

Geração procedural de conteúdo através de uma abordagem híbrida entre autômatos celulares e heurísticas

Lucas Diniz da Costa

Bacharelado em Ciência da Computação
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora - MG, Brasil
lucasdinizcosta@ice.ufjf.br

Igor de Oliveira Knop

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora - MG, Brasil
igorknop@ice.ufjf.br

Resumo—A criação de conteúdo para jogos digitais requer tempo e experiência por parte do projetista de níveis. O uso de um processo de geração procedural pode baratear os custos do projeto e possibilitar a aumento de conteúdo à disposição do jogador como um ponto forte de venda. Este trabalho realiza o posicionamento de elementos de jogo em um mapa de jogo de forma automática, através de uma abordagem híbrida entre autômatos celulares e heurísticas baseadas em buscas em uma grade bidimensional. Um protótipo de laboratório é criado como forma de alternar rapidamente entre a execução e avaliação dos métodos de geração bem como da jogabilidade do cenário para uma avaliação subjetiva da experiência do jogador.

Index Terms—geração procedural, autômatos celulares, heurísticas de busca, game flow

I. INTRODUÇÃO

O mercado de jogos vem se expandindo a cada ano e em 2019 a estimativa foi de que 2,5 bilhões de pessoas movimentaram 152 bilhões de dólares em jogos [1]. Os jogos tornaram-se cada vez mais complexos, com equipes de desenvolvimento envolvendo diretores criativos, roteiristas, animadores, dubladores, compositores de sons e músicas, equipe de testadores e muitas outras categorias, explorando a dinâmica, a mecânica e a estética para impactar na experiência do jogador.

A criação de conteúdo é tida como projeto de níveis de jogo, recursos gráficos, roteiro e animação de personagens. O projeto de níveis de jogo (em uma tradução livre do inglês, *level design*) é a tarefa para a criação do cenário no qual o personagem controlado pelo jogador se movimentará, a estruturação do ambiente, dificuldade do cenário, aplicação das músicas e efeitos sonoros, além dos critérios de exploração e progresso.

Analisar o comportamento da geração procedural e seu impacto na experiência final do jogador é um problema difícil porque normalmente é feita *ad-hoc*. Dessa forma, a questão “Como a geração procedural afeta na experiência do usuário final?”, apesar de interessante, seria uma questão inatingível inicialmente devido ao grande número de estilos e temas de

jogo. Neste trabalho será restringido o estilo de jogo *dungeon crawl*, no qual os jogadores são aventureiros explorando masmorras enquanto aumentam o nível dos atributos, habilidades e equipamento. Portanto, a questão que motiva e direciona este trabalho será redigida na forma “Como a geração procedural de mapas em um jogo *dungeon crawl* afeta na experiência final para o jogador?”. Ao investigar esta questão, espera-se que as ferramentas, técnicas e resultados encontrados possam fornecer um caminho inicial para futuramente responder à questão mais geral.

Este trabalho utiliza a geração da topologia de cavernas, desenvolvida previamente [2], como base para realizar a geração de conteúdo e distribuição de elementos de jogo para mapas de jogos no estilo *dungeon crawl*. Para tanto, um protótipo é projetado e desenvolvido como um laboratório de métodos de geração de masmorras para *dungeon crawl*, com código fonte aberto, em uma linguagem acessível, no qual o método de geração pode ser selecionado livremente. Nesse ambiente, será implementado inicialmente o método de geração de conteúdo por autômatos celulares para futuramente se definir métricas e ferramentas para coleta de dados de uso para avaliar a experiência do usuário final. Em paralelo, um jogo digital utilizará os mapas gerados para permitir ao jogador explorar o conteúdo criado. Este trabalho busca investigar a distribuição espacial automática de elementos de jogo e o modo de influência na imersão do jogador.

II. FUNDAMENTAÇÃO E TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção busca salientar uma fundamentação teórica sobre a construção de mapas e sua influência na jogabilidade e imersão do jogador.

