

Interação Timbrística em Música Ubíqua: A Ecologia de Metáforas da Esfera Sonora

(Timbre Interaction in Ubiquitous Music: The Sound Sphere Ecology of Metaphors)

Brendah Freitas¹, Damián Keller¹, Willian Ramon Barbosa Bessa², David Ferreira da Costa¹, Flávio Miranda de Farias²

Núcleo Amazônico de Pesquisa Musical (1 Universidade Federal do Acre / 2 Instituto Federal do Acre)
brendahmusica@gmail.com, dkeller@ccrma.stanford.edu, barbosabessa@gmail.com,
davidfeemcristo@gmail.com, fmflavio@gmail.com

Abstract

Timbre is among the topics of ubiquitous music research featuring some of the most difficult conceptual and methodological challenges, especially when targeting lay-oriented interaction. Timbre parameterization cannot be handled by simplistic or arbitrary mapping strategies. Also, semantic abstractions may not be amenable to untrained stakeholders. To deal with casual usage of complex parametric configurations, we developed a two-tier approach to an ecology of metaphors for creative action. An exploratory study of usage of the Sound Sphere Metaphor - by undergraduate music students with no previous training on audio tools - yielded successful creative outcomes but also left room for improvement in the experimental procedures.

Keywords: ubiquitous music; sound sphere metaphor; everyday musical creativity

Resumo

Discutimos abordagens recentes de suporte assíncrono para atividades musicais online para vários perfis de participantes, incluindo os iniciantes. O timbre é um tópico emergente da pesquisa em música ubíqua que apresenta desafios conceituais e metodológicos para a interação musical orientada a leigos. Por um lado, o timbre envolve processos perceptuais complexos que não estão contemplados nas estratégias de mapeamentos diretos ou arbitrários de parâmetros sonoros. Por outro lado, o uso de termos abstratos também pode impossibilitar o acesso aos interessados que não dominam o arcabouço conceitual musical. Desenvolvemos uma abordagem em dois níveis desde um enfoque ecológico para a ação criativa para viabilizar o suporte para interação timbrística por parte de usuários causais. Realizamos um estudo exploratório dentro do contexto das atividades curriculares de um curso introdutório em tecnologia musical. Discutimos os resultados e as implicações do uso da ecologia de metáforas vinculadas ao conceito da Esfera Sonora para o desenvolvimento do suporte à criatividade musical cotidiana.

Palavras chave: música ubíqua; metáfora da esfera sonora; criatividade musical cotidiana.

1. Introdução

Uma questão abordada pela pesquisa em música ubíqua (Keller et al. 2014) é como lidar com decisões estéticas, evitando as barreiras para a participação vinculadas à exigência de treinamento musical. Atualmente, a pesquisa atual em interação musical enfatiza uma tendência à especialização embasada no conhecimento técnico-musical e voltada para o instrumentista virtuoso (Wessel e Wright 2002). Esse enfoque - denominado por diversos autores como o enfoque acústico-instrumental (cf. Bown et al. 2009; Keller et al. 2010) - envolve o uso de interfaces baseadas na emulação de instrumentos musicais acústicos e incentiva a adoção de formas hierárquicas de interação social, exemplificadas pelo modelo da "orquestra" (Trueman 2007). Enquanto que algumas dessas estratégias

podem ser aplicáveis para as atividades dos músicos profissionais atuando em locais planejados para fins artísticos, os requisitos da criatividade musical cotidiana (Keller et al. 2013; Keller e Lima 2016; Lima et al. 2017) não são compatíveis com o design de interação musical baseado no modelo acústico-instrumental.

As metáforas para a ação criativa encontram-se no ponto de contato entre o conceito de metáfora de interação musical (Pimenta et al. 2012) e as soluções alinhadas com a estética da interação voltada para a criatividade musical (Brown et al. 2018; Keller et al. 2014b; Keller et al. 2015a). Elas envolvem o suporte sustentável da atividade criativa, abrangendo por um lado o objeto da atividade – o produto criativo – e por outro os procedimentos necessários para atingir esse objeto – o processo criativo. É este último aspecto que diferencia as metáforas de suporte à criatividade das metáforas de interação. Enquanto as metáforas de interação musical fornecem o apoio necessário para que leigos e músicos consigam atingir resultados musicais, as metáforas para a ação criativa visam aumentar o potencial criativo dos participantes. Esse potencial criativo pode ter impacto nos produtos intencionais e não intencionais da atividade musical. Porém, o objetivo principal do suporte não é o produto criativo em si, mas o aumento da capacidade de utilização dos recursos existentes no local da atividade, por parte dos agentes. Como exemplos de metáforas para a ação criativa podemos citar a marcação temporal (Keller et al. 2010; Radanovitsck et al. 2011), a metáfora da listra (Farias et al. 2015; Silva et al. 2016), a marcação espacial (Keller et al. 2011; Keller et al. 2013c) e os substitutos criativos (Keller et al. 2014c; Keller et al. 2015a).

