

# Uma Abordagem para Utilização Musical na Geração Procedural de Conteúdo em Jogos Digitais

Thyago B. Lima<sup>1</sup>, Leonardo O. Moreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universidade Virtual (UFC Virtual)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Fortaleza, CE – Brasil

thyagobezerra8608@gmail.com, leomoreira@virtual.ufc.br

**Abstract.** *The use of musical elements in games that impacts and modifies the player experience is increasingly frequent in some digital games. Music Information Retrieval (MIR) provides support for extraction of musical characteristics for them to be handled, analyzed and used for various purposes. This article presents an approach for using music in procedural generation of content in digital games. To evaluate the proposed approach, a prototype was developed, as Proof of Concept, to show an application of the proposed approach.*

**Resumo.** *A utilização de elementos musicais em jogos que impacta e modifica a experiência do jogador está relacionado com a utilização de Music Information Retrieval (MIR), que fornece suporte para extração de características musicais para que sejam tratadas, analisadas e utilizadas para diversos fins. Este artigo apresenta uma abordagem para utilização de músicas na geração procedural de conteúdo em jogos digitais. Para avaliar a abordagem proposta, um protótipo foi desenvolvido, como Prova de Conceito, para mostrar uma aplicação da abordagem.*

## 1. Introdução

A utilização de música em jogos como um fator que modifica a experiência do jogador é algo que é observado com mais frequência em jogos de ritmo como Guitar Hero [Activision 2018], em que a jogabilidade envolve o jogador ter o *timing* de acertar as notas no momento certo, em acordo com a música que está tocando. Entretanto, alguns jogos vão além disso e utilizam música como um fator que influencia na jogabilidade de outras formas, como no jogo Crypt of the Necrodancer [Brace Yourself Games 2018] em que o tempo e o ritmo da exploração de um andar do calabouço é marcado pela música que está tocando. Já em jogos como Riff Racer [FOAM Entertainment 2018] o jogador percorre uma pista que é construída proceduralmente a partir da música escolhida e seu trajeto é modificado levando em consideração os diferentes momentos de uma música, como um refrão, uma parte mais agitada ou um *drop* (um ponto na música que há uma mudança brusca de ritmo).

A Geração Procedural de Conteúdo (GPC) em jogos digitais pode ser definida como um conjunto de técnicas de produção de conteúdo que é utilizado na geração de elementos de um jogo, por exemplo: terrenos, mapas, personagens, sons, dentre outros elementos [Oliveira 2016]. Assim, os jogos como Guitar Hero, Crypt of the Necrodancer e Riff Racer utilizam elementos da música no conteúdo produzido ou consumido. Neste contexto, surge a necessidade da adoção de técnicas ou estratégias que sejam capazes de

obter elementos ou dados nas músicas. *Music Information Retrieval* (MIR) é considerada uma ciência, de conhecimento interdisciplinar, que visa a extração de elementos ou informações em objetos com conteúdos musicais [Mrozek et al. 2016]. Assim, MIR pode ser utilizado, como uma técnica, para extração de elementos musicais para que possam ser utilizados em jogos digitais.

O objetivo principal deste artigo é apresentar uma abordagem para utilização musical na geração procedural de conteúdo em jogos digitais. Para atingir o objetivo principal, alguns objetivos secundários foram elencados: (i) analisar formas de utilização de sons como parâmetro para a geração procedural de conteúdo em jogos digitais; e (ii) projetar uma arquitetura de sistema para suportar formas de utilização de sons na geração procedural de conteúdo em jogos digitais.

A estrutura restante deste manuscrito está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta as definições e os elementos teóricos que são necessários para um melhor entendimento do trabalho proposto. Já a seção 3 detalha e discute os trabalhos relacionados. A seção 4, por sua vez, apresenta a abordagem proposta e detalha a arquitetura de sistema projetada. A seção 5 demonstra os aspectos de implementação da abordagem proposta por meio de uma Prova de Conceito, destacando como os componentes da arquitetura de sistema projetada foram implementados. Por fim, a seção 6 conclui o trabalho e apresenta os trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico

A Geração Procedural de Conteúdo (GPC) em jogos é uma técnica introduzida inicialmente no jogo *Rogue*, de 1980, na geração dos níveis e a distribuição dos itens que o jogador deve encontrar. Desde então, a utilização de Geração Procedural tem evoluído com a geração de terreno, vegetação e cidades. A utilização de GPC na produção de jogos se trata de uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada para aumentar a produtividade de estúdios de jogos, permitindo aliviar o trabalho de designers gerando os níveis que os jogadores irão interagir através do algoritmo de GPC [Oliveira 2016].

