Composição de música caótica em tempo real para games

Leonardo Porto Passos
PPG em Música / Instituto de Artes
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
Piracicaba/SP, Brasil
leoportopassos@gmail.com

José Fornari
CPG / DM / IA
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
Campinas/SP, Brasil
fornari@unicamp.br

***Resumo* — Música caótica é um gênero de música eletrônica composta com o auxílio de modelos computacionais de comportamento imprevisível, como os conhecidos mapas logísticos. Utilizando um modelo dinâmico programado em Pure Data (Pd), o presente artigo apresenta o uso desta equação polinomial não linear para a composição musical computacional de música caótica com vistas à sua utilização em games com temática de ficção científica ou com trilha sonora experimental. Os resultados são apresentados, explicados e discutidos em termos de possíveis desenvolvimentos futuros.**

Palavras-chave — Áudio para games, Videogame, Música caótica, Música computacional, Pure Data.

I. INTRODUÇÃO

Música caótica é um termo que se refere a um tipo peculiar de modelos algorítmicos de composição musical que utilizam equações não lineares e apresentam comportamento imprevisível para gerar música. Há diversos desenvolvimentos nesse campo de pesquisa, e entre eles está o mapa logístico, composto por um mapeamento polinomial dado por uma única equação não linear que pode apresentar comportamento caótico. Criado no final do século XIX pelo matemático belga Pierre François Verhulst com a intenção de prever a variação do tamanho das populações, o mapa logístico foi popularizado por sua menção em um artigo de Robert May sobre como modelos determinísticos simples podem apresentar comportamento indeterminístico complexo [1].

Uma peculiaridade artística atrativa dos modelos caóticos é sua capacidade de apresentar diversas possibilidades de variabilidade limitada para qualquer mudança minuciosa de seu único parâmetro: "R". O mapa logístico é definido por: $X_{n+1} = RX_n (1 - X_n)$. Quando X_n é normalizado entre 0 e 1 e R está variando de 3,06 a 4, a equação irá gerar valores de X_{n+1}, cujo comportamento varia de padrões oscilatórios únicos, como ondas senoidais harmônicas ou intervalos melódicos repetidos, a sequências quase aleatórias, como tons complexos ou padrões melódicos intrincados.

Sendo a música a arte dos sons organizados em termos de microestrutura (timbre) e macroestrutura (melodia, harmonia e ritmo), o comportamento caótico pode revelar-se frutífero, já que é capaz de gerar padrões sonoros perceptualmente significativos, dentro de determinados conceitos, ao criar timbres, melodias, contrapontos e harmonias polifônicas capazes de formar estruturas criativas e mantendo relativo nível de semelhança perceptiva entre si, em um conjunto de possibilidades que confere identidade estilística ao som de saída (em termos de pulsações, tons e timbres), de forma significativa em termos cognitivos e até mesmo agradável em termos afetivos.

II. SISTEMAS DINÂMICOS

Sistemas caóticos são, antes de tudo, sistemas dinâmicos, que têm como característica a evolução de suas grandezas no tempo. Um atrator é a descrição de resultados prováveis diante de determinadas condições iniciais. Já sistemas não lineares são aqueles cujo comportamento é imprevisível, irregular, não periódico, em que não se aplica o princípio matemático da superposição, no qual duas soluções podem ser somadas para formar uma terceira solução correta. Atratores de sistemas dinâmicos não lineares apresentam complexa estrutura fractal [2]. Uma ínfima diferença em sua condição inicial leva o sistema a comportar-se de maneira diferente, levando a resultados absolutamente distintos ao longo do tempo [3]. Algoritmos que usam equações não lineares e, assim, apresentam comportamento caótico são de grande valor criativo para a composição musical computacional.

Uma das possibilidades é o já mencionado mapa logístico, uma equação polinomial não linear simples que apresenta comportamento caótico. Com a utilização de dois desses mapas logísticos, foi desenvolvido, com o Pure Data[1] (Pd), um modelo computacional dinâmico que gera sequências melódicas não determinísticas, que apesar de imprevisíveis, ainda mantêm certa semelhanças sonoras, o que proporciona a essas melodias alguma familiaridade perceptual com os cânones musicais aos quais nossos ouvidos são tão afeitos há séculos, o que diminui o estranhamento geralmente causado pelas composições não lineares, ainda que se mantenha a inovação, singularidade e imprevisibilidade almejadas com esse tipo de composição.

