aumentar a variedade de conteúdo, a possibilidade de ampliar a rejogabilidade, auxiliar principalmente pequenos times no processo de criação e ainda possibilitar conteúdo adaptado à preferência dos jogadores (Shaker *et al.*, 2016).

Entretanto, esses sistemas enfrentam desafios em relação ao controle do processo de geração e à garantia de qualidade do conteúdo produzido, demandando mecanismos, como a proposta deste trabalho, que permitam a avaliação e validação do que foi gerado.

Com o objetivo de organizar e caracterizar diferentes abordagens de geração procedural de conteúdo, Shaker *et al.* (2016) propõe uma espécie de taxonomia composta por múltiplas dimensões de classificação divididas em pares. A GPC pode ser definida como geração *offline* ou *online*, conteúdo necessário ou opcional, geração genérica ou adaptativa, métodos determinísticos ou estocásticos, abordagens construtivas ou baseadas em geração e teste, além de sistemas automáticos ou mistos.

De acordo com a taxonomia citada, a abordagem desenvolvida neste trabalho pode ser caracterizada como uma técnica de geração procedural necessária, pois produz elementos essenciais para a jogabilidade, genérica por não ter relação com o comportamento do jogador e automática, uma vez que a geração acontece sem intervenção do desenvolvedor. Além disso, a abordagem enquadra-se na categoria de métodos construtivos, pois produz diretamente o layout e a distribuição dos elementos da *dungeon* por meio de regras e mapas de influência, sem utilizar ciclos iterativos de geração e avaliação.

2.4 AUTÔMATOS CELULARES

Os autômatos celulares constituem uma classe de modelos computacionais discretos nos quais o estado de cada célula evolui ao longo do tempo, seguindo regras locais de transição aplicadas de acordo com a vizinhança (Wolfram, 2002). Esse modelo demonstra como regras locais simples podem produzir comportamentos extremamente variados e com grande complexidade.

Formalmente, um Autômato Celular pode ser definido como a quádrupla $A = (\Gamma, D_0, E, f_0)$, onde Γ representa a grade de células, D_0 define a vizinhança considerada, E é o conjunto finito de estados possíveis e $f_0 : E^{D_0} \rightarrow E$ é a função local de transição responsável por determinar o próximo estado de uma célula a partir dos estados presentes em sua vizinhança (Haderer e Müller, 2018). Em grades bidimensionais, os dois tipos de vizinhança mais utilizados são a vizinhança de von Neumann, que considera apenas os quatro vizinhos ortogonais, e a vizinhança de Moore, que considera oito vizinhos, incluindo as diagonais.

Na geração procedural de *dungeons*, os autômatos celulares são frequentemente

empregados para produzir ambientes com aparência orgânica, como cavernas e masmorras irregulares, como o visto em Johnson *et al.* (2010) e da Costa e de Oliveira Knop (2020). O processo típico consiste em inicializar uma grade de células aleatoriamente, atribuindo a cada célula o estado de parede com probabilidade p e o estado de chão com probabilidade $1 - p$. Dada uma configuração inicial de grade, a função local é aplicada iterativamente para atualizar o estado de cada célula de acordo com sua vizinhança. Essa função pode ser descrita como:

$$f_0(x, y) = \begin{cases} \text{parede,} & \text{se } W(x, y) \geq \theta \\ \text{chão,} & \text{caso contrário} \end{cases}, \quad (2.1)$$

onde $W(x, y)$ representa a quantidade de células da vizinhança de Moore de (x, y) que se encontram no estado parede, e θ corresponde ao número mínimo de vizinhos no estado parede necessário para que a célula seja classificada como parede na próxima iteração.

2.5 BUSCA EM LARGURA (BFS)

O *Breadth First Search* (BFS) é um algoritmo clássico de exploração de grafos que, a partir de um vértice de origem s , descobre sistematicamente todos os vértices alcançáveis, visitando-os em ordem crescente de distância em número de arestas. O algoritmo utiliza uma fila *First In First Out* (FIFO) para armazenar os vértices descobertos cujas listas de adjacência ainda não foram completamente examinadas. A cada iteração, um vértice é removido da frente da fila e seus vizinhos ainda não descobertos são inseridos ao final da fila. Dessa forma, todos os vértices à distância k da origem são descobertos antes de qualquer vértice à distância $k + 1$ (Cormen *et al.*, 2009).

A complexidade de tempo do BFS é $O(V + E)$, onde V representa o número de vértices e E o número de arestas do grafo (Cormen *et al.*, 2009). Em grades bidimensionais com movimentação ortogonal, cada célula corresponde a um vértice e possui grau limitado por uma constante, implicando $E = O(V)$ e, consequentemente, uma complexidade total $O(V)$.

2.6 PATHFINDING - ALGORITMO A*

O problema de *pathfinding* consiste em determinar um caminho entre um ponto de origem e um de destino, respeitando obstáculos e, normalmente, buscando minimizar um custo associado ao percurso, como distância ou tempo (Millington e Funge, 2009). Em jogos digitais, algoritmos de *pathfinding* são empregados, usualmente, para a navegação de agentes autônomos, bem como para a análise estática de rotas.

O algoritmo A* utiliza uma função de avaliação que combina o custo acumulado do caminho percorrido com uma estimativa heurística do custo restante até o objetivo (Hart *et al.*, 1968). A função de avaliação é apresentada na equação 2.2:

$$f(n) = g(n) + h(n), \quad (2.2)$$

onde $g(n)$ representa o custo acumulado desde a origem até o nó n e $h(n)$ corresponde à estimativa do custo restante até o objetivo.

Quando a heurística utilizada não superestima o custo real restante, o algoritmo é capaz de encontrar um caminho ótimo (Hart *et al.*, 1968). Neste trabalho, utiliza-se a heurística de Manhattan, definida na equação 2.3:

$$h(n) = |x_n - x_d| + |y_n - y_d|, \quad (2.3)$$

onde (x_n, y_n) e (x_d, y_d) são as coordenadas do nó atual e do destino, respectivamente.

2.7 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Cormen *et al.* (2009) define que no *Problema do Caixeiro Viajante* (PCV) clássico onde busca-se determinar um ciclo de custo mínimo que visite um conjunto de vértices, exatamente uma vez, e retorne ao vértice de origem. O problema é classificado como NP-difícil, e algoritmos exatos tornam-se computacionalmente inviáveis para instâncias de grande porte devido ao elevado crescimento do espaço de busca.

Como visto em Bock *et al.* (2025), há uma variação do PCV original em que propõe-se a partida de um ponto inicial, seguida da visita aos vértices específicos e depois a ida até um vértice final ao invés do retorno à origem. Por tratar-se de um problema NP-difícil, heurísticas são frequentemente empregadas para obter soluções de boa qualidade

em tempo computacional viável, embora não garantam a obtenção do ótimo global. Uma destas é a heurística do vizinho mais próximo, que seleciona iterativamente o ponto de interesse mais próximo do nó atual.

2.8 TRABALHOS RELACIONADOS

Alguns trabalhos relacionados podem ser evidenciados, a começar pelo de da Costa e de Oliveira Knop (2020) que inspira este trabalho, onde um sistema desenvolvido com o intuito de investigar a distribuição espacial dos elementos gerados e de que modo essa geração influencia na experiência do jogador. Essa ferramenta operava sob uma perspectiva bidimensional (2D), conforme ilustrado na Figura 2.1, apresentando matrizes de distância em uma grade de células.

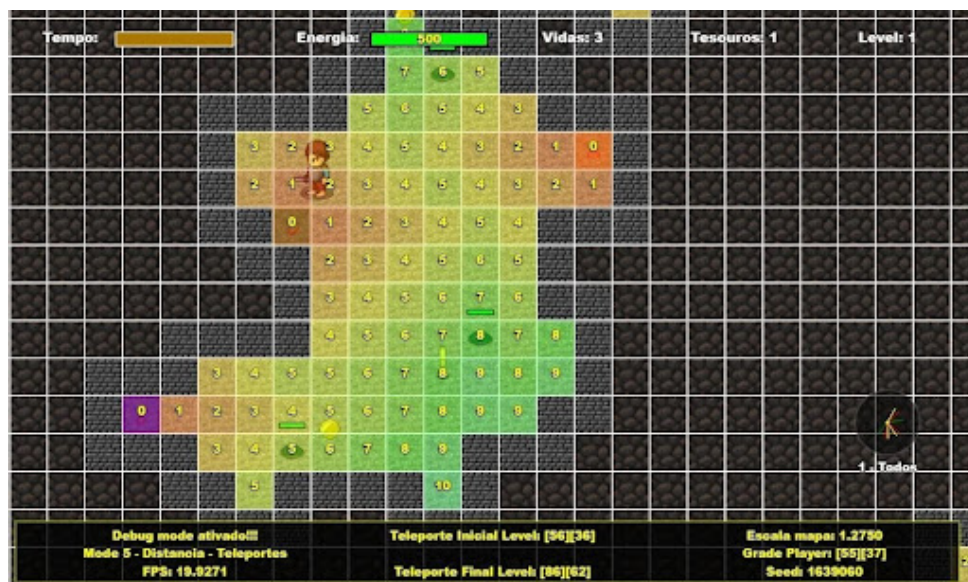


Figura 2.1: Sala de uma masmorra gerada no PCGLab.

Fonte: da Costa e de Oliveira Knop (2020).

O ambiente do PCGLab mencionado acima foi utilizado em diferentes pesquisas e trabalhos como ferramenta para análise de algoritmos e mecânicas à medida que foi construído. Nesse sentido, podemos citar o trabalho de Verde (2021) e o de Santana (2021). O primeiro foca em analisar o impacto da técnica de *Wave Function Collapse* para geração das salas na experiência do jogador. Enquanto o segundo investiga o estado de fluxo de quem joga com as salas geradas por meio de Autômatos Celulares.

Fora do ambiente do PCGLab, podemos citar o trabalho de de Almeida Cunha (2023) que investiga abordagens práticas para a integração de quebra-cabeças gerados de forma

totalmente procedural dentro de estruturas de jogos do estilo *roguelike*. O foco principal está em garantir que os desafios, gerados por algoritmos, mantenham a coerência lógica, sejam completamente solucionáveis pelo jogador e se adaptem à aleatoriedade do gênero, enriquecendo a experiência de jogo sem bloquear a progressão.

Já o trabalho de Rezende da Silva (2021) apresenta uma análise comparativa sobre a aplicação de algoritmos de geração procedural de conteúdo focada nas mecânicas e no *level design* dos subgêneros *Roguelike* e *Metroidvania*. A pesquisa explora os desafios técnicos de equilibrar a imprevisibilidade e a alta rejogabilidade dos mapas gerados por algoritmos com a necessidade de progressão por habilidades e chaves, que é o design de nível principal em jogos *Metroidvania*.

Por último, podemos citar o trabalho Khalifa *et al.* (2025), que é um pouco mais recente e introduz o PCG Benchmark, uma plataforma de testes aberta e padronizada voltada para avaliar algoritmos de geração procedural de conteúdo. Ele aborda 12 problemas e mecânicas de jogos reais (como estruturas de níveis estilo Super Mario, Zelda e Sokoban) para servir de base comparativa unificada. A ferramenta quantifica os resultados por meio de testes automatizados e agentes que medem três pilares cruciais: a viabilidade (se o nível é jogável), a diversidade (variedade do conteúdo gerado) e a controlabilidade (o quanto o gerador obedece a restrições de design).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada, voltada ao desenvolvimento de uma ferramenta de software com finalidade analítica de masmorras geradas proceduralmente. Do ponto de vista de seus objetivos, classifica-se como exploratória e experimental, uma vez que busca investigar o comportamento e o impacto de diferentes abordagens de geração procedural de conteúdo e posicionamento de elementos em um ambiente tridimensional, comparando seus resultados por meio de métricas.

A abordagem adotada é mista, com avaliação quantitativa e qualitativa. A parte quantitativa é realizada por meio da geração de múltiplas *dungeons* com diferentes configurações de salas, posicionamentos de elementos e avaliação das influências ao longo de caminhos de análise. Já a parte qualitativa se dá por meio da inspeção visual do autor e de teste com alguns participantes.