Já a análise do som é o estudo da extração de informações de sinais sonoros para sua classificação e armazenamento. Empresas especializadas em streaming de músicas utilizam a análise de som para determinar as preferências musicais de seus clientes, apresentando sugestões que melhor se encaixam nas suas preferências. Na análise do som, é possível determinar diferentes momentos da música, como a mudança de um verso para um refrão ou a detecção de um drop, por exemplo. Também é possível utilizar música para a análise de “mood” (estado emocional) que a música transmite para o ouvinte [Delbouys 2018].

*Music Information Retrieval* (MIR) consiste no trabalho de recolher e analisar informações presentes em músicas. Através de diferentes técnicas e softwares, podemos analisar as diferentes características de uma música, como o seu *pitch* (ou seja, a altura de uma nota definido em *hertz*), seu ritmo, a estrutura e a forma da música. Estas informações podem ser utilizadas para tornar possível a classificação de uma música por gênero, identificação de uma versão “cover” (isto é, um artista que não é o autor original da música reproduzindo ela), identificar o seu “mood” (a sensação emocional que uma música transmite) e até mesmo identificar qual é uma determinada música tendo apenas acesso a um pequeno trecho dela. MIR pode ser utilizado para geração procedural de

conteúdo em jogos, tendo estas informações extraídas e utilizadas como parâmetros em algoritmos de Geração Procedural de Conteúdo.[Schedl et al. 2014]

### 3. Trabalhos Relacionados

A busca por trabalhos correlatos ao objetivo deste artigo foi feita utilizando as palavras “procedural generation”, “music information retrieval”, “sound analysis” e “music analysis”. Com relação a data de publicação dos artigos foram considerados artigos publicados a partir de 2011. As fontes de buscas utilizadas foram o IEEE Xplore Digital Library<sup>1</sup> e o Google Acadêmico<sup>2</sup>. Os critérios de inclusão dos artigos selecionados foram a inclusão de geração procedural de conteúdo e análise de som em jogos. Os critérios de exclusão foram artigos que tivessem sido publicados antes de 2011, artigos que não explorassem geração procedural em jogos e artigos de análise de som que não analisassem os estados emocionais “mood” transmitido pela música analisada. Também foram excluídos artigos de análise de som que remetessem a estudos de padrões sonoros que não tivessem relação com música.

Smith et al. (2011) desenvolveu um jogo de ritmo que utiliza geração procedural para os níveis chamado Launchpad. Este jogo é um *endless runner*, ou seja, um jogo cujo nível avança de forma indefinida, enquanto o personagem controlado pelo jogador avança por este cenário, sendo interrompido apenas caso o jogador perca a partida, alia ritmo à construção de níveis de um jogo do tipo plataforma. Os conjunto de plataformas é associada aos tipos específicos de ritmo, modificando o level *design* a partir do ritmo estabelecido. Já Oliveira (2015) desenvolveu um jogo do estilo *stealth* (um tipo de jogo que incentiva uma jogabilidade furtiva, em que o jogador deve evitar ser detectado pelo inimigo) utilizando geração procedural tomando como parâmetros diferentes características analisadas da música escolhida pelo usuário. Na análise do som realizada por ele, o tempo e a altura do som são os parâmetros que determinam características tomadas pelo pesquisador para determinar a forma que diferentes elementos do jogo se comportariam.