Um tipo de música que, ainda que não goze de extrema popularidade nos dias de hoje – por romper com o conhecido e com o estabelecido devido às suas características atonais, experimentais e transgressoras –, suscita entusiasmo e fascínio por seu frescor criativo e pelo processo conceitual de criação musical, aproximando-se da áudio-arte. Além disso, também se relaciona com a projeção ou especulação de como seria a música do futuro, com o esgotamento do sistema tonal e os avanços tecnológicos na área musical, ou a música de uma outra civilização totalmente distinta e alheia aos padrões da imaginação humana – que apesar de vasta, possui seus limites por questões inevitáveis.

Tudo o que envolve a criatividade humana, o que inclui a composição musical, é limitado pelo que é conhecido, portanto, somos circunscritos pelas fronteiras da nossa própria imaginação, que, por sua vez, é restrita pelo nosso repertório. "Ao escrever programas de computador que geram sons baseados em teorias envolvendo indeterminação, teoria do caos ou algum outro sistema, esses compositores

[1] Ambiente de programação visual de código aberto para o desenvolvimento de *softwares* de forma gráfica, o que reduz a escrita de linhas de código. Com programação de fluxo de dados (*dataflow programming*), na qual os pulsos de sinais são processados conforme percorrem os objetos, o Pd pode ser usado para processar e gerar sons e manipular dispositivos de entrada e MIDI. Disponível em: <http://puredata.info/downloads>.

tornam a máquina capaz de gerar música que vai além da imaginação humana e do conhecido. Os compositores que trabalham dessa maneira parecem tão interessados no processo conceitual de criar música quanto no produto acabado" (tradução livre) [4].

É com os olhares voltados a essas especulações sobre como pode ser a música extraterrestre ou do futuro que apresentamos neste artigo um *patch*[2] do Pd para a composição musical computacional em tempo real de melodias caóticas, com vistas à utilização em games com temática de ficção científica ou que explorem o experimentalismo em sua trilha sonora.

III. FICÇÃO CIENTÍFICA & MÚSICA ELETRÔNICA

Segundo [5], para que uma obra seja considerada de ficção científica, seja ela um filme, um livro, uma história em quadrinhos ou um game, é necessário que sua narrativa seja centrada em um ou mais desses temas: mundos alternativos, viagens espaciais e temporais, experiências científicas, alta tecnologia e personagens não humanos ou super-humanos [5]. A ficção científica é a imaginação do desconhecido, do estranho, do novo, feita dentro dos limites do possível e do plausível, e seus temas podem ser reduzidos a apenas quatro tipos fundamentais: alteridade (humano vs. não humano), tecnologia, tempo e espaço [6].

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, o cinema hollywoodiano voltou a se desenvolver, e com novos temas, já que o pós-Guerra trouxe novas preocupações e esperanças, como a Guerra Fria, a corrida espacial e nuclear e inúmeros avanços tecnológicos e científicos. Com isso, os filmes de ficção científica se desenvolveram e se popularizaram, mas ainda careciam de uma estética sonora. E foi no vanguardismo e experimentalismo da música eletrônica que Hollywood encontrou a estética sonora perfeita para o recém-surgido gênero cinematográfico.

Naquele momento, na década de 1950, a música eletrônica (ou eletroacústica) era muito diferente do que conhecemos hoje, já que os instrumentos eletrônicos eram novidade e as pessoas ainda não estavam acostumadas à sua sonoridade, que chegava até a causar desorientação, desconforto e estranhamento. Essas sensações produzidas em alguns ouvintes foram a grande motivação para a utilização da música eletrônica nos filmes de ficção científica [7]. A estranheza causada pela música eletrônica era fruto da falta de referência perceptual, ocasionada pelos timbres dos novos instrumentos eletrônicos, cujos sons eram únicos ou pelo menos muito distantes dos sons que as pessoas estavam acostumadas. Além disso, por conta da proposta de quebrar com os padrões musicais, a música eletrônica de então não cumpria com as expectativas condicionadas culturalmente com a música tonal, o que a tornava propícia em situações de suspense, mistério e que envolvem o incógnito, o desconhecido [8].

