

Current research on the use of HCI in decision-making to build digital musical instruments: A survey

Rômulo Vieira
romulo_vieira96@yahoo.com.br
ALICE - Arts Lab in Interfaces,
Computers and Else
UFSJ - São João del-Rei, Brasil

Gabriel Rocha
gbr.cdc@gmail.com
ALICE - Arts Lab in Interfaces,
Computers and Else
UFSJ - São João del-Rei, Brasil

Flávio Schiavoni
fls@ufsj.edu.br
ALICE - Arts Lab in Interfaces,
Computers and Else
UFSJ - São João del-Rei, Brasil

Abstract

Over the past four decades, there has been an increase in the spread of digital musical instruments (DMIs), largely due to the ease of access to cheap technologies with great processing and storage power. As such systems are flexible and can be easily reconfigured, there are few restrictions on their creation. In this context, this paper is based on techniques from the field of human-computer interaction (HCI) to propose a list of decisions to be taken into account when creating a DMI, observing its gains and losses, in order to find a common point for the building of this equipment.

CCS Concepts: • **Hardware** → **Sound-based input / output**; • **Human-centered computing** → **Human computer interaction (HCI)**; *Interaction design theory, concepts and paradigms*; User studies.

Keywords: DMI, Decision-making, Music

ACM Reference Format:

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 *XIX Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC '20)*, October 26–30, 2020, Diamantina, Brazil. ACM, New York, NY, USA, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3424953.3426646>

1 Introdução

A música é uma forma de arte intrínseca à cultura humana, presente em momentos religiosos, de lazer e entretenimento. Ao longo das últimas quatro décadas, a forma como consumimos música mudou drasticamente devido à tecnologia. Isso ocorreu por conta da popularização dos meios de gravação e reprodução sonora, do surgimento de serviços de

streaming e também pela difusão de computadores pessoais e *smartphones*, que tornaram seu consumo acessível e onipresente. Ademais, os avanços tecnológicos auxiliaram também na forma como a música é criada. Um exemplo disso é o emergente campo dos instrumentos musicais digitais (IMD).

As definições de instrumentos musicais digitais são diversas. Entretanto, pode-se dizer que sua estrutura básica adota uma divisão tripartite, composta por uma entrada ou interface gestual, responsável por captar os comandos do músico; uma unidade de geração sonora, que consiste em um sintetizador digital que produz e organiza a saída sonora, e finalmente, uma unidade de mapeamento, capaz de interconectar as duas primeiras partes e atribuir um significado musical às ações realizadas no instrumento [19, 20].

Os IMD ainda podem ser classificados em quatro categorias: versões eletrônicas de instrumentos tradicionais, instrumentos aumentados, instrumentos inspirados nos modelos tradicionais e instrumentos alternativos [11, 19]. A primeira classe utiliza da mesma estrutura física de instrumentos acústicos, mas apresentam o adendo de torná-los eletrônicos. A segunda classe é caracterizada por expandir as capacidades do objeto utilizando-se de recursos elétricos. A terceira categoria baseia-se nos métodos de construção, funcionamento e execução de instrumentos tradicionais. Por fim, a quarta categoria trata de dispositivos não-musicais, como *joystick* de videogame [20], superfícies de controle do protocolo MIDI [24], mesas digitalizadoras, teclados e mouses.

A criação de um IMD utiliza conceitos das mais variadas áreas da música e da computação, como acústica, composição, performance, processamento de sinais digitais, programação de computadores e especialmente, interação humano-computador (IHC) [17].

Diante da variedade de definições, modelos e técnicas presentes nesses equipamentos, observou-se uma falta de padrão no momento de sua criação. O presente artigo, portanto, aponta alguns possíveis equívocos observados nesse processo e utiliza de técnicas comuns ao campo de IHC para saná-los, além de apresentar essas mesmas técnicas em alguns casos de sucesso de IMD.

Publication rights licensed to ACM. ACM acknowledges that this contribution was authored or co-authored by an employee, contractor or affiliate of a national government. As such, the Government retains a nonexclusive, royalty-free right to publish or reproduce this article, or to allow others to do so, for Government purposes only.