Rose et al. (2016) elaborou uma metodologia de pesquisa de trabalhos relacionados que apresentavam diferentes tipos de geração procedural, variando entre geração de terrenos, continentes, rios, cidades, dentre outros. Já Delbouys et al. (2018) utilizou de técnicas de *deep learning* (ou seja, métodos de aprendizado de máquina) com uma rede neural, utilizando um vasto banco de dados para analisar o mood de diferentes músicas. Para a determinação do mood de uma música, foi levado em consideração nesta pesquisa a valência para a determinação de moods positivos e negativos e a excitação para determinar momentos mais calmos e energéticos. A excitação é algo mais relacionado com às batidas por minuto da música (*bpm*), enquanto que a valência é a união de *bpm* e uma análise da letra da música.

A Tabela 1 apresenta as características entre os trabalhos relacionados e ressalta as principais contribuições da abordagem proposta neste artigo em relação aos trabalhos relacionados.

---

<sup>1</sup>IEEE Xplore Digital Library. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

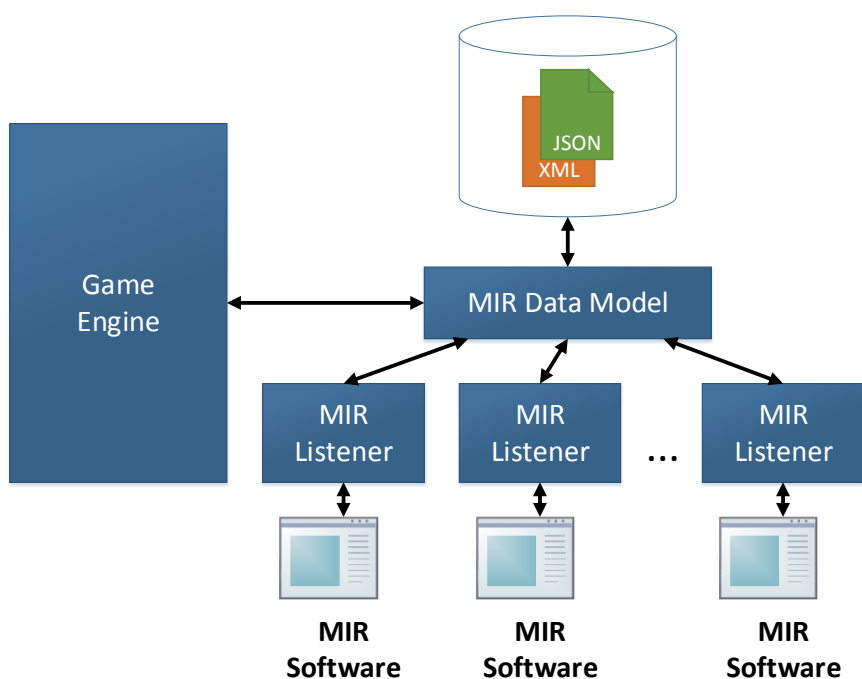
<sup>2</sup>Google Acadêmico. Disponível em <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

**Tabela 1. Trabalhos relacionados e suas principais características**

| <b>Trabalho</b>        | <b>Música como fator de GPC</b> | <b>Implementação</b> |
|------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Smith et al. (2011)    | Não                             | Sim                  |
| Oliveira (2015)        | Sim                             | Sim                  |
| Rose et al. (2016)     | Não                             | Não                  |
| Delbouys et al. (2018) | Não                             | Não                  |
| <b>Nossa Abordagem</b> | <b>Sim</b>                      | <b>Sim</b>           |

#### 4. Abordagem Proposta

Neste trabalho, é explorada uma abordagem para a utilização de música na geração procedural de conteúdo no contexto de jogos digitais. Neste sentido, foi especificada uma arquitetura de sistema e seus componentes, objetivando permitir a utilização de música como entrada para geração procedural de conteúdo no desenvolvimento de jogos digitais. A Figura 1 ilustra os detalhes da arquitetura de sistema proposta na abordagem discutida deste trabalho.



**Figura 1. Arquitetura de Sistema**

Cada componente *MIR Listener* é responsável por captar dados musicais extraídos por técnicas ou tecnologias de MIR em objetos musicais. Este componente encapsula as complexidades de se comunicar com cada uma destas técnicas ou tecnologias, criando uma interface única para que a arquitetura de sistema proposta consiga consumir e comunicar com as diversas técnicas ou tecnologias de MIR.