Essa pesquisa foi realizada com graduandos de Engenharia Computacional, sem distinção quanto a qualquer outra característica, que aceitaram participar percorrendo as salas no modo jogável e, depois, respondendo a um formulário. Ressalta-se ainda que o teste por parte destes participantes ocorreu utilizando-se o computador do autor, com configurações descritas em 3.1.

A abordagem se justifica pela natureza do principal tópico investigado: o impacto do uso de mapas de influência no posicionamento de elementos em um jogo gerado proceduralmente. Esse impacto não pode ser capturado exclusivamente por métricas numéricas, pois a experiência no jogo é percebida individualmente por cada jogador. Ao mesmo tempo, a percepção qualitativa sozinha não permite generalizações sobre o comportamento de um algoritmo.

Com o intuito de desenvolver a ferramenta e atender aos objetivos estabelecidos na Seção 1.2, foram definidos alguns passos a serem seguidos:

- Desenvolver a aplicação com dois modos principais
 - Modo de edição para geração, edição e análise;
 - Modo jogável para validação da experiência do jogador e captura do caminho realizado por ele.
- Implementar dois geradores de salas da *dungeon*;

- Desenvolver um sistema de mapas de calor para avaliação da influência espacial dos elementos;
- Implementar duas estratégias de posicionamento de elementos nas salas;
- Desenvolver um módulo de *pathfinding* para análise dos caminhos nas salas;
- Oferecer visualização interativa nas salas dos mapas de calor e caminhos calculados;
- Oferecer visualização em gráficos dos valores do mapa de calor dos caminhos.

3.1 FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS

O software foi desenvolvido na Godot Engine 4, na versão 4.6, motor de jogos gratuita e de código aberto. A escolha da Godot em relação a alternativas como Unity e Unreal Engine justifica-se por três fatores principais: a ausência de custos de licenciamento ou *royalties*, o que é relevante para um projeto acadêmico sem fins comerciais; a disponibilidade nativa do nó `GridMap`, que consiste um ambiente tridimensional discretizado em células; e a presença de módulos prontos que facilitam o trabalho de construção da ferramenta, como `AStarGrid2D` que calcula o algoritmo A* em uma malha discretizada e `NavigationAgent3D` para navegação autônoma de personagens não jogáveis. A linguagem utilizada dentro da *engine* é o GDScript, nativa da Godot, com sintaxe parecida com a do Python e tipagem opcional.

Para a execução dos testes e o desenvolvimento das atividades descritas neste trabalho, utilizou-se um ambiente computacional específico. As especificações de hardware e o sistema operacional da máquina utilizada estão detalhados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Especificações do ambiente computacional utilizado.

Componente / Recurso	Descrição / Especificação
Processador (CPU)	Intel Core i5 (12 ^a geração)
Memória RAM	16 GB
Placa de Vídeo (GPU)	NVIDIA GeForce RTX 2050
Sistema Operacional	Microsoft Windows 11

Dentro do contexto da análise de dados após exportação pelo sistema, optou-se pela utilização da linguagem Python (3.14.2), em razão de seu ecossistema consolidado de

bibliotecas para manipulação e visualização de dados. As principais bibliotecas utilizadas foram **pandas**, **numpy**, **seaborn** e **matplotlib**.

Já a base técnica de edição do sistema partiu de um jogo base gratuito intitulado *City Builder Starter Kit* (Kenney, 2024b), originalmente voltado à construção manual de cenários sobre um **GridMap**. Dessa base foram reaproveitados a lógica de construção dinâmica de uma **MeshLibrary** (conjunto de modelos que podem preencher o **GridMap**) a partir de um conjunto de cenas que podem compor a cena principal, o sistema de seleção e rotação do cursor de construção e a câmera de edição com movimentação livre. Os modelos tridimensionais originais foram todos substituídos pelos que compõem o pacote intitulado *Kenney Mini Dungeon* (Kenney, 2024a) e mais compatível com a temática de masmorras do projeto. A Figura 3.1 mostra esses modelos utilizados. Essa base de edição manual permaneceu disponível ao longo de todo o desenvolvimento como ferramenta auxiliar de teste, sendo progressivamente conectada aos módulos de geração procedural descritos nas seções seguintes.

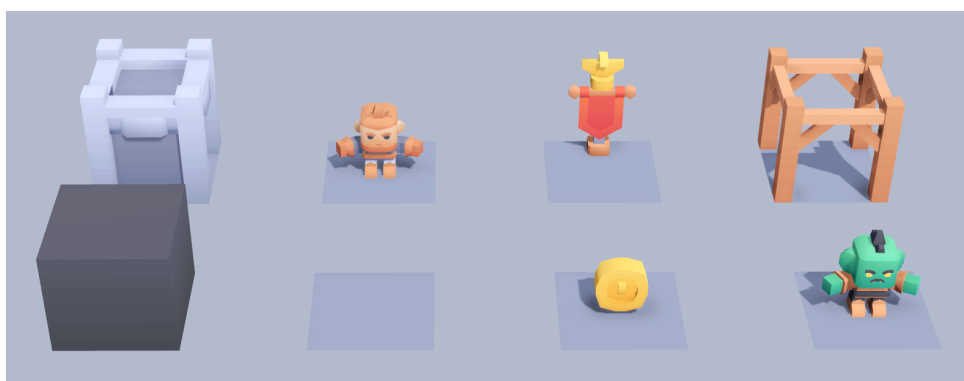


Figura 3.1: *Assets* utilizados na *dungeon*.

Fonte: Do autor.

3.2 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

As métricas utilizadas para a comparação entre as configurações experimentais são a influência média por célula do caminho, calculada para permitir comparações entre caminhos de comprimentos distintos; a dispersão e variabilidade da influência ao longo do caminho, avaliada por meio do desvio padrão e do intervalo interquartil dos valores coletados, o que permite mensurar a estabilidade da experiência do jogador e distinguir caminhos de médias similares mas com comportamentos distintos; e a percepção dos jogadores, coletada como *feedback* subjetivo ao final de cada sessão de jogo conduzida na

avaliação qualitativa, de forma comparativa entre a sessão com posicionamento aleatório e a sessão com posicionamento por mapas de influência explicado posteriormente neste trabalho.

Com a avaliação dessas métricas, realizam-se dois procedimentos principais. Primeiro, compara-se a influência média ao longo dos caminhos obtidos por dois geradores de *dungeon* distintos, combinados com as duas estratégias de posicionamento de elementos distintas e três tamanhos de sala (pequeno, médio e grande), analisando também a distribuição dos valores por meio do desvio padrão e do intervalo interquartil, de modo a investigar a influência dessas variações nas estratégias de posicionamento de elementos. Em seguida, cruza-se o *feedback* qualitativo dos participantes com a distribuição de influência observada em seus trajetos durante o jogo, comparando-a com caminhos analíticos simulados, buscando identificar relações entre a percepção subjetiva de experiência e os dados coletados pelo sistema.

4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

Este capítulo apresenta o desenvolvimento da ferramenta PCGLab 3D, descrevendo inicialmente a organização do sistema e o *design* de nível com os elementos jogáveis e suas interações. Abordam-se também os geradores procedurais, as estratégias de posicionamento de elementos e a parte de análise de caminhos dentro das salas.

4.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A ferramenta possui dois modos de funcionamento: modo de edição e análise, e modo jogável. O primeiro, visto na Figura 4.1a, oferece a possibilidade de gerar as *dungeons*, visualizar mapas de calor e inspecionar caminhos calculados. Já o modo jogável, exibido na Figura 4.1b, permite ao usuário controlar um personagem e percorrer as salas na prática, conforme o design de nível estabelecido na Seção 4.2.

Em relação à sua estrutura, o sistema é organizado em torno do **GridMap** tridimensional e discreto (células de tamanho 1m x 1m) sobre o qual operam os módulos de geração, posicionamento, análise e visualização. A Figura 4.2 apresenta um diagrama simplificado dos principais módulos do software e seus relacionamentos.

Dois módulos, **UGen** e **UHeat**, mantêm o estado compartilhado entre os módulos ao longo da execução. O **UGen** concentra as variáveis e métodos de configuração das salas, além de estruturas de dados que armazenam as salas geradas e a posição dos elementos. Já o **UHeat** é responsável pelas variáveis e métodos relacionados aos mapas de influência.



(a) Modo de edição.



(b) Modo jogável.

Figura 4.1: PCGLab 3D: modo de edição e modo jogável.
Fonte: Do autor.

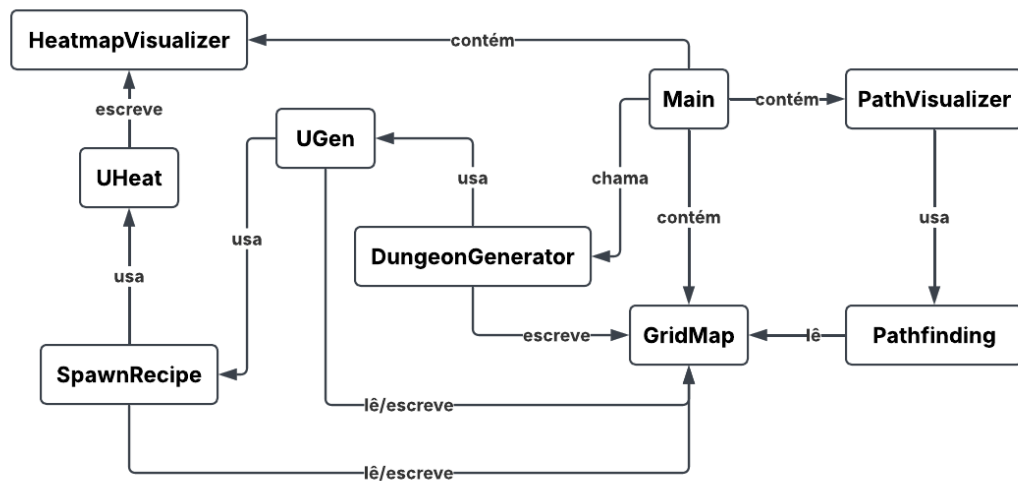


Figura 4.2: Diagrama simplificado PCGLab 3D. Relações 1:1.

Fonte: Do autor.

4.2 DESIGN DE NÍVEL

O PCGLab 3D realiza a construção procedural dos mapas, criando e conectando um número de salas isoladas em uma *dungeon*. O jogador nasce em uma das salas e visa navegar pelo mapa, coletando recompensas e administrando os desafios. Um exemplo de local de nascimento pode ser visto na Figura 4.1a, evidenciado com o número 5. Para tanto, cada sala é populada com quatro elementos básicos, garantindo a navegação, recompensas e desafios. Estão destacados também por números na Figura 4.1a, que é um exemplo de cada um desses elementos. As moedas (Figura 4.1a, número 1) atuam como objetivos para o jogador, que as visa coletar durante o percurso. Os inimigos (Figura 4.1a, número 2), por sua vez, perseguem e atacam o jogador, retirando um coração de vida a cada acerto sofrido. O jogador pode fugir ou atacar os inimigos, retirando também um coração de vida deles. Já os estandartes (Figura 4.1a, número 3) estão associados a uma barra de energia do jogador, a qual decai continuamente com o tempo e pode ser recarregada quando o jogador se aproxima de um desses elementos. Por fim, os portais (Figura 4.1a, número 4) são responsáveis por transferir o jogador entre salas distintas, cumprindo também a função de recarregar a barra de energia, da mesma forma que os estandartes.

4.3 GERADORES PROCEDURAIS

Antes de posicionar os elementos nas salas, é realizada a geração procedural da geometria da sala (chão e paredes), que pode ser feita por dois métodos independentes: o gerador geométrico e o gerador por autômatos celulares. Ambos realizam a configuração das salas, que devem ser desconectadas fisicamente, e exportam a lista de ladrilhos navegáveis em cada uma. Esta última é consumida pelos demais módulos.

4.3.1 Gerador Geométrico

O gerador geométrico é um método que não existia no PCGLab, e o mesmo constrói salas a partir de três formas possíveis: retangular, em cruz e em T. A cada tentativa de criação de uma sala, um dos três tipos é sorteado aleatoriamente, e seus parâmetros de largura e comprimento são sorteados dentro de faixas mínimas e máximas configuráveis.