A. Geração Procedural de Conteúdo

A Geração Procedural de Conteúdo (GPC) é a criação de conteúdos de maneira algorítmica com pouca ou nenhuma interferência do usuário [3]. No contexto de um jogo digital, seria a utilização de rotinas para acelerar e diversificar o desenvolvimento de ambientes, música, roteiro, personagens, dificuldade e vários outros elementos do jogo. Seu uso busca

umentar a variedade, qualidade e diminuir os custos e tamanho das equipes de criação. As técnicas e algoritmos para GPC mais populares são: autômatos celulares, gramáticas gerativas, algoritmos genéticos e métodos baseados em restrições [4], [5].

A GPC é explorada para as mais diversas aplicações em jogos digitais. Em [6], Johnson, Yannakakis e Togelius propuseram a utilização dos autômatos celulares para a geração em tempo real de cavernas infinitas em um jogo digital. As gramáticas gerativas buscam criar frases a partir de uma seleção finita de uma lista de regras recursivas, incluindo palavras e símbolos terminais de acordo com [4]. Em [7] foi proposto a utilização de algoritmos genéticos com enfoque na parte de geração de histórias e desenvolvimento dos mapas, podendo tanto ser feita por humanos quanto de maneira computacional e algorítmica, nesta abordagem é utilizado uma lista de pontos de roteiro que se referem a lugares onde a ação irá ocorrer.

B. Teoria dos Fluxos

O fluxo cognitivo é um conjunto de efeitos psicológicos que se acumulam para manter a atenção de uma pessoa em uma atividade de forma que a mesma fique tão entretida e não perceba a passagem do tempo. A teoria tem início na década de 70 com os trabalhos experimentais de Mihaly Csikszentmihalyi que relacionou a habilidade e a dificuldade da pessoa com os estados emocionais e cognitivos [8]. A pessoa, no estado de fluxo, fica extremamente focada na tarefa, possui um sentimento de controle ativo muito grande, mescla a ação da consciência, perda da consciência pessoal, distorção da experiência de tempo, a experiência da tarefa se torna a única justificativa necessária para mesma.

Portanto, em um jogo digital o Fluxo Cognitivo é de extrema importância ao se desenvolver a ferramenta, pois a ideia do seu produto seria manter o jogador entretido utilizando a ferramenta. Logo, o posicionamento de elementos e montagem de mapas em um jogo digital são de grande importância para modelar a experiência e imersão do jogador, pois elementos de impossível alcance e objetivos incertos podem atrapalhar a montagem do fluxo cognitivo fazendo com que o jogador perca o interesse e pare de jogar.

III. MÉTODO E DESENVOLVIMENTO

O projeto possui um ambiente ¹ que permite observar o resultado dos algoritmos de geração e realizar o teste de jogabilidade, percorrendo o cenário recolhendo os tesouros e enfrentando os inimigos. Cada execução pode ser feita a partir de uma semente de geração aleatória, que conduz a um mesmo mapa e distribuição de elementos de jogo.

A. Elementos de jogo

Os elementos que compõem a narrativa jogo foram resumidos a cinco elementos:

¹Disponível no Github:
<https://github.com/lucasDinizCosta/automatoCelularGeracaoProcedural>

- Jogador: ator principal da narrativa que interage com os demais elementos do jogo enquanto navega pelo cenário;
- Teleporte: elementos de navegabilidade, permite o jogador transitar entre as salas e impõe limites na movimentação;
- Ponto de Interesse: elementos que atuam como pontos de controle. No modelo preenche a barra de energia do personagem que decai com o tempo, obrigando-o a retornar constantemente;
- Inimigo: elementos de desafio. No modelo perseguem e atacam o jogador;
- Tesouro: elementos de recompensa, relacionadas com o objetivo do jogo ou progresso. No modelo, moedas que devem ser coletadas pelo jogador;

B. Sistemas de Cavernas

O mapa é gerado proceduralmente a partir de autômatos celulares com três estados (Chão, Rocha e Muro) e duas heurísticas aplicadas nos autômatos celulares para a montagem das salas em volta das masmorras, posteriormente foi utilizado uma adaptação do algoritmo *flood-fill* para remover as salas de tamanho menor que 25 blocos que teriam dimensões diminutas para adicionar conteúdo [2].