Atualmente, todos especulam como seria uma música alienígena ou sobrenatural por conta do imaginário desenvolvido ao longo de décadas pela música eletrônica no cinema de ficção científica. Trata-se basicamente da negação de diversos elementos (ritmos repetitivos, harmonias simples, melodias facilmente discerníveis) que constituem a música convencional e fazem com que ela soe "natural". Ao substituir isso por ritmos irregulares ou inexistentes, acordes dissonantes e sequências aparentemente aleatórias de notas tocadas em instrumentos eletrônicos com timbres inusitados, provavelmente o resultado será algo que soa estranho [9].

Por conta disso, seres, tecnologias ou lugares extraterrestres têm sido continuamente representados, desde a década de 1950, com o eletrônico, o atonalismo e as dissonâncias, elementos que podem não aparecer nas trilhas sonoras de todos os filmes de ficção científica, mas que reaparecem com frequência suficiente para serem identificados como específicos do gênero [10], o que contribui para a percepção e o significado desses elementos comuns na música eletrônica e computacional.

IV. PERCEPÇÃO E SIGNIFICADO

Como a percepção auditiva humana é multidimensional e nos torna capazes de simultaneamente diferenciar variações dinâmicas e diminutas de intensidade sonora (*loudness*), tom (*pitch*), espectro (timbre) e tempo (ritmo), essa organização sonora em nossa mente se dá em diversas camadas cognitivas paralelas.

No nível sensorial, a organização da música ocorre em sua microestrutura temporal, formada por elementos dinâmicos psicoacústicos: *loudness*, *pitch* e timbre, e a sensação sonora acontece no cérebro com a participação da memória ecoica, que registra informações sensoriais auditivas e define detalhes sobre tom, a sensação da composição sonora espectral dinâmica, e tempo, a sensação de padrões de atraso percebidos como pulsos sonoros e ritmo musical [11].

Já no nível cognitivo, a organização da música acontece em períodos de ocorrência maiores do que o sensorial, para que a informação sonora possa transmitir o contexto dado pelo seu contraste com a memória de curto prazo do ouvinte, o que permite que a mente reconheça e antecipe eventos sonoros identificáveis em uma estrutura musical [12]. Nessa camada cognitiva de macroestrutura sonora, melodias, harmonias e padrões rítmicos são identificados, organizados em uma linha do tempo de eventos e até interpretados em um contexto mais amplo, como um gênero musical.

E por fim, no nível afetivo, de evocação de emoções, o período de ocorrência aumenta, de forma que a estrutura do som acaba ganhando narrativa contextual, mediada pela intervenção da memória de longo prazo ou autobiográfica, que não só permite ao ouvinte reconhecer gêneros musicais, mas também pode vir a ser emocionalmente afetado por eles [13].

V. MÚSICA ILÓGICA

Levando em conta que a falta de referência cognitiva lógica torna incógnitas as expectativas proporcionadas por esse tipo de música, a composição caótica supre a dose de inesperado para tornar a composição algorítmica ilógica. Diante disso, apresentamos aqui um modelo dinâmico de composição musical computacional com dois mapas logísticos: um que opera no nível microestrutural do som, criando distribuições espectrais que são percebidas como novos timbres sonoros; e outro que opera na macroestrutura musical, criando sequências regulares de tons delimitados

[2] *Patches* são modelos computacionais modulares e reutilizáveis de código escritas em Pd e usados como programas independentes. Um programa criado no Pd pode conter dezenas e até centenas de *patches* interconectados.

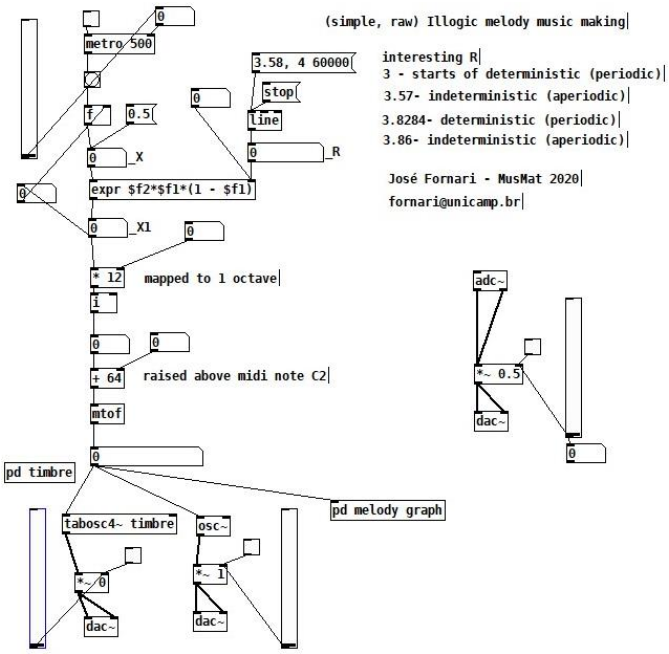

Fig. 1. Patch do Pd para a criação de música caótica em tempo real.