Após a geração de uma forma candidata, verifica-se sua validade: ela não pode ultrapassar os limites do mapa e não pode colidir com salas já existentes. Caso a forma seja inválida, uma nova tentativa é realizada até que o número de salas desejado seja atingido ou o limite de tentativas seja esgotado. A Figura 4.3 apresenta exemplos de salas geradas por este método.

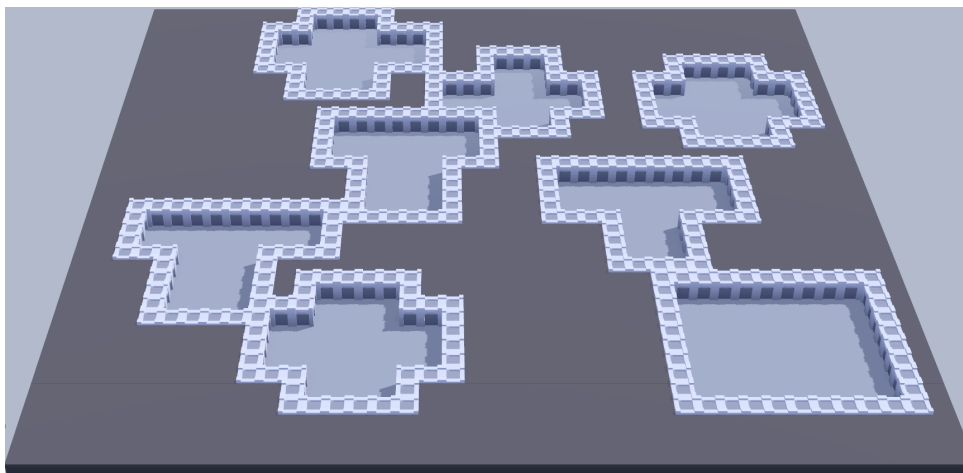


Figura 4.3: Exemplos de salas geradas pelo gerador geométrico (retangular, em cruz e em T).

Fonte: Do autor.

4.3.2 Gerador Baseado em Autômatos Celulares

Este gerador de salas usa o conceito de autômatos celulares, produzindo salas com contornos orgânicos e irregulares. Para cada sala, sorteia-se largura e comprimento dentro das faixas configuradas e a posição no mapa. Em seguida, inicializa-se uma grade local, atribuindo a cada célula o estado de parede com probabilidade $p = 0,45$ e o estado de chão, caso contrário. Sobre essa grade, aplica-se, então, a regra de transição por cinco iterações: uma célula torna-se parede se possuir cinco ou mais vizinhos no estado de parede e chão, caso contrário. Células fora dos limites da grade são tratadas como paredes durante essa contagem.

Como o processo pode produzir múltiplas regiões de chão desconectadas, aplica-se um *flood fill* para identificá-las. Esse algoritmo percorre a grade a partir de um *tile* de chão inicial, expandindo-se recursivamente pelos vizinhos também classificados como chão, de modo a agrupar em uma mesma região todos os ladrilhos conectados entre si. A maior região é mantida como principal e as demais são conectadas a ela por corredores em formato de L, traçados entre o par de ladrilhos mais próximo entre cada região secundária e a principal. Salas com número total de ladrilhos de chão abaixo do mínimo configurado são descartadas. Ao final do processo, ladrilhos de parede vizinhos de ladrilhos de chão recebem a parede cinza de contorno. A Figura 4.4 apresenta exemplos de salas geradas por este método em que não houve a criação de corredores.

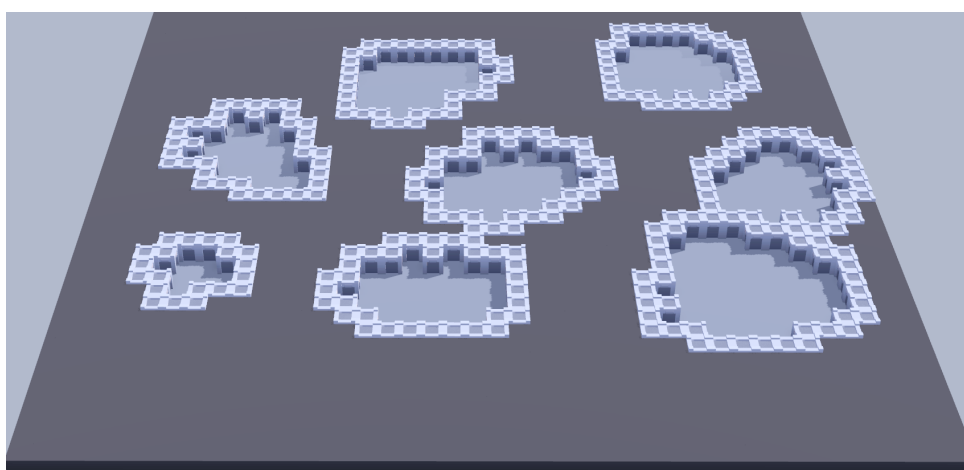


Figura 4.4: Exemplos de salas geradas pelo gerador por Autômatos Celulares.

Fonte: Do autor.

4.4 INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS

Mapas de influência são estruturas de dados que associam a cada posição de um espaço discreto, como uma matriz quadriculada, um valor numérico representando a intensidade de alguma grandeza de interesse, como perigo percebido e recompensa percebida. Mark (2019) afirma que a vantagem da utilização de mapas de influência fica evidenciada quando múltiplos agentes estão atuando naquele espaço.

Para a criação destes mapas de influência, cada elemento deve possuir um valor de influência máxima (**MaxInfluence**), presente no local em que se encontra, e um alcance máximo (**MaxDistance**) que delimita até onde essa influência chega.

Neste trabalho, esses valores foram fixados igualmente para todos os elementos em 1 para influência máxima e 5 ladrilhos para distância máxima.

A BFS é utilizada para calcular a influência do elemento nas células da sala. A partir da célula ocupada, o algoritmo propaga a influência pelo espaço navegável, considerando os 4 vizinhos ortogonais de cada célula. O decaimento de influência pode ocorrer por diferentes funções; neste trabalho, optou-se para que a cada *tile* de distância, o valor de influência decaia linearmente conforme a equação 4.1:

$$\text{Influence} = \max \left(0, \text{MaxInfluence} \times \left(1 - \frac{\text{Distance}}{\text{MaxDistance}} \right) \right). \quad (4.1)$$

Ladrilhos que contêm parede não são enfileirados, fazendo com que a propagação respeite naturalmente a geometria da sala, contornando obstáculos e formando o mapa de influência daquele elemento. A imagem 4.5 mostra um exemplo de mapa de influência de um elemento criado conforme detalhado acima. O elemento estaria posicionado onde o valor de influência é 1.0 e sua influência decai conforme a equação 4.1.

A junção de mapas de influência de elementos gera um mapa de influência combinado que representa algum aspecto de interesse e que pode ser visto sobreposto ao **GridMap** no formato de mapas de calor. A Figura 4.6a mostra mapas de influência exclusivamente positivos, representados em uma escala de cor do amarelo (zero) até o azul (valor máximo). Já a Figura 4.6b exibe mapas que possuem valores positivos e negativos, representados por uma escala de cores que vai do vermelho (valores negativos) até o verde (valores positivos) passando pelo amarelo acinzentado (neutro).

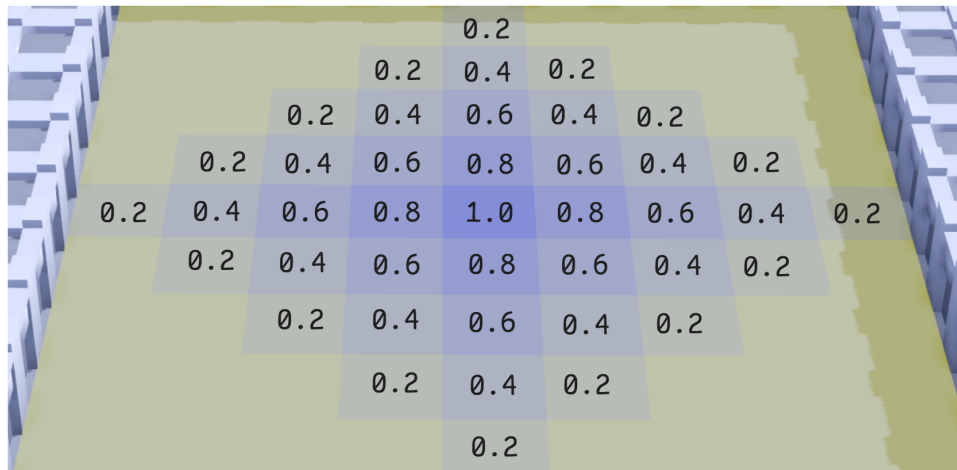


Figura 4.5: Decaimento de influência de um elemento.

Fonte: Do autor.



(a) Mapa de calor de moedas da sala com valores positivos.



(b) Mapa de calor de moedas e inimigos da sala com valores positivos e negativos.

Figura 4.6: Exemplos de mapa de calor representando influências.

Fonte: Do autor.

Neste trabalho é possível visualizar 6 mapas de influência diferentes por sala, 4 destes são criados para cada tipo de elemento na sala, ou seja, um mapa de influência para as moedas, como exemplificado na Figura 4.6a, outro para os portais, outro para os estandartes e outro para os inimigos. O quarto mapa de influência representa o balanço entre áreas de interesse e de perigo, apresentando a subtração do mapa de influência das moedas pelo de inimigos, exemplificado na Figura 4.6b. Por último há ainda o mapa de influência de pontos de recarga de energia, que soma o mapa de influência dos estandartes com o dos portais, representando zonas com possível maior tranquilidade ou urgência de recarga de energia.

4.5 POSICIONAMENTO DE ELEMENTOS

Duas estratégias de posicionamento são abordadas neste trabalho. Dentre os elementos mencionados na Seção 4.2, três são afetados pelos diferentes tipos de posicionamento nas salas, sendo eles: inimigos, moedas e estandartes. Os portais não alteram sua posição de acordo com a estratégia de posicionamento de elementos adotada. Estes sempre seguem a mesma lógica de posicionamento, encontra-se os dois ladrilhos mais distantes entre si dentro de uma mesma sala e posiciona-se um portal em cada um. Já o ponto de nascimento do jogador, apesar de não ser um elemento previamente citado, é também afetado pela estratégia escolhida para aquela *dungeon*, sendo escolhido um local dentro de apenas uma das salas. Vale ressaltar que os elementos são posicionados sempre seguindo uma ordem. Primeiro posiciona-se os portais da sala, depois todas as moedas, em sequência os inimigos e por último os estandartes.

4.5.1 Posicionamento Aleatório

O posicionamento aleatório se dá por meio da disposição dos elementos sem seguir uma lógica ou padrão. Escolhe-se uma posição aleatória dentre os ladrilhos disponíveis na sala e posiciona-se o elemento em questão. É possível observar na Figura 4.7 uma sala com esse tipo de posicionamento.



Figura 4.7: Sala com posicionamento aleatório de elementos.

Fonte: Do autor.

4.5.2 Posicionamento por Mapas de Influência

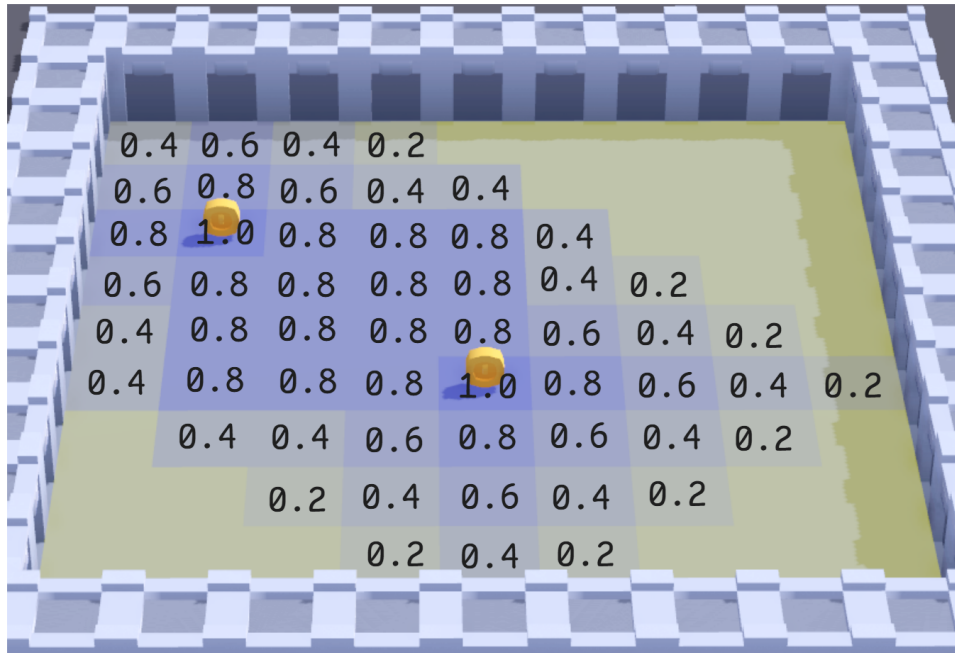
Esta estratégia de posicionamento de elementos se beneficia do que foi estabelecido na Seção 4.4 para tentar organizar os elementos dentro da sala, baseando-se nas relações espaciais entre os mesmos.

