

Introdução à Internet das Coisas Musicais

Prática utilizando Pure Data e Processing

Rômulo Augusto Vieira Costa
Laboratório MidiaCom
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Niterói, RJ, Brasil
romulo_vieira@midia.com.uff.br

Débora Muchaluat-Saade
Laboratório MidiaCom
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Niterói, RJ, Brasil
debora@midia.com.uff.br

Flávio Schiavoni
ALICE – Arts Lab in Interfaces,
Computers, and Everything Else
Universidade Federal de São João
del-Rei (UFSJ)
São João del Rei, MG, Brasil
fls@ufsj.edu.br

Abstract

The Internet of Musical Things is an interdisciplinary area that draws on principles from computer science and music. It proposes new interactions in art shows, opening new paths for collaborative activities, besides being useful in the teaching these concepts. Despite all these advantages, this area is still unexplored, mainly because it is a novelty and presents several open issues. This work, therefore, aims to exploring the potential of this technology, presenting tools that can be useful in the development of your systems, such as Pure Data and Processing.

Keywords: Internet of Musical Things, Pure Data, Processing, Interactive art

1 Introdução

A prática musical é uma atividade inerente à cultura humana, permeando-a desde seus primórdios. Este tipo de arte também sempre esteve suscetível às mudanças tecnológicas que acompanharam cada época, em especial no que diz respeito aos métodos de gravação e reprodução do som, podendo ser dividida em quatro eras distintas [3, 10]. A primeira delas é a “Era acústica” (1877 - 1925), caracterizada pelo uso exclusivo de dispositivos mecânicos para gravação.

Na sequência veio a “Era elétrica” (1925 - 1945), que a partir do extenso uso da eletricidade, permitiu o surgimento de equipamentos como microfones, amplificadores e gravadores. Após a Segunda Guerra Mundial, começou-se a usar fitas magnéticas para gravação de áudio, iniciando a “Era magnética” (1945 - 1975).

Por fim, veio a “Era digital”, iniciada em 1975 e que perdura até os dias atuais. Ela alterou de forma rápida e dramática a maneira como a música é consumida ao substituir o som analógico pela codificação digital. O surgimento do *Compact Disc* (CD) representou o começo dessa digitalização, mas a maior mudança provocada por essa era foi o surgimento do

formato MP3, que rapidamente se popularizou e eliminou a necessidade de uma mídia física para comportar arquivos de áudio.

A partir da virada do século, diversas transformações tecnológicas continuaram impactando o mundo e a prática musical. Dentre elas, destaca-se a expansão do acesso à Internet de banda larga e o barateamento tanto das mídias de armazenamento de dados quanto de produtos eletrônicos. Isso culminou no surgimento da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*), um campo de estudo que permite a interação e cooperação de objetos cotidianos na realização de alguma tarefa através da Internet [2].

Quando os domínios da IoT são expandidos para a prática musical, surge a Internet das Coisas Musicais (IoMusT - *Internet of Musical Things*). Esta área é caracterizada por ser multidisciplinar, englobando conceitos oriundos da música móvel, inteligência artificial, interação humano-computador, música ubíqua e diversos outros campos da computação. Ela é formalmente definida como um conjunto de interfaces, protocolos e representações de informações relacionadas com a música que possibilitam serviços e aplicações com determinada finalidade artística a partir de interações entre humanos e coisas musicais ou entre estas mesmas coisas musicais em meios físicos e/ou digitais. Uma coisa musical, por sua vez, pode ser definida como um dispositivo eletrônico capaz de adquirir, processar, atuar ou trocar dados que sirvam a um propósito musical [17].

A junção de dispositivos com capacidade de conexão à rede com serviços e aplicações de cunho musical criam um ambiente interoperável, responsável por interligar musicistas, instrumentos e membros da audiência, o que multiplica as possibilidades de interação em espetáculos artísticos e cria uma relação de interdependência entre os elementos envolvidos.

A partir da multimedialidade [21] presente nesta área, somada as necessidades dos artistas de explorarem diferentes meios para darem vazão às suas criatividade, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os conceitos básicos da IoMusT, suas visões, desafios e possíveis cenários de uso. Ainda, serão cobertos na Seção 2 conceitos básicos sobre o som, sua representação computacional, as possibilidades

In: Tutoriais do WebMedia, Curitiba, Brasil. Anais Estendidos do Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022.

© 2022 SBC – Sociedade Brasileira de Computação.
ISSN 2596-1683

para criar coisas musicais, sejam elas físicas ou digitais, enquanto a Seção 3 apresenta aplicações práticas da Internet das Coisas Musicais, destacando duas ferramentas facilitadoras importantíssimas, como Pure Data e Processing. Finalmente, conclusões reusmidas a cerca da realização do trabalho são apresentadas na Seção 4.