IHC '20, October 26–30, 2020, Diamantina, Brazil

© 2020 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

ACM ISBN 978-1-4503-8172-7/20/10...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3424953.3426646>

2 Decisões para criação de um IMD

Pelo fato de ser uma área relativamente nova, a criação de um instrumento musical digital não segue regras pré-definidas, assim como seu design não está atrelado à continuação de uma tradição específica [12]. Portanto, para aferir resultados, os autores basearam-se nas experiências próprias em sala de aula na disciplina de Computação Musical e em cursos de extensão ofertados para a comunidade, seja na condição de professor, seja na condição de aluno, para indicarem os maiores anseios e dificuldades encontrados na tarefa de criação de um IMD. Para além da experiência prática, esta seção contou com revisão bibliográfica em trabalhos e livros para fundamentar a lista de decisões a serem tomadas. Os elementos em comum neste processo serão debatidos a seguir.

2.1 Agógica, precisão e expressividade

Os computadores são conhecidos por serem máquinas precisas, com grande poder matemático e capacidade de processamento. Na música, o termo agógica (ou cinética musical) também é pautado na precisão e rigorosidade, referindo-se aqui ao andamento com que o músico executa uma peça [15].

A agógica é um dos elementos que ajudam a compor a expressividade musical, sendo esta expressividade definida como um conjunto de características que faz com que ocorram diferentes interpretações para uma mesma composição. Apesar de ser um fator subjetivo, ela atua na intensidade da música, em sua acentuação e articulação. É por conta desse atributo que dois músicos distintos nunca executarão algo da mesma forma. Isso ocorre até mesmo entre duas execuções feitas pelo mesmo intérprete [5, 14].

A possibilidade computacional de “corrigir” possíveis falhas em nome da precisão computacional pode trazer uma enorme perda para a expressividade individual com o instrumento, visto que esse fator potencializa a experiência nas apresentações musicais e valoriza a cultura do instrumento musical digital. Por outro lado, dar ao projeto uma abertura para expressividade muito ampla e não utilizar o poder computacional para auxiliar a execução de um novo instrumento pode impossibilitar a aprendizagem e execução do mesmo.

A dificuldade de ajustar esta balança está em escolher entre uma total liberdade para com o instrumento, tornando-o muito complexo e impossível de ser aprendido de maneira exploratória e intuitiva, e uma super usabilidade baseada em precisão computacional, que torna-o tão simples quanto não atraente musicalmente. Assim, o desafio está em não priorizar um em detrimento do outro, ou ainda em evitar a prevalência nítida de uma destas características.

Desta maneira, pensar em um instrumento digital que é extremamente afinado e preciso temporalmente pode resultar em algo que não permite que dois intérpretes tocando a mesma peça soem diferentes, o que é agir na contra mão da expressividade musical. É necessário que a precisão computacional seja deixada de lado para permitir a expressividade, tão cara e tão importante para a música.

Importante destacar o papel da movimentação corporal, capaz de demonstrar intencionalidade, emoções e recursos estruturais da música (eventos de melodia, tonalidade, ritmo e etc), sendo este um quesito a ser considerado na criação de um IMD [4].

2.2 A escolha de sensores e atuadores

O funcionamento de um IMD é centrado no seu conjunto de sensores e atuadores, afinal, são eles os responsáveis pelas interações entre músicos e instrumento. No entanto, há questões relacionadas a falta de qualidade ou alto custo desses componentes eletro-eletrônicos. Embora existam modelos de baixo custo que e reduzam o preço final do IMD, esses sensores e atuadores podem causar instabilidade durante o uso do aparelho, acarretando em mau contato e em casos mais extremos, curto-circuito [22].

Outra agrura é proveniente do modelo do sensor ou atuador escolhido ser pouco acessível no mercado, de difícil manuseio ou ser uma tecnologia nova [2, 22]. Muitas vezes, o luthier digital utiliza peças de sua preferência, não levando em consideração o quão difundida ela é. Desse modo, o instrumento agrada somente ao seu criador.

Um ponto importante sobre os IMD é que alguns deles são criados por entusiastas tecnológicos que querem simplesmente usar e testar novos dispositivos, não levando em consideração questões artísticas e/ou musicais que podem motivar e guiar esta criação. Assim, o projeto se torna mal acabado pois só alcança a meta de experimentar um novo equipamento, não estabelecendo-se como um instrumento musical que poderia ser tocado por outras pessoas. Também por isso, esta escolha se torna uma das causas principais para o mau funcionamento ou para sua pouca adesão a um IMD por parte do público e de outros músicos.