Após a filtragem das salas pequenas demais, são executadas novamente iterações dos autômatos que conduzem à estrutura orgânica do mapa de jogo. Para o jogador poder transitar entre as salas, foi utilizado uma rede de teletransportes, distribuídas de forma a ligar as salas a duas outras. A Fig. 1 representa graficamente o mapa construído pelo algoritmo desenvolvido.

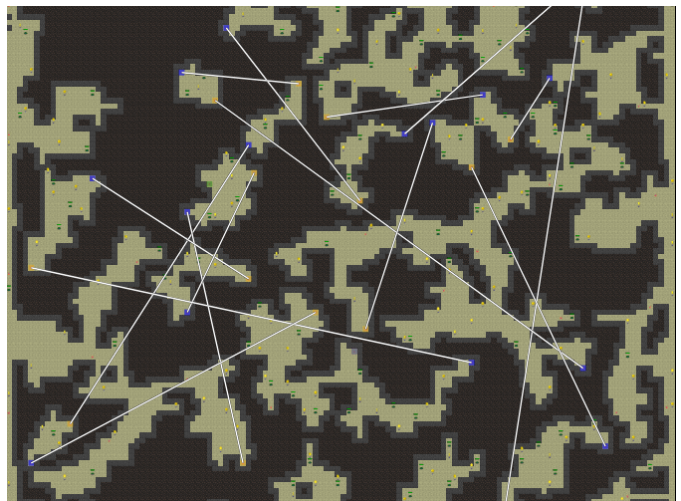


Fig. 1. Sistemas de cavernas orgânicas e interligadas por um sequência de teletransportes [2].

C. Posicionamento de elementos de jogo

A heurística de posicionamento dos elementos utiliza as distâncias entre os de mesmo tipo ou combinações lineares das distâncias entre elementos diferentes. A influência de um elemento se propaga pelas células do mapa. Cada célula possui

um valor atribuído muito alto, para simbolizar que há pouca influência no posicionamento ou que a célula é “não visitadas”.

Quando um elemento é adicionado, é atribuído o valor de distância zero para a célula de referência, os demais valores são recalculados e a influência é propagada pelas células vizinhas. Alguns elementos são posicionados pela influência combinada de outros elementos. Esta matriz de posicionamento é denominada de mapa de influências ou matriz de influências, pois um elemento modifica toda a matriz e influencia no posicionamento de outros [9], [10].

Os primeiros elementos a serem posicionados são os teletransportes. A partir de uma célula central da sala são calculadas as distâncias de teletransporte e em uma das células mais distantes será posicionado o teleporte inicial (de entrada). Em seguida, recalcula-se a a matriz de distâncias nas células a uma porcentagem da maior distância é sorteado uma das células disponíveis para ser o teleporte final (de saída). A Fig. 2 representa a matriz de distância dos teletransportes com mapa de calor variando vermelho para as menores distâncias para o verde nas maiores distâncias.

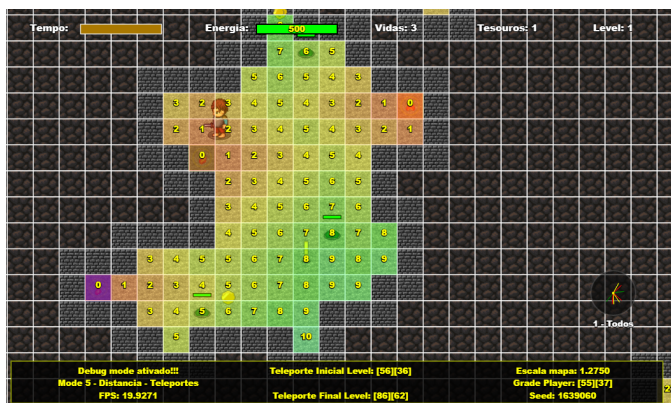


Fig. 2. Camada simples de distância dos teletransportes.