2 Tecnologias Facilitadoras

2.1 Conceitos básicos do som

O som é a propagação de uma compressão ou onda mecânica, transmitida de forma circuncêntrica e em meios materiais. Os sons naturais são, na sua maior parte, combinações de sinais, representado por uma senoide pura, com velocidade de oscilação ou frequência medida em Hertz (Hz) e uma amplitude ou energia medida em decibéis (Db). Os sons audíveis pelo ouvido humano normalmente possuem uma frequência entre 20 Hz e 20000 Hz [6]. Seus três elementos básicos são altura tonal, volume e timbre [9].

Para manipulação do áudio em sistemas digitais, é necessária a conversão analógico-digital. Assim, a **taxa de amostragem** (*sampling rate*) é a responsável por indicar o número de vezes por segundo que as amostras do som original são registradas pelo conversor. Logo, esse valor tem relação direta com o registro das frequências. Em uma analogia com a cinematografia, é o equivalente aos quadros por segundo em um vídeo [5, 15]. Um conceito similar à taxa de amostragem é a **taxa de bits** (*bit rate*), diferenciando-se somente no quesito de medir o número de *bits* transmitidos ou processados em um intervalo de tempo.

Como o áudio analógico é uma onda contínua, é preciso definir sua amplitude cada vez que é amostrado. Nesse cenário, surge a **profundidade de bits** (*bit depth*), responsável justamente por determinar as amplitudes possíveis para certas amostras sonoras. As profundidades mais comuns são as de 16, 24 e 32 *bits*.

Outra importante característica do áudio digital é a **faixa dinâmica** (*dynamic range*). Definida como a razão entre os maiores e os menores valores que uma determinada amostra de áudio pode assumir. Ela deve garantir que o som possua intensidade o suficiente para ser compreendido, ao passo que não danifique os aparelhos de som nem a audição humana.

Um último aspecto a ser considerado é a **resposta em frequência**, responsável por indicar a variação da pressão sonora ou potência acústica em função da frequência em aparelhos sonoros. Em outros termos, é o atributo responsável por indicar como será o comportamento dos dispositivos emissores de som em determinados ambientes.

2.2 Protocolos de Informação Musical

A representação sonora em sistemas computacionais passa por protocolos que convencionam a conexão, comunicação e transferência de dados entre sistemas voltados para a prática

musical. Dois exemplos que se destacam são o *Musical Instrument Digital Interface* (MIDI) e o *Open Sound Control* (OSC).

O MIDI foi criado em 1983 por um consórcio de fabricantes de sintetizadores musicais com o objetivo de padronizar a comunicação entre estes instrumentos, que começaram a ter grande adesão nos principais mercados consumidores de música da época. Posteriormente, a norma foi aplicada nos demais sistemas eletrônicos usados para criação sonora, incluindo computadores. Dentre suas vantagens, destacam-se: versatilidade e sobreposição de sons, já que permite ao músico tocar dois ou mais instrumentos de forma simultânea; conexão entre diferentes instrumentos e conexão dos mesmos a computadores; edição de qualquer evento musical através de *software* e capacidade de endereçamento de mensagens por meio de canais de comunicação [9].

Já o OSC foi criado em 1997 por Adrian Freed e Matt Wright para controlar algoritmos de síntese sonora. Apresenta nomenclatura simbólica similar ao *Uniform Resource Locator* (URL), alta resolução nos dados, permite especificar vários destinatários para uma única mensagem, entrega simultânea de pacotes, dentre outros. Suas aplicações mais comuns são ambientes de processamento de mídia e som em tempo real, ferramentas interativas para web e comunicação entre computadores e sintetizadores de áudio [23].

2.3 Performance Musical pela Rede

As tentativas de performances em rede datam dos primórdios deste tipo de comunicação. Ainda na década de 1970, um grupo de musicistas e compositores conectaram três computadores para a troca de informação musical [22]. Com a expansão da Internet, houve uma melhora significativa nesta prática. Uma performance por rede é, portanto, uma interação em tempo real via máquina, que permite que artistas em diferentes localidades interajam entre si como se eles estivessem no mesmo ambiente. Embora não pretenda substituir o modelo tradicional, ela traz um efeito catalítico na criação musical e nas interações sociais, promovendo a criatividade e o intercâmbio de culturas [8].