2.3 Interfaces e mapeamentos simples e diretos

Apesar da interface do instrumento ser o elo entre o musicista e o sintetizador, é no mapeamento que ocorre a ligação entre estas partes. Assim, para discutir a simplicidade de uma interface é necessário também discutir seu mapeamento.

Há dois papéis possíveis para o mapeamento em um IMD: a) característica específica de uma composição e b) parte integral do instrumento [8]. Com relação a esta segunda, a estratégia de mapeamento define o modo de interação com a interface, e assim, dá forma e personalidade ao instrumento. Em instrumentos acústicos, relações entre controle e resultado sonoro são dependentes de leis físicas e, portanto, naturalmente complexas e não lineares. Isto permite a possibilidade de controle simultâneo de propriedades do som que podem ser exploradas por instrumentistas experientes.

Interfaces que apresentam mapeamentos simples são mais fáceis de serem construídas mas apresentam em sua concepção questões musicais que as tornam um pouco irrelevantes artisticamente. O mapeamento um-para-um exige que a manipulação do som seja feita por meio da separação

do resultado desejado em conjuntos de atributos isolados, obrigando o músico a raciocinar separadamente sobre cada parâmetro neste conjunto, ação que se mostra difícil de ser executada em tempo real. Tal questão é facilitada em um mapeamento um-para-vários, em que uma alteração significativa é agrupada em apenas um controle. A desvantagem é que o agrupamento limita a manipulação a uma relação predeterminada. O outro extremo se dá pelo mapeamento vários-para-um, cujo ganho é expandir a liberdade de controle sobre um determinado parâmetro. Apesar de possibilitar maior expressividade, não resolve o problema apresentado para o mapeamento um-para-um [9, 21].

A abordagem mais indicada é aquela que combina todas as estratégias acima, denominada mapeamento vários-para-vários [20]. Como mencionado, instrumentos acústicos naturalmente possuem relações complexas entre seu corpo e o som que o mesmo consegue produzir. Nestes instrumentos, não fica claro a qual parte do controle um atributo sonoro está associado. Por isto, podemos pensar em um instrumento acústico como um sistema que trabalha de maneira inter-relacionada. Esta concepção poderia ser seguida no universo dos IMD, pois possibilitaria uma maneira mais natural de tocar permitindo que o relacionamento entre gesto e som fosse construído de maneira intuitiva à medida que o usuário interage com a interface. Desta maneira, é possível pensar de forma holística estas relações nos instrumentos digitais, em contraposição a uma observação analítica[8]. Simplificações, embora tragam facilidade na concepção e manuseio de um IMD, geralmente falham em chegar a um resultado que desperte interesse de instrumentistas habilidosos, correndo o risco de se compararem a brinquedos infantis.

2.4 Limitações das interfaces de propósito geral

Outro ponto que merece destaque diz respeito à aplicabilidade de uma interface de propósito geral. Este tipo de interface é comum em diversas práticas computacionais, mas sua utilização em IMD pode ser um pouco frustrante, já que elas podem ser pouco úteis. Dois exemplos são os teclados e mouses, responsáveis pela popularização dos computadores pessoais e extremamente necessários nestes equipamentos, mas que em um instrumento digital são um problema por conta da lentidão e falta de ajuste fino, como é o caso do mouse, e pela simplicidade, como é o caso do teclado [16].

Quando comparado ao teclado musical, o teclado do computador não informa a intensidade com que uma tecla foi pressionada, sendo pouco propício para performance musical, além de gerar um evento somente para a tecla pressionada, mas não para ela solta. Ainda, produz repetições de tecla, o que pode causar estouro do *buffer* e, consequentemente, perda de outros eventos da mesma interface. Já o mouse, informa apenas a posição do clique, mas não a intensidade deste gesto. Isso permite que esta ação possa ser mapeada para uma determinada nota ou frequência, mas impede que ela possa ser utilizada para controlar a dinâmica

musical, que é exatamente a diferença de amplitude entre uma nota mais intensa e uma menos intensa.