Levando-se em consideração as relações entre elementos dentro do contexto do jogo, utiliza-se uma lógica de atração e repulsão. Caso não seja declarada repulsão ou atração, entende-se que há uma relação neutra. As regras adotadas para cada elemento são:

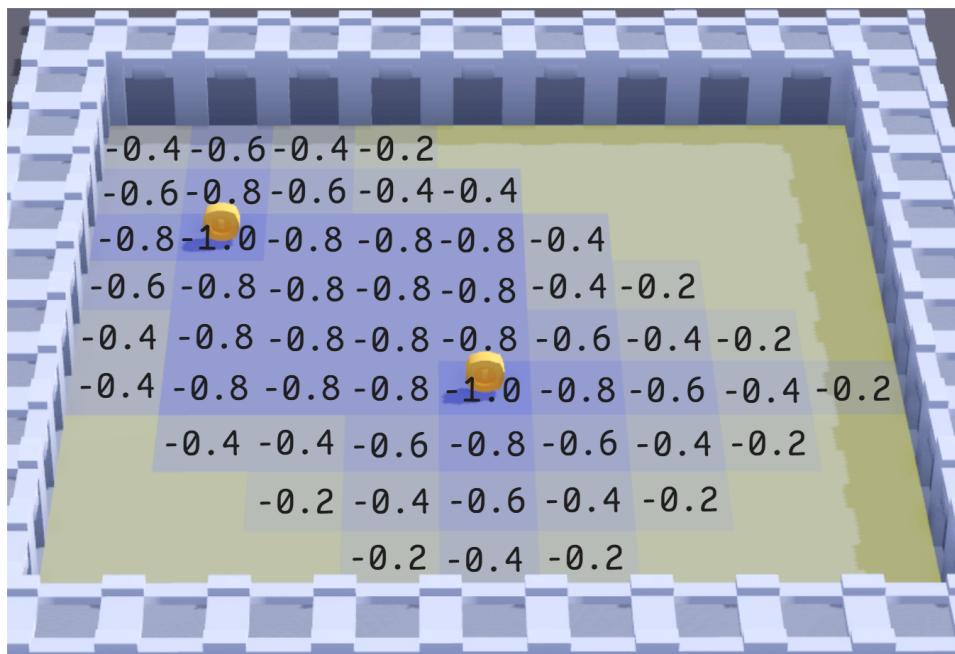
- moedas: repelidas pelos portais da sala, repelidas entre si;
- inimigos: repelidos pelos portais da sala, atraídos pelas moedas, repelidos entre si;
- estandartes: repelidos pelos portais da sala, repelidos entre si;
- ponto de nascimento do jogador: repelido pelos portais da sala, repelido pelos inimigos.

É importante destacar que os termos “atração” e “repulsão” são aqui empregados em um sentido puramente algébrico onde cada mapa de influência é um campo escalar estático, calculado uma única vez por meio de BFS. A “atração” de um elemento por outro corresponde, na prática, à soma de seus mapas de influência, ao passo que a “repulsão” corresponde à sua subtração; a ausência de relação declarada equivale simplesmente à omissão do mapa correspondente dessa soma.

A Figura 4.8 exemplifica a ideia de atração e repulsão exposta acima a partir de um cenário simplificado: duas moedas já posicionadas em uma sala. Supondo que um inimigo deva ser posicionado em sequência, a realização da soma dos mapas de influência das moedas indicaria onde o mesmo deveria ser posicionado. O inimigo, atraído pelas moedas, poderia ser então posicionado em qualquer ladrilho disponível com o maior valor de influência, no caso da Figura 4.8a, qualquer um com valor de 0.8. Em contrapartida, partindo do mesmo cenário inicial de duas moedas já posicionadas, supondo que haja o objetivo de posicionar uma terceira moeda, os mapas de influência deveriam ser somados porém invertidos, escolhendo-se novamente o ladrilho disponível de maior valor de influência. A terceira moeda seria então repelida pelas demais, sendo posicionada em qualquer ladrilho de valor zero, representados na Figura 4.8b pela cor amarela acinzentada.



(a) Soma dos mapas de influência de moedas já posicionadas, usado em um cenário de atração.



(b) Soma do inverso dos mapas de influência de moedas já posicionadas, usado em um cenário de repulsão.

Figura 4.8: Mapas de influência de moedas somados em um cenário de atração e outro de repulsão.

Fonte: Do autor.

A Figura 4.9 mostra uma sala que adota essas relações para posicionar os elementos em seu interior.

Dentro da ferramenta, esse processo de escolha do local de *spawn* de algo é realizado por meio de “receitas declarativas” definidas pela classe **SpawnRecipe**. Esta classe encapsula os critérios espaciais e opera sobre os mapas de influência calculados incrementalmente a cada novo elemento inserido na sala, subtraindo repulsões, somando atrações, aplicando alguma lógica especial necessária e, via de regra, selecionando a célula de maior valor de influência resultante. Caso haja empate, ou seja, duas ou mais células com este mesmo maior valor, escolhe-se aleatoriamente uma dentre estas.



Figura 4.9: Sala com posicionamento de elementos por mapas de influência.

Fonte: Do autor.

4.6 CAMINHOS ANALÍTICOS

O módulo de *pathfinding* opera sobre o **GridMap** já populado, calculando os caminhos analíticos entre portais e moedas. Três possíveis caminhos podem ser avaliados dentro da plataforma, todos eles visam representar diferentes estilos de jogadores e com isso capturar valores de influência no trajeto para posterior análise.

Para todos os caminhos descritos abaixo é possível observar seu traçado sobre o **GridMap** através de setas azuis. Além disso, é possível visualizar graficamente dentro da ferramenta os valores de influência dos ladrilhos que compõe o caminho exibido no momento.



Figura 4.11: Caminho explorador em uma sala de exemplo.

Fonte: Do autor.

4.6.3 Caminho Livre

O caminho livre, exemplificado na Figura 4.12, equivale ao caminho realizado por um jogador dentro das salas de uma configuração obtida proceduralmente. Neste não é empregada-se algum algoritmo de cálculo de caminhos, mas sim, registra-se as células do **GridMap** em que o jogador passa enquanto está jogando.



Figura 4.12: Caminho livre realizado por um jogador em uma sala de exemplo.

Fonte: Do autor.

5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Este capítulo explora os experimentos conduzidos para avaliar o sistema desenvolvido e as estratégias de posicionamento. São realizados dois experimentos: um primeiro de natureza qualitativa, combinando inspeção visual dos mapas de influência, análise de caminhos percorridos por jogadores reais e a percepção subjetiva destes por meio de um formulário de avaliação e um segundo de natureza quantitativa, a fim de testar de maneira sistemática as estratégias de posicionamento.

5.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA - EXPERIMENTO 1

Para a avaliação qualitativa, foi utilizada a *seed* específica fixa. Uma *seed* é um valor inicial utilizado para inicializar o gerador de números pseudoaleatórios, permitindo reproduzir exatamente o mesmo conteúdo gerado proceduralmente. Além disso, utilizou-se o gerador por Autômatos Celulares e tamanho de sala médio, e foi realizado o registro do caminho tomado pelos jogadores e o cálculo dos caminhos “direto” e “explorador” disponíveis. Após isso, é realizada a inspeção visual dos mapas de influência gerados pelo posicionamento aleatório de elementos e, posteriormente, o por mapas de influência. Ainda nessa mesma configuração, participantes percorrem as salas com o objetivo de coletar todas as moedas enquanto o sistema registra seu caminho, uma primeira vez com o posicionamento aleatório e uma segunda vez com o posicionamento por mapas. Após o teste com as duas estratégias de posicionamento, o jogador registra sua experiência por meio do Formulário A, desenvolvido na plataforma Google Forms (Google LLC, 2026). Os valores de influência ao final são exportados para avaliação no Python. Por fim, a percepção subjetiva do jogador é contraposta aos valores de influência obtidos tanto no caminho livremente percorrido por ele quanto no caminho explorador calculado, comparando-se os resultados entre as duas estratégias de posicionamento de elementos.

5.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA - EXPERIMENTO 2

A avaliação quantitativa do sistema foi conduzida por meio da geração sistemática de múltiplas *dungeons* com diferentes configurações. Foram definidas 50 *seeds* distintas, cada uma utilizada para gerar uma configuração específica de *dungeon* com 8 salas, respeitando o mínimo de 3 salas estabelecido como critério de validade para a geração. Para cada

seed, são geradas as combinações possíveis entre os dois geradores de sala (Geométrico e Autômatos Celulares), três tamanhos de sala (pequena, média e grande) e as duas estratégias de posicionamento de elementos (aleatória e por mapas), totalizando $[50 \times 2 \times 3 \times 2 = 600]$ *dungeons* geradas, cada uma com 8 salas.

Para cada combinação, são calculados os dois caminhos analíticos disponíveis, o direto e o explorador. Os valores de influência dos ladrilhos percorridos por cada caminho calculado são exportados em arquivos no formato CSV a fim de serem posteriormente utilizados no script Python. A exportação contempla o mapa de calor que combina influência de moedas e de inimigos (balanço de zonas de perigo e interesse). A Tabela 5.1 resume as configurações e os parâmetros utilizados em todos os experimentos.

Tabela 5.1: Configurações dos experimentos realizados.

Parâmetro	Valor
Número de <i>seeds</i>	50
Salas por <i>dungeon</i>	8
Geradores de sala	Geométrico, Autômatos Celulares
Tamanhos de sala	Pequeno, Médio, Grande
Estratégias de posicionamento	Aleatório, Por Mapas
Caminhos analíticos	Direto, Explorador
Função de decaimento	Linear
Influência máxima por elemento	1,0 (todos os tipos)
Alcance máximo por elemento	5 ladrilhos (todos os tipos)

Os valores de influência máxima e alcance máximo foram mantidos iguais para todos os tipos de elemento ao longo dos experimentos, de modo a isolar o efeito das diferentes estratégias de posicionamento e dos diferentes tamanhos e formas de sala, sem introduzir variações decorrentes de configurações assimétricas de influência entre elementos. A Tabela 5.2 apresenta as faixas de dimensão configuradas para cada tamanho de sala.

Tabela 5.2: Faixas de dimensão (em ladrilhos) configuradas para cada tamanho de sala.

Tamanho	Largura (min–max)	Comprimento (min–max)
Pequena	5 - 7	5 - 7
Média	9 - 11	9 - 11
Grande	13 - 15	13 - 15

5.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos a partir dos dois experimentos descritos acima. Primeiramente, são apresentados os resultados do experimento qualitativo, contemplando a análise visual dos mapas de influência, a comparação entre os caminhos percorridos e a percepção dos jogadores participantes. Em seguida são analisados os resultados quantitativos obtidos por meio da geração em lote das *dungeons*, com foco na comparação estatística entre as estratégias de posicionamento.