2.4 Instrumentos Musicais Digitais

As definições de instrumentos musicais digitais são diversas. Robert Moog, pioneiro na criação de instrumentos eletrônicos, atribui a essa classe uma descrição modular, composta de um gerador de som, uma interface entre o músico e esse mesmo gerador e uma realidade tátil e visual [12]. Já Pressing define-os como qualquer instrumento que apresente uma interface de controle e um processador de saída [13], enquanto Miranda e Wanderley indicam que um IMD é todo dispositivo composto por uma superfície de controle e uma unidade geradora de som [11]. Em suma, são artefatos que permitem controlar parâmetros sonoros, como altura, intensidade e timbre de uma nota, cuja a saída de sinal é gerenciada por

um sistema computadorizado, integrado ou não a outros componentes eletrônicos [19].

3 Introdução sobre Internet das Coisas Musicais

Como citado, a IoMusT é caracterizada por ser multidisciplinar, englobando conceitos oriundos da música ubíqua, música móvel, inteligência artificial, interação humano-computador e outros campos da computação [17]. Seu ecossistema é composto por vários objetos dedicados à produção e/ou recepção de conteúdo musical, provedores de serviços e informações, como *hardwares*, *softwares*, sensores, atuadores, protocolos de comunicação e serviços em nuvem, além de instrumentos musicais acústicos, eletrônicos e digitais, e dispositivos para reprodução de som, como alto-falantes. São necessários também aplicativos e serviços para lidar com os usuários presentes nestes ambientes (musicistas, atores, engenheiros de áudio e membros do público) [1].

Sua infraestrutura suporta comunicação multidirecional sem fio, seja ela local ou remota. Como esta área tem propósito artístico e na maioria das vezes trata de informações em tempo real, é de suma importância que esta infraestrutura apresente baixa latência, alta qualidade de áudio e sincronização entre os dispositivos que estão trocando informações. Deve apresentar ainda aspectos que garantam a segurança e privacidade do usuário. Finalmente, esta estrutura pode ser aplicada aos mais diversos cenários de uso, indo desde salas de ensaio até espaços com grandes dimensões, como teatros, estádios e festivais ao ar livre [17].

Existem algumas implementações práticas desses conceitos, como o ambiente idealizado por [18], que propõe uma arquitetura enriquecida semanticamente que utiliza o modelo cliente-servidor para processamento de eventos e a linguagem SPARQL para consulta em uma base de dados. Essa estrutura permite uma interação oportuna e fracamente acoplada entre as entidades. Quanto às coisas musicais, elas são prototipadas na placa de processamento Bela¹, escolhida por trocar dados sonoros com baixa latência. Tais dispositivos também utilizam uma máquina de reprodução de áudio codificada na biblioteca libpd², que permite que *patches* de áudio feitos no Pure Data sejam executados no *hardware* da placa.

Um outro modelo que apresenta uma sessão musical baseada nos preceitos da IoMusT busca permitir uma melhor interação entre o musicista e seu instrumento e também uma maior aproximação entre esse mesmo musicista e os membros da audiência [16]. As duas formas de interação passam por recuperar conteúdo no Freesound para acompanhamento musical. No caso do artista, ele pesquisa pelo conteúdo desejado em seu próprio instrumento, enquanto que para o

público o conteúdo é gerado a partir de uma ação colaborativa. O mecanismo de áudio foi novamente feito no Pure Data, dada a sua variedade de efeitos sonoros e estratégias de mapeamento para controlar os sons coletados pelos sensores e microfones presentes no instrumento.

O terceiro e último exemplo prático aqui apresentado é a validação técnica de um *design* de ambiente chamado *Sunflower* [20]. Ele é baseado na arquitetura de *software Pipes-and-Filters*, onde as coisas musicais vão se comportar como filtros, enviando e recebendo dados por suas portas de entrada e saída e comunicando-se apenas com aqueles elementos com os quais elas possuem alguma semelhança. Os protótipos de coisas musicais também recorreram à linguagem Pure Data, por conta de seu caráter multiplataforma e pela facilidade de implementação. Para expandir as possibilidades artísticas e interativas deste ambiente, foram elaboradas quatro projeções gráficas, ilustradas na Figura 1, na linguagem de programação Processing. Tais artes são dinâmicas e podem ter suas cores, velocidade e sentido de rotação alteradas pela audiência utilizando o protocolo OSC. Dessa forma, o *Sunflower* passa a receber uma nova gama de elementos passíveis de controle de forma remota e fica ainda mais interativo.