O mesmo pode ocorrer com GUIs tradicionais. Tocar um instrumento não deve ser um processo de seleção de menus para a tomada de decisão. Embora aplicável em determinados contextos, esta forma de controle e interface com o usuário é desprovida de grandes capacidades expressivas quando colocada a serviço da performance musical. O sistema de um IMD deve ser reativo, sem limitar o usuário a escolhas dentro de contextos usando, preferencialmente, o próprio instrumento para sua configuração.

Outras interfaces de uso comum, como câmeras de vídeo e scanners também podem ser usados como entrada de instrumentos musicais e que certamente possuem limitações.

2.5 Copiar digitalmente um instrumento acústico

Uma abordagem bastante comum para a criação de um novo instrumento musical é copiar um instrumento já existente. No entanto, tal abordagem já se mostrou equivocada na criação de guitarras e instrumentos de sopro digitais.

As guitarras MIDI surgiram em 1977, quando o modelo GR-500 da Roland incorporou um módulo sintetizador e um módulo controlador e amplificador de tensão em uma guitarra orgânica. Desde então, vários modelos surgiram no mercado, caracterizando este produto pela capacidade de ser um sintetizador, criador de batidas musicais e controlador MIDI. Mesmo assim, este produto não teve grande adesão por parte dos músicos, por conta de ser demasiado caro, apresentar latência, ter um formato sutilmente diferente das guitarras tradicionais, o que causa a exclusão de algumas técnicas comuns a este instrumento, e causar estranheza ao músico e ao público. O fato de não terem uma referência visual e de necessitarem de programas e *plugins* computacionais para funcionar adequadamente exige que o músico tenha mais conhecimento teórico e tecnológico para utilizá-la.

Outro exemplo pouco aderido é o interface de instrumentos de sopro, como o controlador Yamaha WX5, que possui chaves de controle e bucal com sensores que emulam estes instrumentos, em especial a clarineta. Justamente por isso, apresenta um controle difícil e pouco ergonômico, o que contribuiu para seu fracasso [19].

Um dos princípios apresentados por Cook [3] para o design de IMD, é que ao invés de copiar um instrumento acústico, faz mais sentido se valer das habilidades de instrumentistas com estes equipamentos. Assim, tais instrumentos podem sugerir novos controladores e novas formas de ampliar a capacidade do musicista ao escolher sua ferramenta musical. Isto permitiria expandir os horizontes já existentes no instrumento acústico e descobrir como as capacidades da computação podem contribuir para a música. No entanto, vale ressaltar que há instrumentos que seguem este modelo e que podem ser considerados casos de sucesso, como teclado e bateria MIDI, apresentados na Seção 3.

2.6 Ausência de repertório/técnica para o IMD

Um instrumento musical possui um repertório ou uma técnica específica. O violão, por exemplo, é amplamente utilizado na música erudita, presente em sonatas e prelúdios, na música popular, para acompanhamento do canto e execução harmônica e em diversas outras culturas do mundo, da música árabe à brasileira, da japonesa à norte-americana. O piano também é um exemplo de instrumento cuja utilização é comum nos mais diversos estilos da música ocidental, como Jazz, Bossa Nova, Música Popular Brasileira, Rock and Roll, e claro, música erudita. Estes instrumentos se caracterizam por fazerem parte destas culturas e possuírem repertórios, técnicas, estilos e instrumentistas de referência que podem servir para popularizar os mesmos para novas gerações.

Por outro lado, um IMD recém-criado pode trazer o problema de não possuir repertório ou técnica para sua execução, tornando-o de difícil introdução para leigos e/ou profissionais, que muitas vezes dependem de um artista que seja a referência em um instrumento para servir como base de inspiração. Um exemplo de instrumentos novos que demandou tal discussão foi o teremim. Este instrumento, considerado por muitos o primeiro instrumento eletro-eletrônico a ser popularizado no mundo, só obteve sucesso quando Clara Rockmore desenvolveu uma técnica para execução de repertório clássico e fez uma excursão para divulgar o instrumento e o repertório [6].