por contexto (notas musicais), que são facilmente percebidas como melodias monofônicas regulares. Juntos, eles geram o modelo musical ilógico que cria melodias e timbres imprevisíveis. Trata-se de um modelo simples, apresentado com o objetivo de demonstrar o que outros modelos caóticos, com regras de composição musical mais sofisticadas, podem alcançar.

O modelo aqui apresentado foi programado em Pd, que possui um estilo de lógica de programação especialmente projetado para levar em consideração o desempenho em tempo real. Os *patches* podem ser criados e editados em tempo de execução, o que possibilita aos artistas de música computacional explorar a codificação ao vivo, na qual a performance é o processo de construção da programação e seu som é gerado em tempo real. E da mesma forma, compositores e programadores de áudio para games podem explorar os usos da criação de música caótica em tempo real, inclusive tornando-a adaptativa, ou seja, alterando seus parâmetros conforme as ações do jogador.

Quando o parâmetro R (*Fig. 1*) do mapa logístico é igual a 3,50, a saída é periódica, oscilando entre quatro valores diferentes. Quando R é igual a 3,57, o padrão de saída é bastante diferente, agora quase aperiódico. Essas duas saídas são exemplos comuns de possibilidades de resultados que a equação determinística simples é capaz de fornecer. A periodicidade está relacionada aos sons tonais (de altura clara), como os normalmente gerados por instrumentos melódicos monofônicos, como o trompete e saxofone. A falta de periodicidade está relacionada a instrumentos percussivos não tonais, sem *pitch* claro, como tambores e pratos. Como visto, esses tipos de organizações de *output* podem ser usados para construir microestruturas sonoras (timbre), mas também macroestruturas musicais (melodias). Para isso, a saída pode ser mapeada em uma escala musical diatônica, em que cada elemento representa uma frequência fundamental (*pitch*) de uma nota musical. Para o timbre, a saída pode ser mapeada para uma matriz de domínio de frequência, e em seguida, convertida de volta para o domínio do tempo, em que cada elemento representa uma parcial (componente em frequência) desse timbre sonoro.

VI. Integração entre Pd & Unity

Para que o *patch* de música caótica criado com o Pd possa ser utilizado em games, é necessário algum tipo de integração do Pd com uma *engine*, mas nenhuma das atualmente disponíveis traz essa integração de forma nativa, já incorporada ao *software*. Mas felizmente há no GitHub[3] (plataforma de hospedagem de códigos-fonte e arquivos com controle de versão) uma solução gratuita e simples à disposição dos compositores e programadores de áudio para games para a integração do Pd com uma das principais *engines* do mercado.

O LibPdIntegration é uma biblioteca desenvolvida por Niall Moody na Abertay University para a incorporação de *patches* do Pd ao Unity. A biblioteca atualmente é compatível com Windows, OSX, Linux e iOS e opera com versões recentes do Unity (2018.4 LTS, 2019.4 LTS, 2020.3 LTS e 2021.1). A biblioteca oferece suporte a várias instâncias, o que permite que os desenvolvedores executem vários patches em seus projetos do Unity [14].

Os principais parâmetros usados para controlar o *patch* de geração de música ilógica são as duas taxas de crescimento R (para timbre e melodia), a taxa de geração de notas e o mapeamento da escala musical da melodia (cujo padrão são três oitavas de escala cromática de temperamento igual). A partir desses parâmetros, é possível ter certo controle sobre a geração em tempo real da música caótica, o que pode ser feito de forma dinâmica conforme os *inputs* do jogador ou as mudanças no ambiente do jogo [15].