Pure Data e IoMusT: uma combinação perfeita? Ao analisar propostas de ambientes de IoMusT já existentes, verifica-se que o Pure Data³ atua como o motor de áudio na extensa maioria desses sistemas, ficando a cargo da criação do som e/ou captura dos dados de áudio e envio dos mesmos pela rede. Isso se deve ao fato da linguagem ser multiplataforma e extensível, sendo capaz de ser executada em *smartphones* e em placas microprocessadoras, como Raspberry e Bela, e por permitir que os usuários insiram funcionalidades criadas por eles mesmos, o que garante certa extensibilidade ao sistema.

Entretanto, seu uso vai além disso, sendo a ferramenta que liga o fazer artístico às características essenciais preditas pela Internet das Coisas Musicais. Apesar de alguns aspectos de conexão estarem mais relacionados à rede do que aos meios para acessá-la, o suporte nativo que o Pd oferece reduz a latência do sistema e corrobora para a sincronização de dados. Estes dois fatores somados à capacidade de reprogramação, reúso de código e atualização em tempo-real da linguagem, permitem a criação de forma simples e rápida de novos *patches*, o que garante a escalabilidade do sistema. Isso também reflete na integração por parte dos usuários, que não precisam adentrar a rede com um código novo, podendo se favorecer de um código criado anteriormente. Além disso, com poucos comandos um usuário sem conhecimento prévio da linguagem já consegue gerar alguma ação que irá impactar no ambiente.

¹<https://bela.io/>

²<https://github.com/libpd>

³Linguagem de programação desenvolvida por Miller Puckette na década de 1990, voltada para criação e composição de música eletrônica, performances ao vivo, produção de efeitos sonoros, análise de áudio, controle de câmeras e sensores, interação com a web e trabalhos multimídia.

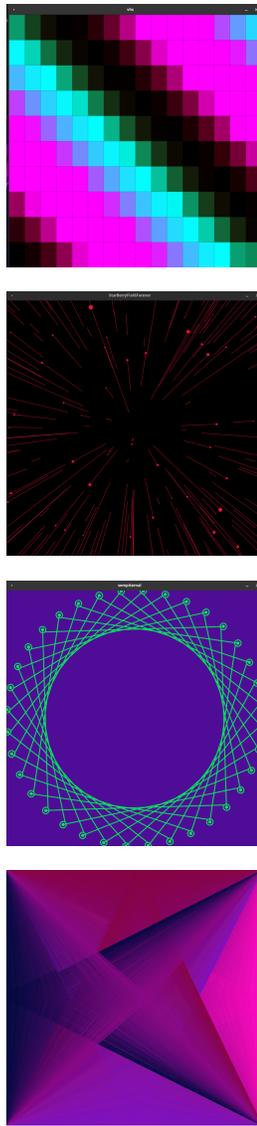


Figura 1. Artes presentes no ambiente *Sunflower*.

Fonte: O autor

Pelo fato de possuir código aberto, muitos outros programadores, musicistas, engenheiros de som e compositores se juntaram ao projeto e continuam desenvolvendo-o, o que faz com ele não tenha uma versão definitiva e esteja sob constante evolução [4, 7]. Um avanço que surgiu a partir desse envolvimento da comunidade são as *externals* ou *external libraries*, funções adicionais para a linguagem com funcionamento análogo às bibliotecas de uma linguagem de programação tradicional. Elas permitem o processamento de vídeo, reprodução de arquivos de áudio, manipulação e exibição de objetos tridimensionais, dentre outros.

Processing

Linguagem criada por Ben Fry e Casey Reas em 2001, Processing é originalmente uma modificação e simplificação da linguagem Java, removendo os aspectos originais que exigem um conhecimento mais profundo sobre programação. Dessa forma, ela se torna leve e de fácil aprendizagem, ideal para trabalhos visuais e artes eletrônicas. Projetos profissionais mais avançados de áreas como animação, tipografia, visão computacional e *design* de som também são atendidos pela linguagem [14].

O desenvolvimento de animações para web também é possível no Processing, graças a sua integração com JavaScript e HTML. A linguagem utiliza os próprios padrões da web, sem necessitar de nenhum *plugin* adicional, podendo ser executada por qualquer navegador compatível com HTML5, incluindo as versões atuais de Firefox, Safari, Chrome, Opera e Edge. Sua facilidade de uso, extensa gama de bibliotecas padrão e conectividade pela rede também a torna uma plataforma adequada para os conceitos da IoMusT.

4 Conclusão

A área de Internet das Coisas Musicais é ainda incipiente e não deve ser restringida a uma única experiência ou definição. O objetivo deste trabalho, portanto, passou por apresentar os principais conceitos dessa área, alguns cenários de uso e áreas correlatas, mas seu foco residiu nas linguagens Pure Data e Processing como ferramentas facilitadoras para este campo.