A partir desse cenário, torna-se essencial que o IMD deva ser desenvolvido com um estilo ou peça musical em mente, não ao contrário. Nesse caso, torna-se importante levar em consideração a existência de uma técnica para execução do instrumento e também para convencer compositores e musicistas a utilizarem-o. No entanto, tal abordagem pode torná-lo limitado a estas peças e impossível de ser encaixado em outros repertórios, o que certamente não é sempre desejável.

2.7 A coletividade na música

Na performance musical, existe um forte senso de coletividade, onde várias peças foram escritas para execução em conjunto. A coletividade na música se estende também para o ato de compor, de rodas de samba à orquestra, de repertório composto à improvisação, quase sempre dependendo de outras pessoas, para o consumo de música, como shows e concertos, onde um grupo de pessoas se reúne para ver um artista, no ensino de música e na musicalização [13].

Sendo assim, é altamente desejável que um IMD consiga se adequar à música enquanto prática coletiva, permitindo a interação com outros instrumentos, a inserção em um repertório já existente, o diálogo com estilos musicais e a passagem de técnicas pela oralidade, características fortemente presentes em instrumentos acústicos. Desse modo, um instrumento pensado para ser executado solo e/ou que não tenha interação com nenhum outro, faz com que essa característica se perca. O fato de somente seu criador saber manuseá-lo também o distancia do coletivo. No entanto, é muito mais

simples criar um instrumento novo único e para performances solas do que criar um conjunto de instrumento ou um instrumento que possa ser utilizado em qualquer repertório.

2.8 Feedback para além do som

Sabemos que em toda interface, o *feedback* é importante para que o sistema seja responsivo ao seu usuário [22] e com os instrumentos musicais não é diferente, já que eles demandam alta precisão e estão sempre se comunicando com o utente de maneira a responder a seus gestos. Os exemplos mais claros de como um instrumento entrega essa resposta para o instrumentista são as cordas da guitarra que podem ferir levemente as mãos do músico, a baqueta quebrando, as partes de uma bateria irem se deteriorando com o uso e a pressão dos lábios do saxofonista na palheta do instrumento. Estas características podem auxiliar o instrumentista a conduzir sua performance musical, entender sua relação com o instrumento e até auxiliar sua comunicação com o público.

Miranda e Wanderley [16] classificam o *feedback* em um IMD como primário ou secundário, onde o primário é fornecido por meio de controle gestual e o secundário por meio de geração sonora. Há também a classificação em *feedback* passivo e ativo, definindo o primeiro como resultante da característica física de cada instrumento e o segundo como a resposta da interface aos gestos do usuário.

No entanto, ao pensar um novo IMD nem sempre é incluído no projeto *feedback* háptico, tátil ou mesmo visual. A ausência de outros referenciais para além do som em um IMD pode tornar o uso deste instrumento uma performance “no escuro” e sem uma relação direta e física

Tal problema pode ser sanado adicionando-se texturas aos dispositivos, assim como maneiras de transformação de energia (ex: emitir um som como resposta a um toque) e simular movimentos de instrumentos tradicionais.

3 Casos de sucesso

Algumas interfaces podem ser consideradas um caso de sucesso devido ao fato de terem se popularizado e pelas decisões tomadas na sua criação. Exemplos que podem ser mencionados são os **teclados e baterias MIDI**. Os teclados assumem uma aparência semelhante a de um piano, com o acréscimo de *pads*, botões giratórios e *sliders*, que facilitam o controle de parâmetros do som e programação de seu timbre. Embora seja capaz de executar peças musicais, estes teclados foram elaborados primariamente para auxiliar na produção musical, atribuindo maior versatilidade e *workflow* a esse processo, além de baratear os custos de produção.

Já a bateria MIDI ou bateria eletrônica, é um *hardware* capaz de ser tocada como uma bateria tradicional ou como um instrumento de percussão. Sua composição básica consiste em *pads* sensíveis a pressão, que emitem sons após o contato das mãos ou baquetas; efeitos eletrônicos, responsáveis por atribuir aos instrumentos características sonoras únicas e finalmente, recursos de programação e edição, que permite

ao usuário gravar e misturar faixas de áudio. Possivelmente, o sucesso dessas interfaces se dá pelo fato das versões digitais serem mais leves, mais compactas e com mais possibilidades de controle do som.