Já o componente *MIR Data Model* é responsável por representar os dados musicais obtidos pelos componentes *MIR Listener* em um formato que seja padronizado e legível pelo componente *Game Engine*. Linguagens, como *eXtensible Markup Language*

(XML) [W3C 2018] e *JavaScript Object Notation* (JSON) [Flanagan 2006], que se tornaram padrões para troca de informações entre plataformas, linguagens ou tecnologias diferentes podem ser utilizadas como formato de representação de dados no componente *MIR Data Model*.

O componente *Game Engine* representa o software para desenvolvimento do jogo que faz uso da geração procedural de conteúdo em jogos digitais, por meio dos dados representados no componente *MIR Data Model*. Como o componente *MIR Data Model* utiliza uma linguagem padrão para troca de informações, o componente *Game Engine* pode facilmente ler e interpretar os dados obtidos no componente *MIR Data Model*, pois a maioria das linguagens de programação e *Game Engine* possuem bibliotecas para manipular dados em XML e JSON.

Esta arquitetura de sistema e seus respectivos componentes permitem que sejam utilizados, no desenvolvimento de jogos digitais, dados extraídos por soluções de MIR. Com isso, mostrando a solução e aplicabilidade de MIR para a geração procedural de conteúdo em jogos digitais.

## 5. Implementação e Avaliação

A avaliação proposta neste trabalho consiste na implementação da arquitetura de sistema proposta em um jogo como uma Prova de Conceito (do inglês, *Proof of Concept*). Segundo Neto et al. (2018) a utilização de Prova de Conceito é uma prática de pesquisa que serve como um instrumento para construção de conhecimento em um estudo, podendo ser empregado nas seguintes atividades: análises, simulações, testes etc. Assim, foi implementado um jogo, denominado Thunder and Lightning, como Prova de Conceito.

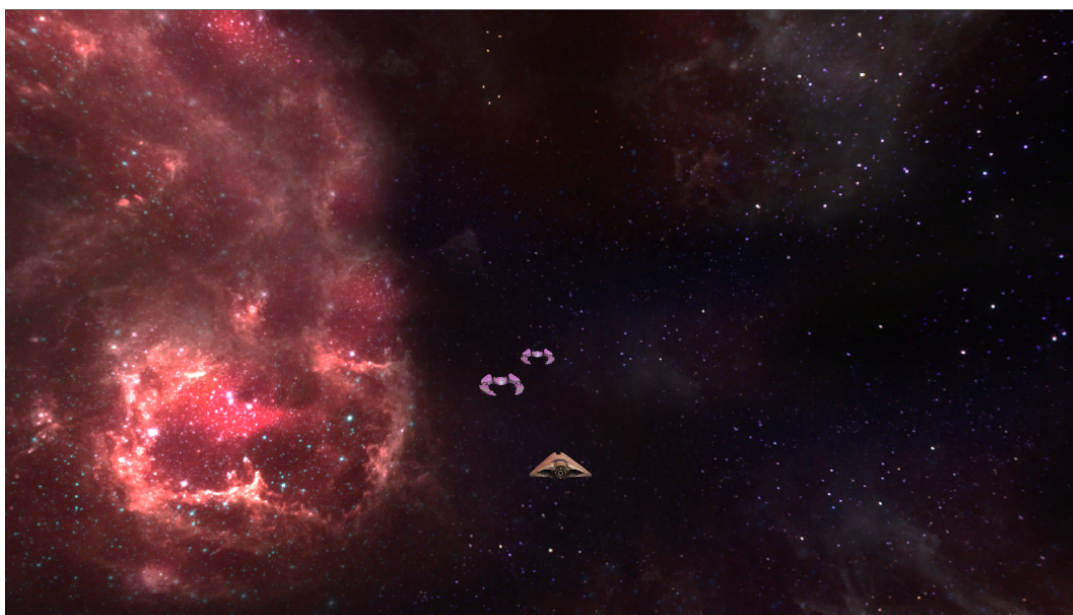
Thunder and Lightning é um protótipo de um jogo no estilo “Shooter on Rails” (Jogo de tiro em trilhos, em tradução livre). Esse jogo é inspirado em jogos do estilo como After Burner [Wikimedia 2018a] e Star Fox [Wikimedia 2018b], onde o jogador controla uma nave que deve desviar de naves inimigas até chegar em seu objetivo o qual, no caso deste jogo, é sobreviver durante toda a duração da música escolhida.