O LibPdIntegration ainda necessita de algumas melhorias, como a compatibilidade com Android e WebGL, e essas atualizações seriam um excelente adendo para a comunidade de desenvolvimento de games, já que traria novas possibilidades para programadores de áudio com jogos *mobile* e *web*, além de uma possível efetivação da utilização do Pd para a criação de áudio para games.

VII. Conclusão

Conforme descrito, o experimento musical explanado neste artigo utilizou dois mapas logísticos implementados em Pd, um para gerar timbres dinâmicos (microestrutura musical) e outro para gerar melodias dinâmicas (macroestruturas com os timbres dinâmicos gerados no estágio anterior). Tanto o timbre quanto a melodia podem apresentar comportamento periódico ou caótico, de acordo com os valores de suas respectivas variáveis R. Quando os modelos estão dentro da faixa caótica, suas saídas são delimitadas por limites que os tornam originais, mas facilmente reconhecíveis por nossa percepção auditiva, o que é uma característica bem-vinda.

Este artigo apresentou um modelo computacional simples, mas poderoso para criar música dinâmica com base no comportamento caótico de mapas logísticos e sua capacidade de gerar saídas ordenadas, cuja organização sonora cai na fronteira entre o linear e o caótico, o determinístico e o não determinístico, o periódico e o aperiódico, o tonal e o percussivo, o lógico e o ilógico. Esse recurso pode tornar esse tipo de modelo muito atraente para

[3] Ver: <https://github.com/>.

fins artísticos, ao mesmo tempo que é facilmente implementado e controlado em games.

O *patch* de Pd apresentado gera uma música que transita entre os precursores da música eletrônica, como Karlheinz Stockhausen, John Cage e Iánnis Xenákis, e as composições de determinados grupos do chamado *krautrock*[4] alemão, como Tangerine Dream, Klaus Schulze e Faust. Essa mescla entre padrão e inovação resulta em melodias que, apesar de suscitarem o inesperado, o estranho, o desconhecido, o incógnito, ainda cumprem algumas expectativas, o que reduz a sensação de estranhamento que poderia provocar aversão ou a total falta de identificação afetiva com a música gerada. Música esta que remete a algumas trilhas sonoras de filmes de ficção científica da década de 1950 (como o clássico *Planeta Proibido*, *Forbidden Planet*, 1956, trilha de Louis & Bebe Barron) ou até produções mais recentes (como *Sob a Pele*, *Under the Skin*, 2013, trilha de Mica Levi/Micachu), não apenas por suas qualidades timbrísticas, mas também por conta das dissonâncias, *glitches* (ruídos) e indeterminismo.

É possível tecer uma analogia entre as composições musicais deste modelo com os belos padrões encontrados na fronteira entre os fluxos laminar e turbulento. Os fluxos laminares apresentam padrões determinísticos, bem-comportados e previsíveis, mas são raros na natureza, sendo uma condição alcançada somente quando aspectos específicos são atendidos, como padrões melódicos regulares tonais. A turbulência, por outro lado, é imprevisível, complexa e é a regra seguida pela maioria dos padrões naturais, do micro ao macrocosmo, comparável à organização acústica encontrada em paisagens sonoras naturais.

A arte é uma atividade humana que ocorre nesta fronteira entre o laminar e o turbulento. A música – a arte mais imaterial, informativa e expressiva – é resultado de uma proporção bem equilibrada que um compositor habilidoso pode alcançar em peças musicais entregues por intérpretes em uma sequência de sons organizados com previsibilidade informacional, embora permeados por padrões inesperados que juntos gravam o estilo pessoal do músico e um gênero social musical, transmitindo também originalidade, que incita a mente do ouvinte a desvendar e maravilhar-se com seus significados ocultos.

Pretende-se, como possibilidade futura, utilizar o *patch* de música caótica na implementação de um audiogame acusmático (game sem quaisquer recursos visuais e centrado exclusivamente nos sons), do gênero RPG (*role-playing game*, jogo de interpretação de papéis), com *inputs* por comando de voz (*speech to text*) e temática de ficção científica, para a composição de trilhas musicais caóticas em tempo real, cujos parâmetros serão alterados de acordo com ações involuntárias e deliberadas do jogador. É intenção também mesclar a música caótica com composições "tradicionais", tonais, com vistas a diminuir o estranhamento geralmente causado com esse tipo de composição baseada em mapas logísticos, o que será possível com técnicas de áudio dinâmico [15] e uma *middleware* (*software* que oferece novas funções e serviços para outro *software*) específica para tal uso para que essa união entre a composição tonal e a composição caótica possa soar coesa, mas ainda assim, totalmente nova a cada vez que for executada no jogo, já que a música caótica é criada em tempo real (sem a utilização de faixas pré-gravadas) e os parâmetros do *patch* irão se alterar conforme as ações do jogador ou do ambiente (como a velocidade do player, a proximidade de inimigos, o item utilizado, a quantidade de vidas, o tempo restante etc.), proporcionando uma música "viva" e totalmente reativa ao jogo, o que aumenta o seu poder de imersão e confere uma experiência sonora única ao jogador.