Outro exemplo é o **reacTable**, um IMD composto por uma mesa e uma câmera de vídeo responsável por identificar posição e natureza dos objetos que estão sobre ela. A partir das interações do usuário com esses objetos, chamados de tangíveis, é possível controlar as propriedades de sintetizadores de som. Cada tangível possui um fiducial, marcação utilizada por algoritmos de visão computacional para identificar objeto, posição e rotação. Por fim, a própria mesa exibe um *feedback* visual dos resultados dessas manipulações [11].

Há também os **joysticks** de videogames. Aproveitando-se do caráter intuitivo e orgânico de suas interfaces e manetes de controle, alguns pesquisadores começaram a usá-los para mapeamento e criação musical. Estas interfaces possuem limitações com o fato de seus botões não terem controles de intensidade e duração do toque. No entanto, elas permitem diferentes combinações de botões, prática que pode ser adotada no fazer artístico. Estas combinações podem ser entendidas como diferentes esforços para mapear o parâmetro de intensidade sonora em um sintetizador. Um trabalho a ser observado nesses moldes é o Ha Dou Ken Music [20], que simula um controlador MIDI a partir de um *joystick* e mapeamento vários-para-vários, gerenciando o tom e o formato de onda de uma ou várias notas.

Por fim, existe o **Live Coding**, que utiliza com sucesso mouse e teclado na prática musical, apesar dessas interfaces serem pouco adequadas para essa finalidade. Essa técnica consiste na escrita e modificação de código computacional em tempo real com o intuito de produzir música, alavancado pelo surgimento de compiladores e interpretadores que permitem essa ação [18]. Musicalmente falando, computador, compilador, interpretador e linguagem de programação são análogos ao instrumento, enquanto o código é análogo à partitura. O estilo sonoro resultante desse processo se aproxima do gênero eletrônico, como música concreta, Electronic Dance Music (EDM), Glitch Music e Noise Art [1].

4 Discussão

É importante ressaltar, como mostra a Tabela 1, que nem sempre é possível satisfazer a todos os aspectos de qualidade de uso de um IMD, mas o emprego de práticas comuns no campo de IHC é capaz de resolver a maioria dos problemas apresentados neste trabalho. Aqueles inerentes a seção 2.1 podem ser melhorados diante do emprego de **comunicabilidade** e **acessibilidade**, que vão permitir ao usuário expressar bem suas intenções de uso. Os problemas da seção 2.2 encontram possíveis soluções na **usabilidade**, que almeja meios eficientes, produtivos e seguros para realização de alguma tarefa, que neste caso é a execução musical. Nas seções 2.3, 2.4 e 2.8 a **comunicabilidade** pode ser utilizada para responder as expressões do usuário, permitir uma comunicação útil e

também adequar o instrumento ao seu contexto de uso. Em 2.5 e 2.8, **usabilidade** e **experiência do usuário** podem ser empregados para melhorar instrumentos digitais que se espelham em instrumentos acústicos. A ausência de repertório em 2.6 é muitas vezes decorrente do fato do criador do instrumento levar em consideração somente a sua realidade social e cognitiva no ato da criação e não ponderar sobre a **acessibilidade**. Por fim, a **experiência do usuário** que trata, dentre outros, de seu envolvimento no uso do instrumento em 2.7.

Do ponto de vista da interação, dois conjuntos de técnicas de IHC podem ser úteis na elaboração, avaliação e implementação de IMD: Design universal e Experiência do usuário (UX). O Design universal tem o objetivo de tornar serviços e produtos acessíveis ao maior número de pessoas, independente de gênero, idade e habilidade no manuseio. Está relacionado com ao conceito de sociedade inclusiva e no caso analisado, auxilia na integração musical. Seus sete conceitos básicos podem ser empregados na construção de um instrumento digital [23]: uso equitativo, onde o dispositivo deve ser útil e acessível a pessoas com habilidades diversas; uso flexível, com projeto acomodando uma ampla gama de indivíduos; uso simples e intuitivo, apresentando design fácil de entender; informações perceptíveis, comunicando apenas informações necessárias para o uso do equipamento; tolerância para erros, minimizando os riscos e informando ações prejudiciais para o produto; baixo esforço físico, onde o manuseio do instrumento deve causar o mínimo de fadiga física; e tamanho e espaço apropriado, sendo de fácil manipulação independente das condições físicas do usuário.