Os pontos de interesse são posicionados em cada um dos teletransportes, pois fazem parte da atenção do jogador e estimar energia necessária do jogador ao transitar nas salas. Os demais pontos de interesse, que recarregam a energia do jogador, são distribuídos em uma distância viável para que o jogador consiga atravessar a distância entre um ponto e outro. O mesmo processo de sortear um ponto a um determinado valor e recalculer a matriz é realizado.

Os inimigos possuem uma área de detecção do jogador de quase 5 células (conhecido como *aggro radius*). O posicionamento deles é feito por uma combinação de influências dos teletransportes, inimigos e uma camada composta denominada inimigos-teletransportes. Primeiramente as células da sala são filtradas para que sejam analisadas somente células com a distância de teletransportes maiores que 5, assim, o jogador não inicia em uma sala sendo atacado. Encontra-se o valor máximo da distância dos inimigos e dos teletransportes e calcula-se uma normalização da distância para todas as células da sala, se este valor for maior que 50% na célula analisada, esta será adicionada a uma lista de células e uma delas será

sorteada para posicionar o inimigo se a lista não for vazia. O objetivo é distribuir os desafios por todo o cenário, controlando a dificuldade quando for de interesse. A Fig. 3 representa a camada simples de distância dos inimigos, enquanto que a Fig. 4 representa a camada composta normalizada de distância dos inimigos e teletransportes.

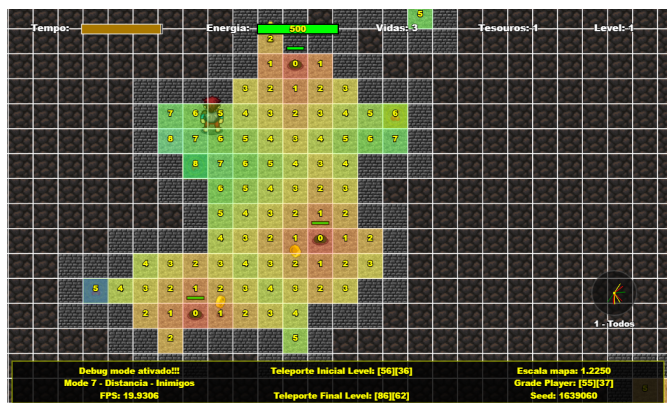


Fig. 3. Camada simples de distância dos inimigos.

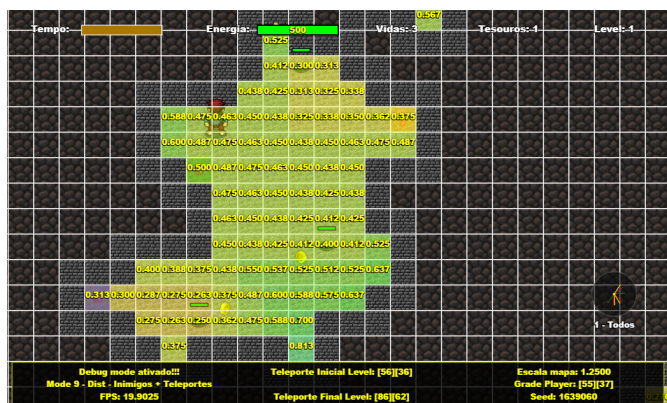


Fig. 4. Camada composta normalizada da distância dos Inimigos e teletransportes

As moedas seguem uma quantidade limitada por cada sala, com uma proporção em função da área disponível. Já o posicionamento é bem similar ao visto para os inimigos, no fato de se guiarem por observação das camadas de distâncias simples de cada elemento de jogo e uma composta mas incluindo a camada de inimigos de forma que a cada desafio esteja próximo, uma influência. A Fig. 5 representa a camada da distância dos tesouros.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A geração procedural de conteúdo tem sido perseguida na indústria como forma de baratear enquanto a aumenta a quantidade de conteúdo para o jogador final. Analisar o comportamento da geração procedural e seu impacto na experiência final do jogador é um problema difícil porque normalmente é feita caso a caso.