Para além disso, o trabalho também objetivou dar os primeiros passos para a construção de uma comunidade de IoMusT no Brasil, explorar a fronteira entre IoMusT e sistemas multimídia e reunir em um único lugar referências, material teórico e aplicações práticas sobre o tema. Desse modo, pretende-se olhar com atenção para o futuro dessa área e como ela pode integrar a comunidade do WebMedia.

REFERÊNCIAS

- [1] Alexandre Almeida, Rômulo Vieira, Rafael Sacheto, and Flávio Schiavoni. 2021. Desafios da Internet das Coisas Musicais. In *Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Computer Music*. Sociedade Brasileira de Computação, Recife - PE - Brasil, 252–255.
- [2] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. 2010. The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks* (10 2010), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- [3] BURGESS, R. J. 2014. *History of Music Production*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [4] Andy Farnell. 2010. *Designing Sound* (1st ed.). MIT Press.
- [5] Peter Gainsford. 1993. *Pure Data: FLOSS Manual* (3 ed.). The organization, The address of the publisher. An optional note.
- [6] Marcelo Knobel. 2017. Física da Fala e da Audição.
- [7] Johannes Kreidler. 2013. *Loadbang: Programming Electronic Music in Pure Data* (1st ed.). Wolke Verlagsges.
- [8] John Lazzaro and John Wawrzynnek. 2001. A Case for Network Musical Performance. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio*

- and Video* (Port Jefferson, New York, USA) (NOSSDAV '01). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 157–166. <https://doi.org/10.1145/378344.378367>
- [9] Evandro Miletto, Leandro Costalonga, Luciano Flores, E Fritsch, Marcelo Pimenta, and Rosa Vicari. 2004. Introdução à computação musical. *Proceedings of IV Congresso Brasileiro de Computação* (01 2004).
- [10] MILLARD, A. 2005. *America on Record: A History of Recorded Sound*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [11] Eduardo Miranda and Marcelo M. Wanderley. 2006. *New Digital Musical Instruments: Control And Interaction Beyond the Keyboard*. A-R Editions, Middleton, Wisconsin, EUA.
- [12] R Moog. 1988. The Musician: Alive and Well in the World of Electronics. In *The Biology of Music Making: Proceedings of the 1984 Denver Conference*. MMB Music, Inc, St Louis, MO, EUA, 214–220.
- [13] Jeff Pressing. 1990. Cybernetic Issues in Interactive Performance Systems. *Computer Music Journal* 14, 1 (1990), 12–25. <https://doi.org/10.2307/3680113>
- [14] Casey Reas and Ben Fry. 2010. *Getting Started with Processing: A Quick, Hands-on Introduction* (1st ed.). O'Reilly Media.
- [15] Boris Smus. 2013. *Web Audio API: Advanced Sound for Games and Interactive Apps*. O'Reilly Media.
- [16] Luca Turchet and Mathieu Barthe. 2018. Jamming with a Smart Mandolin and Freesound-based Accompaniment. In *IEEE Open Innovations Association FRUCT*. <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2018.8588110>
- [17] Luca Turchet, Carlo Fischione, Georg Essl, Damián Keller, and Mathieu Barthe. 2018. Internet of Musical Things: Vision and Challenges. *IEEE Access* 6 (09 2018), 61994–62017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2872625>
- [18] Luca Turchet, Fabio Viola, György Fazekas, and Mathieu Barthe. 2018. Towards a Semantic Architecture for the Internet of Musical Things. In *IEEE Open Innovations Association*. <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2018.8587917>
- [19] Rômulo Vieira, Gabriel Rocha, and Flávio Schiavoni. 2020. Current Research on the Use of HCI in Decision-Making to Build Digital Musical Instruments: A Survey. In *Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems* (Diamantina, Brazil) (IHC '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 42, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3424953.3426646>
- [20] Rômulo Vieira and Flávio Schiavoni. 2021. Sunflower: An Environment for Standardized Communication of IoMusT. In *Audio Mostly 2021*. ACM, New York, NY, USA, 175–181. <https://doi.org/10.1145/3478384.3478414>
- [21] Peter Weibel. 2005. The Post-media Condition. *Arte ConTexto* 6 (2005), 11–15.
- [22] Gil Weinberg. 2002. The Aesthetics, History and Future Challenges of Interconnected Music Networks. *Proceedings of International Computer Music Conference* (01 2002).
- [23] Matthew Wright. 2005. Open Sound Control: An enabling technology for musical networking. *Org. Sound* 10 (12 2005), 193–200. <https://doi.org/10.1017/S1355771805000932>