Já a Experiência do usuário é um conjunto de normas que destaca os aspectos experienciais e afetivos do usuário ao interagir com um sistema. Essa experiência é subjetiva, mas deve suscitar emoções positivas em quem usufrui do produto. Seus princípios-chave são [7]: definir padrões de interação de acordo com o contexto, incorporar a necessidade do usuário no design, apresentar interface intuitiva, fornecer informações importantes para o usuário, comunicar pontos fortes do sistema e manifestar consistência em todo o sistema. Assim como no Design universal, esses conceitos contribuem para a criação de um IMD, expandindo sua musicalidade e tornando-o mais adequado para as necessidades de usuários.

Um IMD deve possibilitar o acesso de qualquer pessoa, independentemente de suas capacidades físico-motoras, perceptivas, culturais e sociais e deve ser projetado em conformidade com as diretrizes de acessibilidade além de permitir um uso expressivo que contribua para o fazer artístico.

5 Conclusão

A computação tem avançado e se popularizado em diversas áreas e, junto dela, a difusão de sensores, atuadores e controladores permitiu a evolução da computação física. Este poder computacional e abundância de recursos tecnológicos tem

Quesito	Possibilidade 1	Possibilidade 2
usabilidade	precisão	expressividade
sensores	acessíveis	precisos
mapeamentos	simples	complexos
interfaces	propósito geral	específicas
modelo	acústico	novo
repertório	existente	inédito
execução	coletiva	individual
feedback	sonoro	Háptico, tátil, visual

Tabela 1. Características musicais e sua aplicações em IMD. motivado a criação de novos instrumentos musicais digitais, tanto na academia quanto fora dela.

Entretanto, a falta de padronização e de boas práticas na concepção de um IMD faz com que muitos deles não se popularizem, sendo utilizados somente pelo autor ou grupo que o criou. Em alguns casos, os erros podem ser tão graves que nem o próprio criador consegue utilizá-lo.

Por ser uma área relativamente nova e pouca explorada, não há um consenso sobre quais técnicas devem ou não ser evitadas, mas os autores indicaram algumas práticas, de forma semelhante aos antipadrões da Engenharia de Software, que podem ser ineficientes e/ou contra-produtivos. Os pesquisadores em IHC podem colaborar com esse problema utilizando de conceitos comuns a sua área de atuação, como Design universal, UX, acessibilidade e usabilidade, melhorando a relação entre interface musical e usuário. Houve também uma aproximação entre essa área do saber e a Computação Musical, que pode se beneficiar muito dessa relação.

O IHC também tira proveito dessa união, já que a execução de música exige precisão e liberdade, além de combinar expressão e criatividade com entretenimento, características que podem ser desejáveis em diversas interfaces. Outra característica que pode ser aproveitada é o fato que tocar e criar música é uma experiência coletiva, o que fornece uma excelente base de estudos para comparar a interação entre novatos e especialistas, crianças e adultos, entre outras possibilidades mapeáveis em experimentos coletivos [10].

Expandir os estudos sobre IMD ajuda não somente a explorar um campo que ainda não está completamente descoberto como também ajuda na inclusão musical e digital. Pelo caráter multidisciplinar dessa linha de pesquisa, existe também os ganhos impensáveis que ela pode fornecer a diversas áreas da computação, em especial, a interface humano-computador.

6 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos membros do ALICE e também as agências de financiamento CNPq (151975/2019-1), CAPES (88887.486097/2020-0), PROPE/UFSJ e FAPEMIG.