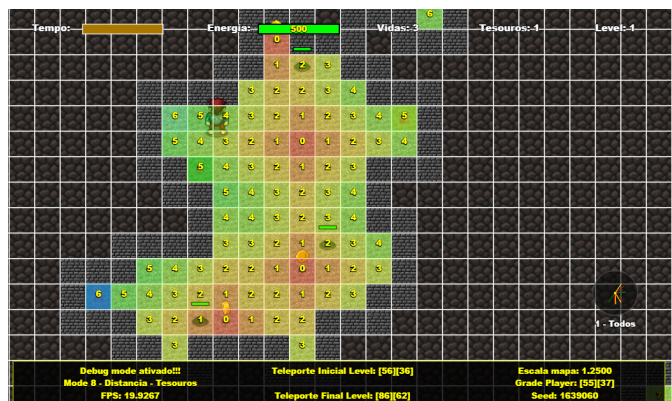


Fig. 5. Camada simples de distância dos tesouros.

Este projeto, em andamento, busca explorar o fluxo da experiência do jogador em mapas gerados proceduralmente. Em uma etapa anterior uma geração de topologia de cavernas bidimensionais foi gerada e, o objeto principal deste trabalho investiga o posicionamento de elementos de jogo através de heurísticas de buscas. O próprio ambiente de execução atua como laboratório para os algoritmos e é jogável diretamente pelo uso da ferramenta.

O posicionamento ainda carece melhorias para seguir a progressão de dificuldade, assumindo que o jogador progride em força e habilidade ao percorrer as salas e coletar equipamentos. Esse ajuste de dificuldade é planejado para uma próxima etapa.

A exibição do fluxo também ainda está sendo feita de forma empírica, pelo próprio jogador. Espera-se que esta seja medida com métricas e avaliadas através dos mapas de influência e busca por caminhos ótimos nos mapas gerados.

Por fim, espera-se realizar a telemetria de jogadores reais, para se gerar um conjunto de dados *a posteriori* e comparar com os resultados simulados *a priori*.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Wijman, “The Global Games Market Will Generate \$152.1 Billion in 2019 as the U.S. Overtakes China as the Biggest Market,” 2019. [Online]. Available: <https://newzoo.com/insights/articles/the-global-games-market-will-generate-152>
- [2] L. D. da Costa and I. de Oliveira Knop, “Autômatos celulares aplicados na geração procedural de conteúdo em jogos,” Apresentado nas Sessões Técnicas do VI Forum Acadêmico de Estudos Lúdicos, Rede Brasileira de Estudos Lúdicos, São Paulo, 2019. [Online]. Available: <https://www.rebel.org.br/fael6artigos/>
- [3] J. Togelius, E. Kastbjerg, D. Schedl, and G. N. Yannakakis, “What is procedural content generation?: Mario on the borderline,” in *Proceedings of the 2nd international workshop on procedural content generation in games*. ACM, 2011, p. 3.
- [4] R. Van Der Linden, R. Lopes, and R. Bidarra, “Procedural generation of dungeons,” *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 6, no. 1, pp. 78–89, 2014.
- [5] G. Smith, “The future of procedural content generation in games,” in *Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*, 2014.
- [6] L. Johnson, G. N. Yannakakis, and J. Togelius, “Cellular automata for real-time generation of infinite cave levels,” in *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*. ACM, 2010, p. 10.
- [7] K. Hartsook, A. Zook, S. Das, and M. O. Riedl, “Toward supporting stories with procedurally generated game worlds,” in *2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG’11)*. IEEE, 2011, pp. 297–304.
- [8] M. Csikszentmihalyi, S. Abuhamdeh, J. Nakamura *et al.*, “Flow,” 1990.
- [9] D. Mark, “Modular tactical influence maps,” *Game AI Pro*, vol. 2, p. 343, 2015.
- [10] X. Lu and X. Wang, “A dynamic influence map model based on distance adjustment,” in *2018 IEEE 3rd International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS)*. IEEE, 2018, pp. 183–187.