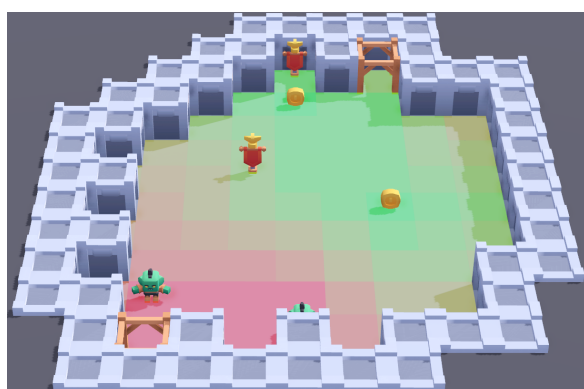
5.3.1 Experimento 1

5.3.1.1 Análise Qualitativa Visual dos Mapas de Influência

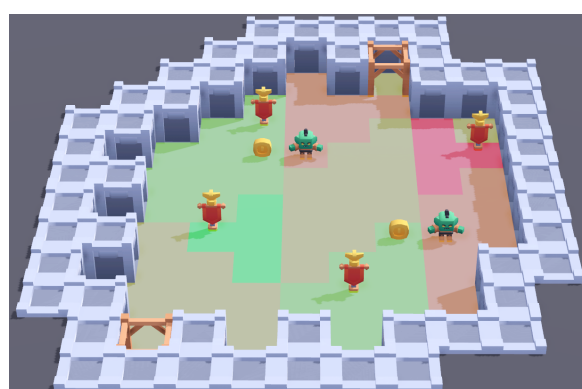
No posicionamento aleatório, a distribuição dos elementos sobre o espaço da sala tende a ser irregular e dependente exclusivamente do resultado do embaralhamento da lista de ladrilhos disponíveis. Como consequência, é comum observar aglomeração de inimigos muito próximos uns dos outros ou moedas em uma mesma região da sala, bem como a ausência de elementos em áreas extensas, gerando mapas de influência com zonas de alta concentração e zonas neutras sem critério espacial evidente. No mapa de calor combinado entre moedas e inimigos, como mostra a Figura 5.1a, é mais comum observar regiões com cores mais fortes e distantes umas das outras, o que pode trazer maior facilidade ou dificuldade para o jogador, a depender de onde se encontram essas regiões mais concentradas dentro da sala.

No posicionamento por mapas de influência, os efeitos das receitas declarativas são visíveis diretamente nos mapas de influência. As moedas apresentam distribuição mais espalhada, afastadas entre si pela auto-repulsão e tendendo também a se distanciarem dos portais. Os inimigos, atraídos pelas moedas e igualmente repelidos pelos portais, posicionam-se predominantemente nas zonas de maior interesse para o jogador, criando

uma configuração de guardiões. Os estandartes, por sua vez, aparecem consistentemente na fronteira entre a zona de influência de algum elemento de recarga (portal ou estandarte), distribuídos ao longo do percurso natural entre os elementos da sala. No mapa de calor combinado de moedas e inimigos, como exemplificado na Figura 5.1b, esta estratégia produz células com cores mais suaves, com zonas de perigo mais próximas às zonas de recompensa em vez de distribuídas de forma independente apresentando altos picos.



(a) Mapa de calor combinado de moedas e inimigos com estratégia de posicionamento aleatório.



(b) Mapa de calor combinado de moedas e inimigos com estratégia de posicionamento por mapas de influência.

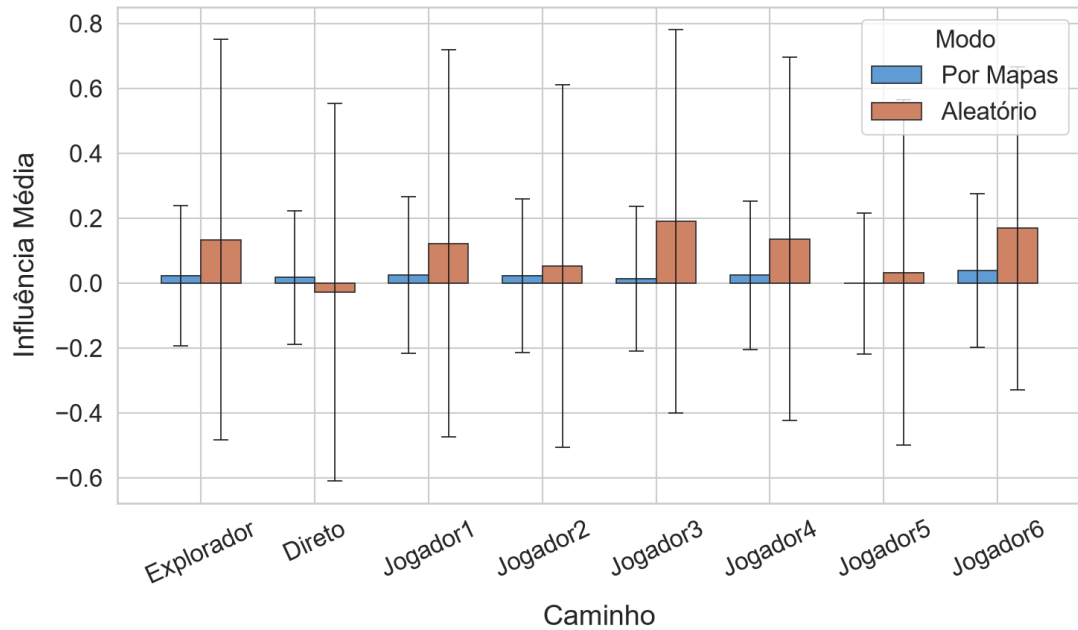
Figura 5.1: Mapas de calor de uma mesma sala da *seed* utilizada com estratégias de posicionamento diferentes.

Fonte: Do autor.

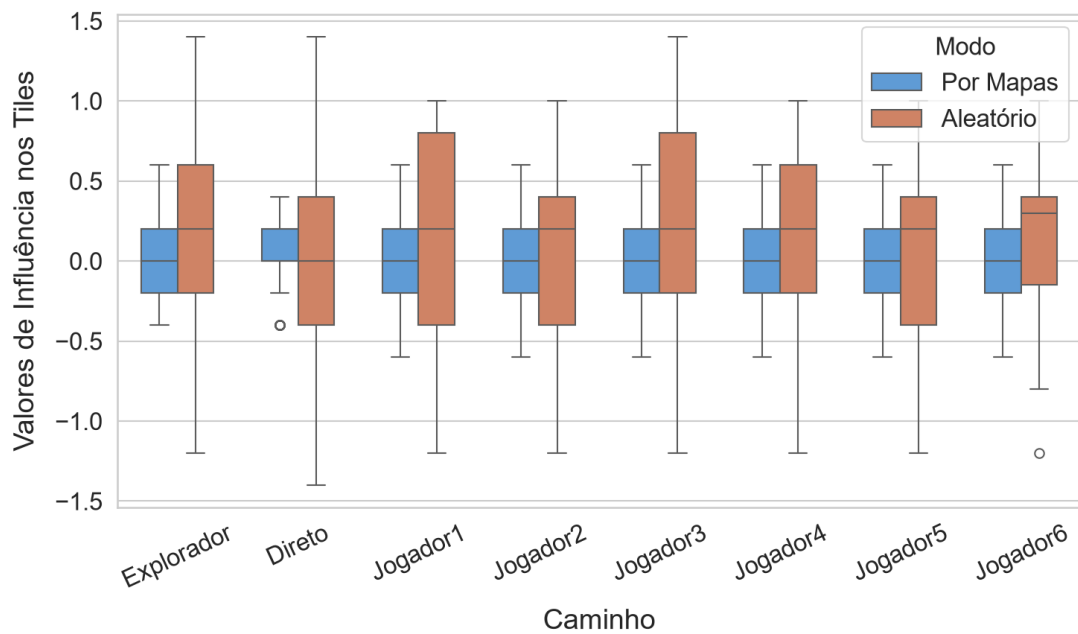
5.3.1.2 Análise de Caminhos

Sobre a mesma configuração, foram calculados os dois caminhos analíticos (direto e explorador) e registrado o caminho livre percorrido por seis participantes durante o modo jogável, tanto para o posicionamento por mapas quanto para o aleatório.

Observa-se na Figura 5.2a que as médias de influência nos caminhos diminuíram em módulo com a utilização do posicionamento por mapas quando comparado com o posicionamento aleatório. Além disso observa-se também uma diminuição do desvio padrão em todos os caminhos. Observa-se também a semelhança entre as médias e desvio padrão obtidos pela maioria dos jogadores e o caminho explorador. O gráfico exibido na Figura 5.2b por sua vez consegue mostrar a distribuição dos valores de influência ao longo do caminho, evidenciando que em todos os caminhos que há o posicionamento por mapas de influência e ao mesmo tempo a busca pelas moedas, a mediana está centrada no zero e



(a) Média de influência por caminho. Barras de erro representam o desvio padrão.



(b) Dispersão de influência por caminho.

Figura 5.2: Gráficos estatísticos relativos às amostras obtidas por meio do caminho livre de seis jogadores além dos caminhos explorador e direto.

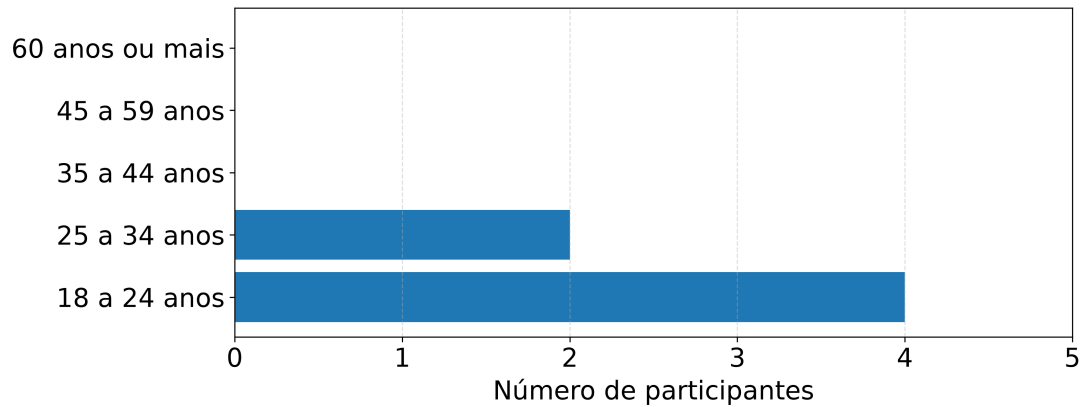
Fonte: Do autor.

com valores muito mais próximos da mesma, indicando um maior balanceamento do jogo quando comparado com o posicionamento aleatório. Este último produziu distribuições muito mais esparsas e com medianas próximas a 0,25.

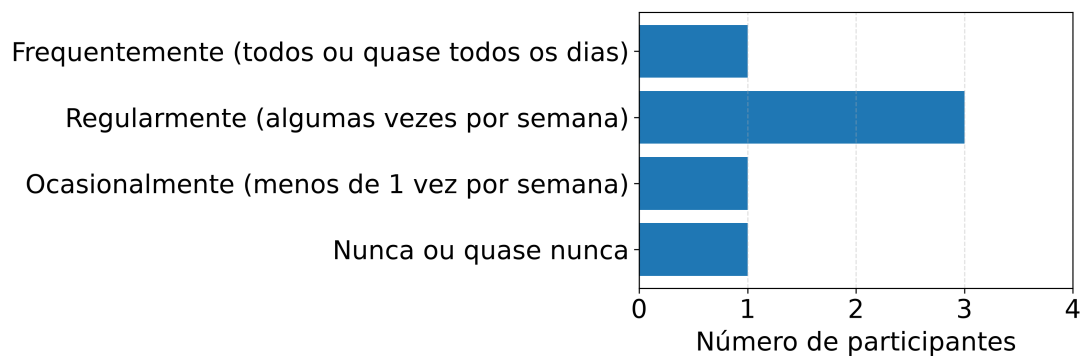
5.3.1.3 *Experiência dos Jogadores*

Após suas duas sessões de jogo, primeiro com posicionamento por mapas e depois com o aleatório, os participantes registraram sua percepção comparativa entre as mesmas. Os principais aspectos avaliados foram a sensação de desafio, diversão e a avaliação geral da experiência de jogo em cada partida. Todos os participantes são jovens de 18 a 34 anos, com a maioria jogando pelo menos regularmente jogos digitais e conhecendo superficialmente RPG de exploração. Todos os participantes consideram-se pelo menos de nível intermediário em relação à sua habilidade em jogos digitais de ação. O perfil dos participantes pode ser visto na Figura 5.3.