Na utilização de música na Geração Procedural de Conteúdo, esta Prova de Conceito utiliza a entropia da música para determinar quando os obstáculos (neste caso, naves inimigas que irão perseguir a nave do jogador) são criados e devem ser evitados para demonstrar como a música pode influenciar no fluxo do jogo. O jogo Thunder and Lightning foi desenvolvido na Game Engine Unity [Unity Technologies 2018] versão 2018.2, representando o componente *Game Engine* na arquitetura de sistema proposta.

Para a operação de MIR, foi utilizado o software Meapsoft como componente *MIR Software* da arquitetura de sistema proposta, o Meapsoft também utilizado por Oliveira (2015). Nesta Prova de Conceito, foram analisadas 3 músicas diferentes, uma com um valor médio de entropia mais baixo, outra mediana e outra maior. No Meapsoft, foi escolhido os parâmetros “tamanho do trecho” (*chunk length*), “potência médio do trecho” (*Average chunk power*), “duração do trecho” (*Chunk time*), “tempo de início do trecho” (*chunk start time*) e “entropia” (*entropy*). Esses dados foram organizados em JSON, como implementação do componente *MIR Data Model*, para serem consumidos pelo jogo por meio de bibliotecas da *Game Engine*.

Nesta Prova de Conceito, foi estabelecido que cada trecho da música teria seu

valor de entropia (relação de “desordem” ou “imprevisibilidade” de uma música, ou seja, a complexidade percebida) comparado com o valor de entropia do trecho anterior, o que ajuda a determinar diferentes “momentos” da música. Caso este valor do trecho atual seja maior do que o do trecho anterior, haverá o surgimento de inimigos no cenário que irão perseguir o jogador, que deve evitar colidir com os inimigos. Uma visualização da tela do jogo Thunder and Lightning pode ser obtida na Figura 2.



**Figura 2. Tela do jogo desenvolvido como Prova de Conceito**

Como parâmetro para determinar as diferenças entre os trechos da música, foi escolhido a quantidade de vezes que uma nave inimiga era criada na cena durante a duração da música. Este parâmetro foi escolhido por ser um que demonstra com maior eficácia a mudança de outros elementos da música (como o *pitch*) de forma mais eficiente. Para demonstrar os diferentes resultados que foi obtido, foram escolhidas 3 músicas diferentes. A Tabela 2 detalha as músicas utilizadas e seus respectivos valores de *bpm*.

**Tabela 2. bpm de cada música**

| <b>Música</b> | <b><i>bpm</i></b> |
|---------------|-------------------|
| Música 1      | 111               |
| Música 2      | 113               |
| Música 3      | 130               |

A Tabela 3 exibe a quantidade de vezes que as naves inimigas eram criadas na cena durante um mesmo período de tempo. Diante dos valores descritos na Tabela 3, podemos observar que a música com um *bpm* intermediário (113 *bpm*) acabou gerando na cena mais inimigos. Isso aconteceu porque quando o algoritmo comparava os valores de entropia de um trecho com o seu trecho anterior, normalmente o trecho seguinte possuía um valor maior.

**Tabela 3. Quantidade de inimigos geradas em cada música**

| <b>Música</b> | <b>Inimigos</b> |
|---------------|-----------------|
| Música 1      | 279             |
| Música 2      | 512             |
| Música 3      | 466             |

## **6. Conclusão**

Este artigo apresentou uma abordagem que faz utilização de dados musicais, por meio de tecnologias ou técnicas de MIR, na geração procedural de conteúdo em jogos digitais. Para isso, uma arquitetura de sistema foi projetada e discutida, destacando a funcionalidade de cada componente arquitetural. Um jogo foi desenvolvido, como Prova de Conceito da abordagem arquitetural proposta, no intuito de mostrar a aplicabilidade do uso de MIR na geração procedural no contexto de jogos digitais. Como principais contribuições do artigo, ressaltam-se: i) uma arquitetura de sistema que permite o uso de tecnologias e técnicas de MIR para geração procedural de conteúdo em jogos digitais; ii) uma implementação para mostrar a validação da abordagem proposta; e iii) a análise e os resultados obtidos pela implementação desenvolvida nas tecnologias que foram escolhidas.