Referências

- [1] Andrew Brown and Andrew Sorensen. 2009. Interacting with Generative Music through Live Coding. *Contemporary Music Review* 28 (02 2009).
- [2] Filipe Calegario, João Tragtenberg, Giordano Cabral, and Geber Ramalho. 2019. Batebit Controller: Popularizing Digital Musical Instruments' Development Process. In *Proceedings of the 17th SBCM*. SBC, São João del-Rei - MG - Brazil, 217–218.
- [3] Perry Cook. 2017. 2001: Principles for Designing Computer Music Controllers. In *A NIME Reader*. Springer, USA, 1–13.
- [4] Leandro Costalonga and Marcelo Pimenta. 2019. Cognitive Offloading: Can ubimus technologies affect our musicality?. In *Proceedings of the 17th SBCM*. SBC, São João del-Rei - MG - Brazil, 84–91.
- [5] Arícia Ferigato and Ricardo Dourado Freire. 2014. Expressividade musical: um construto de características multidimensionais. In *Anais do Simpósio em práticas interpretativas*. Promus, Rio de Janeiro, 81–88.
- [6] Albert Glinsky. 2005. *Theremin: Ether Music and Espionage*. University of Illinois Press, Chicago, IL, EUA.
- [7] Rex Hartson and Pardha Pyla. 2012. *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, USA.
- [8] Andy Hunt, Marcelo M Wanderley, and Matthew Paradis. 2003. The importance of parameter mapping in electronic instrument design. *Journal of New Music Research* 32, 4 (2003), 429–440.
- [9] Fernando Iazzetta. 2009. *Música e mediação tecnológica*. Perspectiva, São Paulo, Brasil.
- [10] Sergi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, and Martin Kaltenbrunner. 2007. The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the 1st Int. Conf. on Tangible and embedded interaction*. ACM, Stockholm, Sweden, 139–146.
- [11] Sergi Jordà, Martin Kaltenbrunner, Günter Geiger, and Ross Bencina. 2005. The reacTable. In *Proceedings of the Int. Conf. on NIME*. University of Technology Sydney, Barcelona, Spain, 579–582.
- [12] P. Lansky. 1990. A View from the Bus: When Machines Make Music. *Perspectives of New Music* 28 (1990), 102.
- [13] Maria Carolina Leme Joly and Ilza Zenker Leme Joly. 2011. Práticas musicais coletivas: um olhar para a convivência em uma orquestra comunitária. *Revista da Associação Brasileira de Educação Musical (ABEM)* 19 (06 2011), 79–91.
- [14] Marcelo Alves Loureiro. 2006. A pesquisa empírica em expressividade musical: métodos e modelos de representação e extração de informação de conteúdo expressivo musical. *Revista Opus* 12, 12 (12 2006), 210.
- [15] Angelo Martingo. 2005. A teoria na prática: modelos cognitivos e performance demúsica tonal. *Rev. Elet. de Musicologia* 9, 1 (10 2005).
- [16] Eduardo Miranda and Marcelo M. Wanderley. 2006. *New Digital Musical Instruments: Control And Interaction Beyond the Keyboard*. A-R Editions, Middleton, Wisconsin, EUA.
- [17] Adriano Claro Monteiro. 2012. *Criação e performance musical no contexto dos instrumentos musicais digitais*. Master's thesis. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- [18] Click Nilson. 2007. Live Coding Practice. In *Proceedings of the Int. Conf. on NIME*. NIME, New York City, NY, United States, 112–117.
- [19] Eduardo Patrício. 2010. *Instrumentos Musicais Digitais - Uma abordagem composicional*. Master's thesis. UFPR, Brasil.
- [20] Gabriel Lopes Rocha, João Teixeira Araújo, and Flávio Luiz Schiavoni. 2019. Ha Dou Ken Music: Different mappings to play music with joysticks. In *Proceedings of the Int. Conf. on NIME*. UFRGS, Porto Alegre, Brazil, 77–78.
- [21] Joseph Butch Rován, Marcelo M Wanderley, Shlomo Dubnov, and Philippe Depalle. 1997. Instrumental gestural mapping strategies as expressivity determinants in computer music performance. In *Proceedings of the AIMI International Workshop*. Citeseer, Kansei, The Technology of Emotion, Genova, Italy, 68–73.
- [22] Eduardo Santos Silva. 2015. *Integrando Sensores para a Criação de Instrumentos Musicais Digitais*. Master's thesis. Universidade Federal do Pernambuco, Brasil.
- [23] Molly Follette Story. 1998. Maximizing usability: the principles of universal design. *Assistive technology* 10, 1 (1998), 4–12.
- [24] R. Vieira, A. Vitorino, and J. Mendes. 2019. Controladores MIDI: uma abordagem econômica baseada no microcontrolador Arduino.