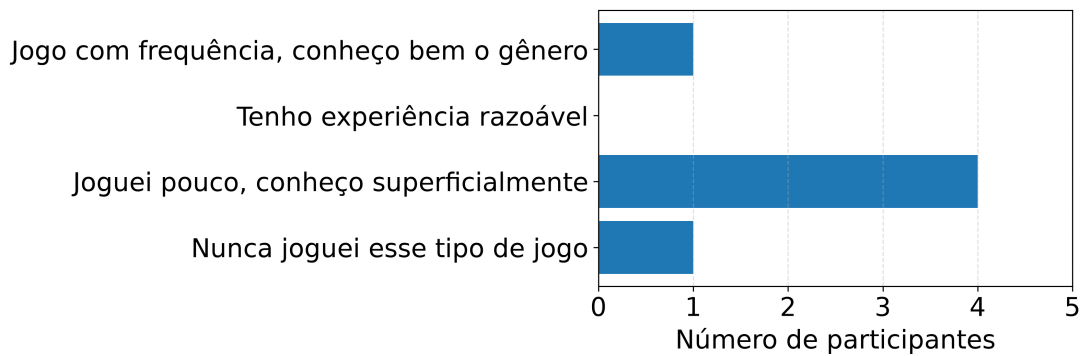
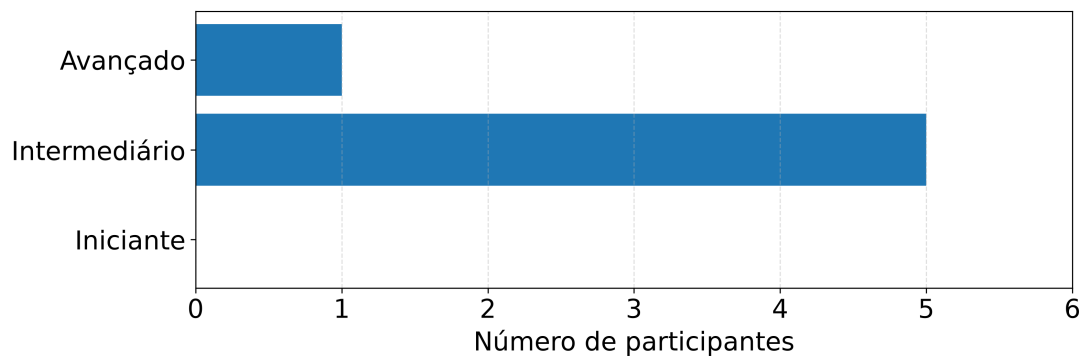
Os participantes responderam a 7 perguntas fechadas avaliando as diferenças percebidas entre a primeira e segunda *gameplay*. Conforme visto na Figura 5.4a, há uma percepção de diferença clara por parte dos jogadores entre suas duas partidas. Essa diferença é percebida principalmente no posicionamento dos inimigos, como mostra a Figura 5.4b. Esta última corrobora com o relato de maior percepção de desafio no cenário com posicionamento aleatório, retratado na Figura 5.5a, visto que o principal elemento criador de desafio é a presença de inimigos. A percepção de diversão por sua vez foi bastante parecida entre os dois cenários, como mostra a Figura 5.5b. Dentro da escala, todas as respostas foram positivas no segundo cenário, enquanto apenas uma foi neutra no primeiro.



(a) Distribuição da faixa etária dos participantes.



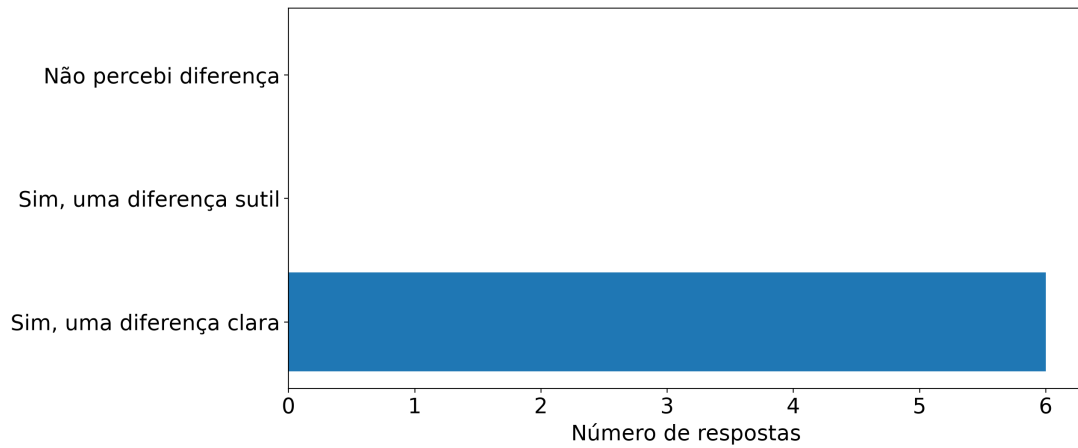
(b) Frequência com que os participantes jogam jogos digitais.

(c) Experiência prévia com jogos do gênero *dungeon crawler* ou RPG de exploração.

(d) Autoavaliação da habilidade em jogos de ação.

Figura 5.3: Perfil dos participantes do experimento obtido por meio do questionário após sessão de jogo.

Fonte: Do autor.



(a) Percepção de diferença entre cenários.



(b) Aspectos percebidos como diferentes entre cenários.

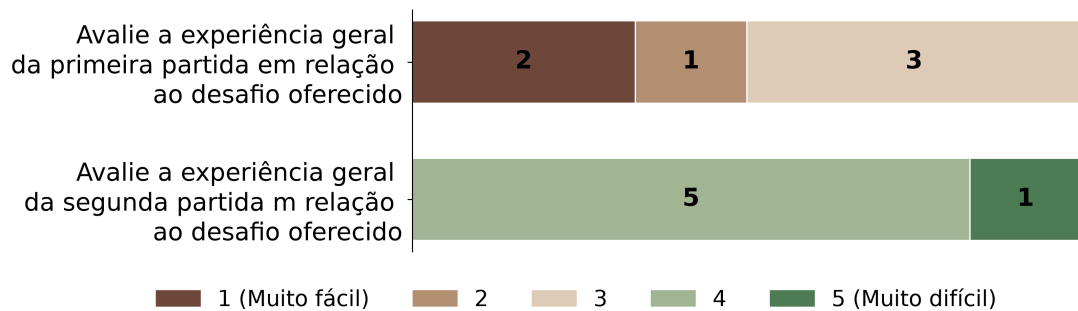
Figura 5.4: Respostas às perguntas 1 e 2 do formulário de percepção de diferença.

Fonte: Do autor.

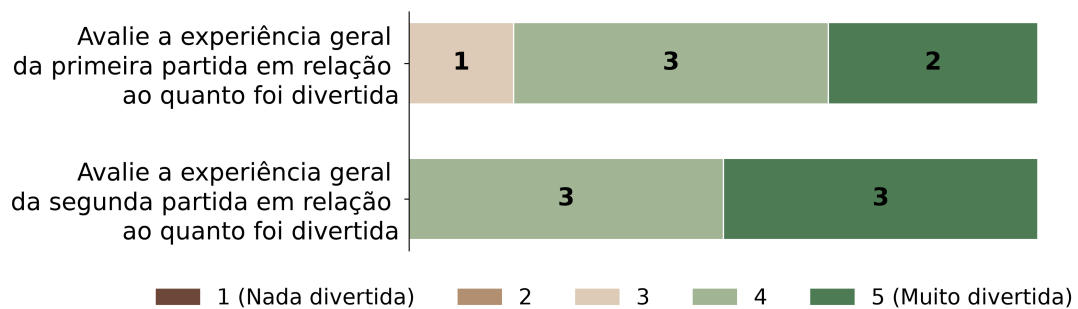
De maneira complementar, observa-se nas Figura 5.4b e principalmente na Figura 5.6 que há uma percepção de melhora quanto ao posicionamento dos estandartes, com respostas indicando que o posicionamento orientado pelos mapas de influência foi positivo.

Alguns participantes responderam à pergunta aberta opcional ao final do formulário, comentando sobre suas observações. Um deles relatou que, na primeira partida, “havia caminhos mais claros e planejados”, enquanto na segunda “havia mais ‘aleatoriedade’”, chegando a ficar preso e morrer logo ao sair de um portal, algo que não havia ocorrido na primeira rodada. Outro participante notou que, na segunda partida, “os inimigos e as moedas eram posicionados na intenção de prender o jogador”, enquanto na primeira “a disposição era mais voltada a ver o desempenho do jogador”.

Os comentários demonstram mais uma vez que o posicionamento de elementos



(a) Percepção de desafio nos dois cenários (aleatório e por mapas de influência).



(b) Percepção de diversão nos dois cenários (aleatório e por mapas de influência).

Figura 5.5: Percepção de desafio e diversão com posicionamentos aleatório e baseado em mapas de influência.

Fonte: Do autor.

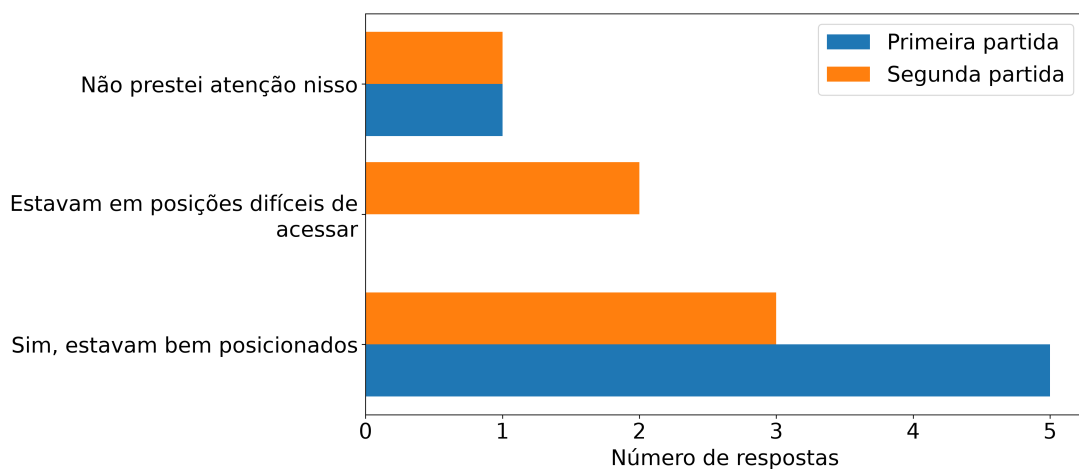


Figura 5.6: Percepção de diferença do posicionamento de estandartes (pontos de recarga de energia) entre um cenário e outro.

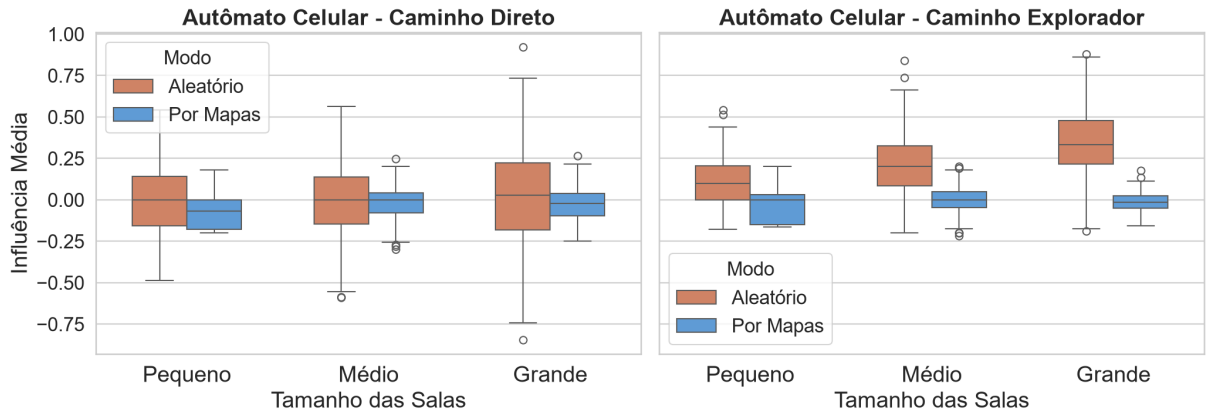
Fonte: Do autor.

realizado de maneira não pensada trouxe um nível de dificuldade bastante elevado em algumas salas. Os dois participantes relataram que o segundo cenário (aleatório) os prendeu e impediu a finalização da fase, enquanto o primeiro possibilitou uma jornada com “caminhos mais claros” e “voltada a ver o desempenho do jogador”. Essas duas percepções estão muito ligadas também à diferença visual percebida na Figura 5.1a.