Dentre as dificuldades encontradas no desenvolvimento da prova de conceito, é necessário destacar a falta de tutoriais e guias no software utilizado como MIR, o Meapsoft. Para fazer a extração das características das músicas analisadas, foi primeiro necessário explorar os vários aspectos da ferramenta até se conseguir alcançar uma metodologia que pudesse ser utilizável.

Como trabalhos futuros, pretende-se: i) realizar implementações de outros tipos jogos que utilizam elementos de música em seu conteúdo, objetivando mostrar que a arquitetura de sistema proposta pode ser aplicada a outros tipos de jogos; ii) avaliar os aspectos de implementação da abordagem proposta no intuito de verificar o nível de complexidade que um desenvolvedor de jogos enfrenta ao utilizar nossa proposta; e iii) incrementar nossa implementação com outras técnicas ou tecnologias de MIR para aumentar o número de elementos musicais que podem ser coletados e utilizados no jogo, mostrando assim que nossa solução pode abranger várias soluções ou softwares de MIR.

## **Referências**

- Activision (2018). *Guitar Hero*. Disponível em: <https://www.guitarhero.com/br/pt/>. Acessado em: 02 de setembro de 2018.
- Brace Yourself Games (2018). *Crypt of the Necrodancer*. Disponível em: <https://braceyourselfgames.com/crypt-of-the-necrodancer/>. Acessado em: 02 de setembro de 2018.
- Delbouys, Remi, R. H. F. P. J. R.-L. M. M. (2018). Music mood detection based on audio and lyrics with deep neural net. *19th International Society for Music Information Retrieval Conference*.
- Flanagan, D. (2006). *JavaScript: The Definitive Guide: The Definitive Guide*. O'Reilly Media.

- FOAM Entertainment (2018). *Riff Racer*. Disponível em: <http://www.riffracer.com/>. Acessado em: 02 de setembro de 2018.
- Mrozek, D., Socha, B., Kozielski, S., and Małysiak-Mrozek, B. (2016). An efficient and flexible scanning of databases of protein secondary structures. *Journal of Intelligent Information Systems*, 46(1):213–233.
- Neto, A. J. R., Borges, M. M., and Roque, L. (2018). A preliminary study of proof of concept practices and their connection with information systems and information science. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, TEEM'18, pages 270–275, New York, NY, USA. ACM.
- Oliveira, N. (2016). Classificação de algoritmos para geração procedural de conteúdo em jogos digitais. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Computação), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, Brasil.
- Oliveira, N. F. B. (2015). Music-Based Procedural Content Generation for Games. Dissertação de Mestrado (Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Rose, T. J. and Bakaoukas, A. G. (2016). Algorithms and approaches for procedural terrain generation - a brief review of current techniques. *8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, pages 1–2.
- Schedl, M., Gómez, E., and Urbano, J. (2014). *Music Information Retrieval: Recent Developments and Applications*, volume 8. now publishers.
- Smith, G., Whitehead, J., Mateas, M., Treanor, M., March, J., and Cha, M. (2011). Launchpad: A rhythm-based level generator for 2-d platformers. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 3.
- Unity Technologies (2018). *Unity*. Disponível em: <https://unity3d.com/pt>. Acessado em: 02 de novembro de 2018.
- W3C (2018). *Extensible Markup Language (XML)*. Disponível em: <https://www.w3.org/XML/>. Acessado em: 02 de novembro de 2018.
- Wikimedia (2018a). *After Burner*. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/After\\_Burner](https://pt.wikipedia.org/wiki/After_Burner). Acessado em: 02 de setembro de 2018.
- Wikimedia (2018b). *Star Fox (jogo eletrônico)*. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Star\\_Fox\\_\(jogo\\_eletr%C3%B4nico\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Star_Fox_(jogo_eletr%C3%B4nico)). Acessado em: 02 de setembro de 2018.