Esperamos que futuras versões desse *patch* para a composição de música caótica em tempo real possa ser útil para compositores e programadores de áudio, não apenas em games com temática de ficção científica ou com trilha sonora experimental, mas em outros games em que haja a intenção de explorar novas perspectivas musicais e fugir dos padrões do que geralmente costuma ser realizado nas trilhas sonoras de games, inclusive com possibilidades de alterações na melodia caótica de acordo com os *inputs* do jogador ou com as mudanças no ambiente do jogo, o que a tornaria uma música caótica interativa ou adaptativa, além de procedural [15], e também criada em tempo real, o que possibilita economia de armazenamento com arquivos de áudio.

REFERÊNCIAS

[1] R. M. May, "Simple mathematical models with very complicated dynamics", *Nature*, no. 261, pp. 459-467, Jun. 1976, doi: 10.1038/261459a0.

[2] D. F. Puig, "Música e sistemas dinâmicos não lineares: uma abordagem composicional," M.S. thesis, Escola de Música, Univ. Fed. do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

[3] A. Coca, G. Olivar, and Z. Liang, "Controlando melodías caóticas," in *Proc. IV Enc. Nac. de Investigación en Posgrados*, Santafé de Bogotá, Colombia, 2009. ISBN 978-958-719-374-9. [Online]. Available: https://www.academia.edu/760353/Controlando_melodias_caoticas_A_Coca_G_Olivar_y_Z_Liang

[4] T. Turino, *Music as social life: the politics of participation*. Chicago, IL, USA: The University of Chicago Press, 2008.

[5] J. de Oliveira, *A significação na música de cinema*. Jundiaí, Brazil: Paco, 2018.

[6] E. M. Rodrigues, *Ecos do mundo zero: guia de interpretação de futuros, aliens e ciborgues.* Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

[7] S. Emmerson, *The language of electroacoustic music*. London, UK: The Macmillan Press, 1986.

[8] J. de Oliveira, "O desenvolvimento da poética eletroacústica na trilha sonora de filmes de ficção científica norte-americanos," M.S. thesis, Escola de Com. e Artes, Univ. de São Paulo. São Paulo, Brazil, 2012.

[9] A. May, *The science of sci-fi music*. Cham, Switzerland: Springer, 2020.

[10] L. M. Schmidt, "A popular avant-garde: the paradoxical tradition of electronic and atonal sounds in sci-fi music scoring," in *Sounds of the future: essays on music in science fiction film*, M. J. Bartkowiak, Ed. Jefferson, NC, USA: McFarland & Company, 2010.

[11] R. A. Jenkins, "Perception of pitch, timbre, and loudness," *The Journal of the Acoustical Soc. of America*, vol. 33, no. 11, pp. 1550-1557, Jul. 1961, doi: 10.1121/1.1908496.

[12] D. B. Huron, *Sweet anticipation: music and the psychology of expectation*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2006.

[13] M. D. Schulkind, L. K. Hennis, and D. C. Rubin, "Music, emotion, and autobiographical memory: They're playing your song," *Memory & Cognition*, vol. 27, no. 6, pp. 948-955, 1999.

[14] N. Moody. "LibPdIntegration v2.1.2". GitHub. https://github.com/LibPdIntegration/LibPdIntegration (accessed Jul. 21, 2021).

[15] L. Meneguette, "Áudio dinâmico para games: conceitos fundamentais e procedimentos de composição adaptativa," in *Proc. 10th SBGames*, Salvador, Brazil, 2011. Porto Alegre, Brazil: SBC, 2011, pp. 1-10.

[4] Ver: <https://www.blogs.unicamp.br/musicologia/2021/04/04/>.