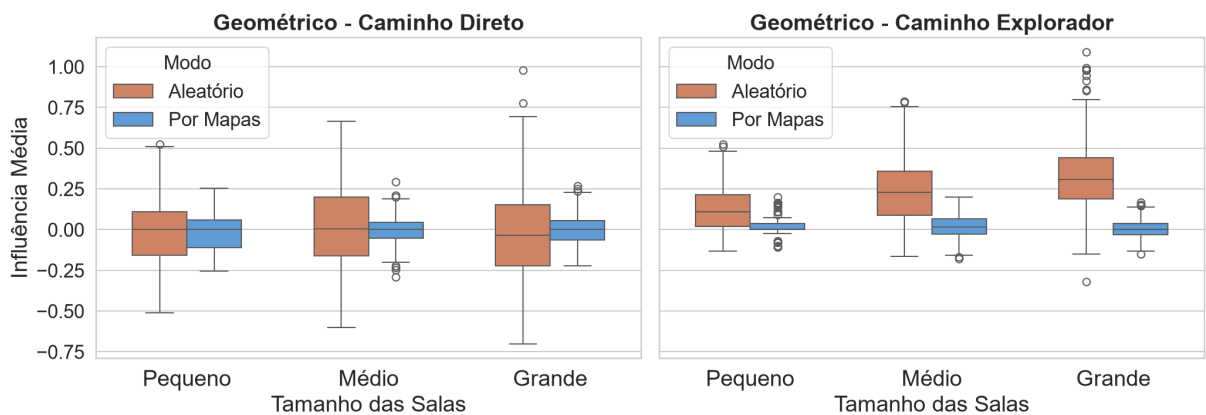
5.3.2 Experimento 2

Para avaliar de modo mais abrangente o comportamento de cada estratégia de posicionamento, foram analisados os valores médios de influência nos ladrilhos dos caminhos por sala e ao longo do percurso dentro da sala. Isso foi feito com *dungeons* geradas com 50 *seeds* diferentes, considerando as combinações entre os dois geradores de sala, os três tamanhos e os dois posicionamentos.

Os resultados indicam que o posicionamento aleatório produziu valores médios de influência combinada (moedas e inimigos) superiores ao posicionamento por mapas em ambos os geradores e em todos os tamanhos de sala, como visto na Figura 5.7. Esse comportamento é esperado e coerente com o objetivo do sistema: o posicionamento por mapas de influência orienta moedas espalhadas pela sala entre si e repelidas pelos portais, posicionando posteriormente os inimigos em regiões de maior influência, aproximando as mesmas de zero. Isso faz com que o caminho percorrido entre os portais atravesse zonas de influências positivas e negativas mais brandas, aproximando a média combinada de zero. Além disso, como os inimigos atuam como “guardiões”, ao buscar pelas moedas (regiões positivas), o caminho necessariamente passa por ladrilhos que sofrem a influência negativa de inimigos, fazendo com que, na média, o caminho seja mais balanceado. Isso fica mais evidente quando observa-se a distribuição da influência ao longo do caminho explorador para o gerador geométrico, tomada como exemplo e ilustrada na Figura 5.8, indicando um cenário mais equilibrado ao longo do caminho do jogador. É possível identificar um padrão consistente entre os três tamanhos de sala: o modo aleatório apresenta picos de influência positiva na região central do percurso (entre 25% e 50% do caminho), seguidos de queda acentuada nas porções finais, enquanto o que utiliza mapas de influência mantém a influência próxima de zero ao longo de praticamente todo o trajeto.



(a) Boxplot Gerador Autômatos Celulares - Influência média por sala ao longo do caminho.



(b) Boxplot Gerador Geométrico - Influência média por sala ao longo do caminho.

Figura 5.7: Boxplots de comparação entre geradores, posicionamento, caminhos e tamanhos de sala.

Fonte: Do autor.

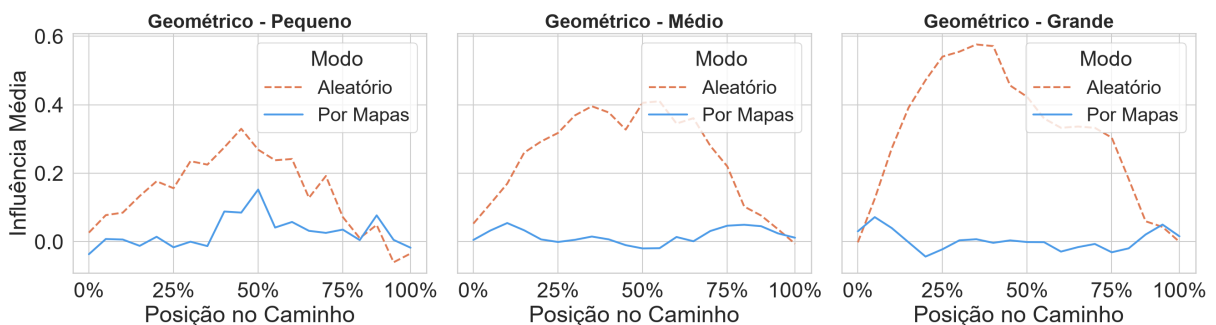


Figura 5.8: Média de influência ao longo do percurso normalizado em salas de tamanhos diferentes criadas pelo gerador geométrico.

Fonte: Do autor.

O posicionamento aleatório, por sua vez, distribui os elementos sem considerar essa relação entre os mesmos, resultando em influências positivas e negativas distribuídas de forma desequilibrada ao longo do caminho, o que eleva a média combinada. A diferença

entre as estratégias é mais pronunciada em salas médias e grandes. No gerador geométrico, por exemplo, a média aleatória em salas grandes atinge 0,3221 contra apenas 0,0039 do que utiliza mapas de influência, como visto na Tabela 5.3.

Em salas pequenas a diferença é menos expressiva, possivelmente porque o espaço reduzido limita a separação espacial entre elementos e comprime o efeito do posicionamento orientado por influência. A variabilidade entre *seeds* (desvio padrão) foi moderada a alta no modo aleatório, especialmente em salas grandes (até $\pm 0,2121$ no geométrico e $\pm 0,2100$ no CA), o que reflete a natureza estocástica do posicionamento sem critério espacial: dependendo da seed, os elementos podem acabar concentrados ou dispersos de formas muito distintas.

Com o uso dos mapas de influência, o desvio padrão foi consistentemente menor, indicando que o posicionamento orientado por mapas de influência produz resultados mais estáveis e previsíveis entre diferentes instâncias da *dungeon*.

Tabela 5.3: Influência média e desvio padrão no caminho explorador de cada sala (50 seeds - 400 salas para cada combinação de Gerador/Tamanho/Posicionamento).

Gerador	Tamanho	Posicionamento	Média	Desvio Padrão
Geométrico	Pequeno	Aleatório	0.1258	± 0.1397
Geométrico	Pequeno	Por Mapas	0.0261	± 0.0519
Geométrico	Médio	Aleatório	0.2368	± 0.1941
Geométrico	Médio	Por Mapas	0.0197	± 0.0727
Geométrico	Grande	Aleatório	0.3221	± 0.2121
Geométrico	Grande	Por Mapas	0.0039	± 0.0546
CA	Pequeno	Aleatório	0.1124	± 0.1490
CA	Pequeno	Por Mapas	-0.0376	± 0.0944
CA	Médio	Aleatório	0.2155	± 0.1738
CA	Médio	Por Mapas	0.0029	± 0.0799
CA	Grande	Aleatório	0.3473	± 0.2100
CA	Grande	Por Mapas	-0.0141	± 0.0534

O tamanho configurado para as salas tem impacto direto tanto na quantidade de elementos posicionados quanto no comportamento dos mapas de influência. Salas pequenas possuem menos ladrilhos navegáveis disponíveis, o que reduz a quantidade de elementos posicionados e faz com que a influência de cada elemento cubra proporcionalmente uma fração maior do espaço total da sala. Em salas grandes, a proporção entre o alcance máximo da influência de cada elemento e a extensão total da sala é menor, fazendo com que a distribuição de elementos dentro da mesma seja ainda mais importante. Esse efeito é visível nos boxplots da Figura 5.7, onde a mediana no

caminho explorador e modo aleatório cresce progressivamente de Pequeno para Grande em ambos os geradores e tipos de caminho, enquanto o modo com mapas de influência permanece próximo de zero independentemente do tamanho, o que evidencia que o sistema de posicionamento absorve o aumento do espaço disponível mantendo o equilíbrio de influências ao longo do caminho. Observa-se ainda, pela Figura 5.8, que para salas pequenas a eficácia do método que faz uso dos mapas de influência em balancear o caminho é menor, tendo em vista a aproximação das duas curvas no gráfico.

5.4 DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos permitiram validar o software como ferramenta de criação e teste de algoritmos de geração procedural e em conjunto testar a eficácia das estratégias de geração e posicionamento implementadas.

Em relação à geração de salas, os dois geradores cumprem papéis complementares. O gerador geométrico oferece cenários com salas que apresentam maior previsibilidade quanto ao desenho das salas com suas paredes retas e visualização mais clara de elementos. Por sua vez, o gerador baseado em Autômatos Celulares, produz ambientes com maior variabilidade de formas entre salas de uma mesma *dungeon*, possuindo paredes mais irregulares e visualização

Em relação ao posicionamento dos elementos, pode-se afirmar que o método aleatório pode sim gerar cenários que ainda sejam divertidos para os jogadores, mas que sua inconsistência pode produzir cenários muito difíceis ou muito fáceis para quem joga. Ademais, ressalta-se que os resultados obtidos nos experimentos 1 e 2 convergiram, tendo em vista que os jogadores relataram uma experiência mais balanceada com o posicionamento baseado em mapas de influência, justamente o que o experimento quantitativo indicou por meio da análise das médias e distribuições de influência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento preliminar do PCGLab 3D, uma plataforma interativa tridimensional para geração procedural, posicionamento de elementos e análise de *dungeons*, implementada na Godot Engine 4 como uma reimplementação do trabalho de da Costa e de Oliveira Knop (2020).

Os objetivos específicos propostos na Seção 1.2 foram atendidos. De modo que a plataforma consegue através de dois modo de operação, edição e jogável, trazer as principais funcionalidades e métricas do PCGLab para o PCGLab 3D com o motor da Godot Engine 4. Foram implementados dois geradores procedurais iniciais, um baseado em formas geométricas (retangular, em cruz e em T) e outro baseado em Autômatos Celulares. Ademais, utiliza o sistema de mapas de influência como ferramenta de auxílio ao posicionamento de elementos e como ferramenta de análise visual e gráfica do resultado final das salas. Por fim, o módulo de *pathfinding* oferece três tipos de caminho para análise: o direto entre portais da sala, o explorador que passa por todas as moedas antes de ir até a saída, e o livre que é registrado a partir do trajeto real do jogador.

Os resultados obtidos indicaram que o posicionamento por mapas de influência produziu distribuições espaciais mais balanceadas e coerentes com os critérios de *design* estabelecidos em comparação ao posicionamento aleatório, com diferenças mais expressivas em salas de tamanho médio e grande. A plataforma demonstrou-se funcional como ambiente de análise, permitindo observar e quantificar essas diferenças de forma visual e gráfica.

Desse modo, a principal contribuição deste trabalho é a criação de uma plataforma com ambiente 3D que integra, em um único sistema, geração procedural de *dungeons*, estratégias de posicionamento de elementos e possibilidade de análise quantitativa e qualitativa dos resultados. Esta plataforma permite, assim, a comparação sistemática entre diferentes abordagens algorítmicas e serve como base para pesquisas futuras dentro do tema.

6.1 LIMITAÇÕES

No sistema de mapas de influência, apenas a função de decaimento linear foi implementada. Funções alternativas, como decaimento exponencial ou polinomial

poderiam produzir distribuições de influência interessantes e potencialmente mais adequadas para determinados critérios de *design*.

O caminho obtido pelo cálculo do percurso que parte do portal de entrada, passa por todas as moedas e segue para o portal de saída, utiliza uma heurística gulosa de vizinho mais próximo. Embora computacionalmente eficiente, essa abordagem não garante o caminho de menor custo total. Em salas com geometria complexa e mais moedas, o caminho gerado pode não ser representativo do percurso que um jogador escolheria na prática.

Por fim, vale ressaltar que na avaliação qualitativa, o número reduzido de participantes limita a generalização das conclusões sobre a experiência dos jogadores.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

A partir do estado atual da plataforma, diversas extensões naturais podem ser pontuadas para trabalhos futuros, como a implementação de novas funções de decaimento de influência de elementos, como citado acima na Seção 6.1. A expansão para outros métodos de geração procedural de salas, como a particionamento binário do espaço, ampliaria o conjunto de algoritmos comparáveis na plataforma, enriquecendo seu papel como um ambiente de referência em geração procedural de *dungeons*.

A condução de experimentos com um maior número de participantes e um protocolo mais rigoroso de avaliação fortaleceria as conclusões relacionadas à percepção dos jogadores e permitindo análises estatísticas mais robustas. Além disso, no que diz respeito ao modo jogável, a adição de mecânicas de combate de longa distância, como por exemplo a inclusão de um inimigo com ataques de longo alcance, possibilitaria trazer uma nova perspectiva de *design* e de propagação de influências.

Por fim, a integração do sistema de mapas de influência com o comportamento dos inimigos representa uma extensão de maior complexidade e contribuição. Nessa nova abordagem, os mapas de influência poderiam ser calculados em tempo real e orientariam as decisões táticas dos agentes, como posicionamento, patrulha e escolha do local de ataque, como visto em Mark (2019).

REFERÊNCIAS

- Abragames, ApexBrasil, 2023. **2ª Pesquisa Nacional da Indústria de Games**. Acessado em: 24 jun. 2026. Disponível em: <https://www.abragames.org>
- Bock, S., Bomsdorf, S., Boysen, N., Schneider, M., 2025. **A survey on the Traveling Salesman Problem and its variants in a warehousing context**. European Journal of Operational Research 322 (1), 1–14.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C., 2009. Introduction to Algorithms, terceira Edição. MIT Press, Cambridge, MA.
- da Costa, L. D., de Oliveira Knop, I., **Geração procedural de conteúdo através de uma abordagem híbrida entre autômatos celulares e heurísticas**. In: SBC Proceedings of SBGames 2020 – Workshop G2: Undergraduates, 2020. Sociedade Brasileira de Computação (SBC), Recife, PE, Brasil, pp. 1250–1253.
- de Almeida Cunha, M. V. V., Dezembro 2023. **Geração procedural de quebra-cabeças em jogos roguelike**.
- de Rezende da Silva, L., Março 2021. **Estudo sobre geração procedural de conteúdo em jogos dos subgêneros Roguelike e Metroidvania**.
- Godot Engine, 2026. **Godot Engine**. Acesso em: 20 jul. 2026. Disponível em: <https://godotengine.org/pt-br/>
- Google LLC, 2026. **Google Forms**. Acessado em: 22 jun. 2026. Disponível em: <https://forms.google.com>
- Hadeler, K.-P., Müller, J., 2018. Cellular Automata: Analysis and Applications, primeira Edição. Springer International Publishing.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., 1968. **A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths**. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics 4 (2), 100–107.
- Huizinga, J., 2019. Homo Ludens: O jogo como elemento da cultura, quinta Edição. Perspectiva.
- Johnson, L., Yannakakis, G. N., Togelius, J., **Cellular automata for real-time generation of infinite cave levels**. In: Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games, 2010. PCGames '10. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1814256.1814266>
- Kenney, 2024a. **Mini Dungeon**. <https://kenney.nl/assets/mini-dungeon>, pacote de modelos 3D. Acesso em: 24 jun. 2026.
- Kenney, 2024b. **Starter Kit City Builder**. <https://github.com/KenneyNL/Starter-Kit-City-Builder>, template para Godot Engine. Acesso em: 24 jun. 2026.
- Khalifa, A., Gallotta, R., Barthet, M., Liapis, A., Togelius, J., **The Procedural Content Generation Benchmark: An Open-source Testbed for Generative Challenges in Games**. In: Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG '25), 2025. ArXiv preprint arXiv:2503.21474v1.
- Kremers, R., 2009. Level Design: Concept, Theory, and Practice, primeira Edição. A K Peters, Ltd.

- Lazaridis, L., Fragulis, G. F., 2024. **Creating a Newer and Improved Procedural Content Generation (PCG) Algorithm with Minimal Human Intervention for Computer Gaming Development**. Computers 13 (11), 304.
- Liapis, A., Yannakakis, G. N., Togelius, J., **Towards a Generic Method of Evaluating Game Levels**. In: Proceedings of the Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE), 2013. pp. 30–36.
- Mark, D., 2019. **Modular Tactical Influence Maps**. In: Rabin, S. (Ed.), Game AI Pro 360: Guide to Tactics and Strategy. CRC Press, pp. 343–364.
- Millington, I., Funge, J., 2009. Artificial Intelligence for Games, segunda Edição. Morgan Kaufmann, Burlington, MA.
- Newzoo, 2025. **Global Games Market Report 2025**. Acessado em: 24 jun. 2026. Disponível em: <https://newzoo.com>
- Pereira, L. T., Viana, B. M. F., Toledo, C. F. M., **Procedural Enemy Generation through Parallel Evolutionary Algorithm**. In: Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames), 2021. SBC, Gramado, RS, Brazil, pp. 1–7.
- Salen, K., Zimmerman, E., 2012. Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos, primeira Edição. Vol. 1. Blucher.
- Santana, G. M., Setembro 2021. **Avaliação do Fluxo da Experiência do Jogador na Geração Procedural por Autômatos Celulares**.
- Shaker, N., Togelius, J., Nelson, M. J., 2016. Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research. Springer.
- Shi, Y., Crawfis, R., **Optimal Cover Placement Against Static Enemy Positions**. In: Proceedings of the Foundations of Digital Games Conference, 05 2013.
- Totten, C. W., 2019. An Architectural Approach to Level Design, segunda Edição. Routledge.
- Verde, R. C. V., Setembro 2021. **Avaliação da geração de conteúdo por Wave Function Collapse na experiência do jogador**.
- Wolfram, S., 2002. A New Kind of Science, primeira Edição. Wolfram Media.
- Yannakakis, G. N., Togelius, J., 2011. **Experience-Driven Procedural Content Generation**. IEEE Transactions on Affective Computing 2 (3), 147–161.

A Formulário de Avaliação da Experiência do Usuário

Neste apêndice é apresentado o formulário eletrônico disponibilizado aos participantes para a coleta de dados qualitativos sobre a experiência na ferramenta *PCGLab 3D*. O questionário foi estruturado em quatro seções principais: Termo de Consentimento, Perfil do Usuário, Percepção Comparativa e Avaliação Qualitativa por Escala.

SEÇÃO 1: TERMO DE CONSENTIMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada “Avaliação da Experiência do Usuário no PCGLab 3D”. Esta pesquisa está sendo conduzida pelo pesquisador Bruno Moraes Vasconcelos, vinculado à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Por favor, leia este termo com atenção e sinta-se à vontade para esclarecer quaisquer dúvidas antes de concordar em participar.

1. OBJETIVO DA PESQUISA: O objetivo dessa pesquisa é avaliar o impacto de diferentes cenários dispositivos de elementos na experiência do usuário dentro do modo jogável do PCGLab 3D.

2. PROCEDIMENTOS: Se você aceitar participar, será solicitado que você jogue o jogo do computador do pesquisador e depois responda a um formulário.

- **Sessão de Jogo (5-10 min):** Você jogará o modo jogável do PCGLab 3D duas vezes, em dois cenários de jogo diferentes.
- **Questionário (10 min):** Após o uso, você responderá a um questionário sobre sua experiência com o jogo. São 13 perguntas fechadas e 1 aberta.

3. RISCOS E DESCONFORTOS: Os riscos relacionados à sua participação são mínimos. Você pode sentir cansaço visual leve pelo uso do computador ou frustração caso encontre dificuldade em alguma parte do jogo.

4. BENEFÍCIOS: Você não receberá remuneração financeira pela participação. No entanto, sua contribuição ajudará a melhorar uma ferramenta que poderá beneficiar futuros alunos de cursos de Computação e Tecnologia.

5. CONFIDENCIALIDADE E ANONIMATO: Todos os dados coletados (respostas do questionário e registros do jogo) serão tratados de forma confidencial e anônima. Os resultados serão utilizados apenas para fins acadêmicos e científicos, sendo divulgados de forma agregada (estatísticas gerais), sem que seja possível identificar qualquer participante individualmente.

6. VOLUNTARIEDADE E RECUSA: Sua participação é totalmente voluntária. Você é livre para recusar o convite sem qualquer penalidade ou prejuízo.

7. CONTATO DO PESQUISADOR: Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável: Bruno Moraes Vasconcelos (E-mail: moraes.bruno@estudante.ufjf.br) – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

☐ Li e Concordo Com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

SEÇÃO 2: PERFIL DO PARTICIPANTE

1. Qual a sua idade? *

- ☐ 18 a 24 anos
- ☐ 25 a 34 anos
- ☐ 35 a 44 anos
- ☐ 45 a 59 anos
- ☐ 60 anos ou mais

2. Com que frequência você joga jogos digitais? *

- ☐ Nunca ou quase nunca
- ☐ Ocasionalmente (menos de 1 vez por semana)
- ☐ Regularmente (algumas vezes por semana)
- ☐ Frequentemente (todos ou quase todos os dias)

3. Você tem experiência com jogos do gênero *dungeon crawler* ou RPG de exploração? (ex: Diablo, Hades, The Binding of Isaac) *

- ☐ Nunca joguei esse tipo de jogo
 - ☐ Joguei pouco, conheço superficialmente
 - ☐ Tenho experiência razoável
 - ☐ Jogo com frequência, conheço bem o gênero
4. **Como você avalia sua habilidade geral em jogos de ação? ***

- ☐ Iniciante
- ☐ Intermediário
- ☐ Avançado

SEÇÃO 3: PERCEPÇÃO COMPARATIVA DAS PARTIDAS

5. **Você percebeu alguma diferença entre a primeira e a segunda partida? ***

- ☐ Sim, uma diferença clara
- ☐ Sim, uma diferença sutil
- ☐ Não percebi diferença

6. **Se percebeu diferença, em qual aspecto ela foi mais evidente? (pode marcar mais de uma) ***

- ☐ Posição dos inimigos
- ☐ Posição das moedas
- ☐ Posição dos estandartes (pontos de recarga de energia)
- ☐ Dificuldade geral
- ☐ Percurso que precisei fazer para coletar as moedas
- ☐ Não percebi diferença
- ☐ Outro: _____

7. **Os estandartes (pontos de recarga de energia) pareciam estar em posições úteis ao longo do caminho? ***

	Sim, bem posicionados	Posições desfavoráveis	Não notei
Primeira partida	☐	☐	☐
Segunda partida	☐	☐	☐

SEÇÃO 4: AVALIAÇÃO MÉTRICA DA EXPERIÊNCIA

10. Avalie a experiência geral da primeira partida em relação ao desafio oferecido: *

muito fácil ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 muito difícil

11. Avalie a experiência geral da primeira partida em relação ao quanto foi divertida: *

nada divertida ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 muito divertida

12. Avalie a experiência geral da segunda partida em relação ao desafio oferecido: *

muito fácil ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 muito difícil

13. Avalie a experiência geral da segunda partida em relação ao quanto foi divertida: *

nada divertida ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 muito divertida

14. Escreva livremente sobre as diferenças que você percebeu entre as duas partidas, o que achou mais desafiador, mais interessante ou qualquer observação que queira registrar.