No presente projeto adotamos uma perspectiva ampla em relação ao timbre. Existem enfoques diversos voltados para a percepção, categorização e análise timbrísticas que abrem novas perspectivas sobre a utilização criativa do timbre. Recentemente, Coelho de Souza¹ (2019) propõe a análise por modelagem como uma estratégia aplicável não só nas categorias tradicionais nos estudos do timbre (como os sons instrumentais acústicos), ele sugere que a análise por modelagem pode também abranger os sons sintetizados. Nessa esteira, seria natural ampliar as estratégias de design para incluir o processamento sonoro como forma de aproximação às organizações timbrísticas. Coelho de Souza sugere a adoção de descritores sonoros como forma de trabalhar criativamente com os fenômenos timbrísticos. Esse é a perspectiva aplicada neste trabalho, focando o problema da complexidade paramétrica envolvida na configuração de algoritmos de processamento sonoro.

Neste artigo relatamos os procedimentos utilizados no desenvolvimento de uma nova metáfora para a ação criativa, a Esfera do Som ou *Sound Sphere Metaphor*. A Metáfora da Esfera do Som é um projeto em desenvolvimento no Núcleo Amazônico de Pesquisa Musical^{2,3} (NAP), voltado para o suporte de atividades criativas em rede assíncronas (Bessa et al. 2015). O NAP é um grupo ativo desde 2003, com membros permanentes nas universidades federais do Acre, da Paraíba e no Instituto Federal do Acre. É o grupo de pesquisa em práticas criativas com maior produção e projeção da região Norte do Brasil. Na seção seguinte abordamos os trabalhos voltados ao uso de recursos semânticos, com potencial de contribuição para a interação musical. Na terceira parte do texto descrevemos a ecologia vinculada à Metáfora da Esfera Sonora⁴, dando destaque para uma estratégia de design que

permite a interação em duas camadas abrindo espaço para a inserção de leigos e de especialistas dentro dos processos criativos. Por último, apresentamos os resultados preliminares de um estudo exploratório envolvendo alunos de graduação em música, iniciantes no uso de ferramentas tecnológicas.

2. Trabalhos Relacionados: Estratégias semânticas para melhorar a usabilidade dos sistemas de processamento de áudio

Nesta seção analisamos as estratégias empregadas para facilitar as operações de processamento de áudio nos sistemas voltados para usuários não especialistas. Independentemente de que o processamento de áudio não seja o foco específico dos sistemas projetados para manipular dados musicais, como é o caso dos sequenciadores e dos editores baseados em dados MIDI, existem aspectos comuns no suporte à interação que justificam o tratamento em conjunto de ferramentas de manipulação de dados musicais e de dados sonoros. Nossa abordagem baseia-se numa perspectiva ampla da interação musical, apoiada em avanços recentes na pesquisa em interação humano-computador (Harrison et al. 2007; Shneiderman 2007) e na pesquisa em música ubíqua (Keller et al. 2014a; Keller e Lazzarini 2015; Pimenta et al. 2014).

UJAM Studio é uma ferramenta comercial para mixagem online (UJAM 2017). O tipo de suporte está intimamente relacionado ao karaokê, ele inclui uma ferramenta de análise do som vocal monofônico e usa a informação extraída para sugerir presets de acompanhamento musical. Ao escolher uma opção entre os gêneros musicais comerciais disponibilizados, o sistema fornece gravações instrumentais acústicas pré-editadas para o estilo escolhido. Para compensar essa abordagem baseada em pacotes musicais prontos, o UJAM Studio fornece suporte para modificar os modelos. O editor de acordes exibe cifras em uma matriz, permitindo que os usuários editem as sequências harmônicas. Também tem ferramentas simples para edição de áudio. Um aspecto interessante da interface do UJAM Studio é o acesso direto a informações de nível estrutural intermediário (figura 1 (c) editar a estrutura formal). Os usuários podem definir blocos de dados musicais, atribuir um nome e uma cor, e modificar sua distribuição temporal através de um mecanismo de *drag-and-drop*. Esse tipo de abordagem gráfica para a manipulação de dados musicais foi proposto e investigado pela equipe de representação musical do IRCAM desde o final da década de 1990 (Assayag 1998).

a. Capturar a voz



b. Aplicar *presets* instrumentais



c. Editar a estrutura formal



d. Editar as amostras de áudio



Figura 1. UJAM Studio.

O UJAM Studio tenta aumentar a usabilidade através da abstração dos dados musicais. Por exemplo, os acordes são substituídos por letras e as seções musicais são representadas por retângulos com cores diversas. Uma abordagem diferente é utilizada na ferramenta de apoio¹ do sequenciador Neutron (Neutron 2018) (figura 2). Ao invés de investir no aprimoramento da usabilidade da interface gráfica, o sistema Neutron separa a interação em duas etapas. A primeira etapa fornece descritores simples que representam diversas opções paramétricas. Por exemplo, as opções de dinâmica são: baixa, média e alta (equivalentes a piano, mezzo forte e forte). Cada um dos termos corresponde a uma configuração paramétrica predefinida. A segunda etapa dá acesso à interface gráfica, permitindo que o usuário faça alterações finas nos parâmetros. Esse mecanismo é computacionalmente eficiente e bastante intuitivo para o uso em sistemas assíncronos. A limitação é que o usuário não tem um retorno sonoro imediato para aferir o impacto das suas escolhas.

¹ Track assistant no original.

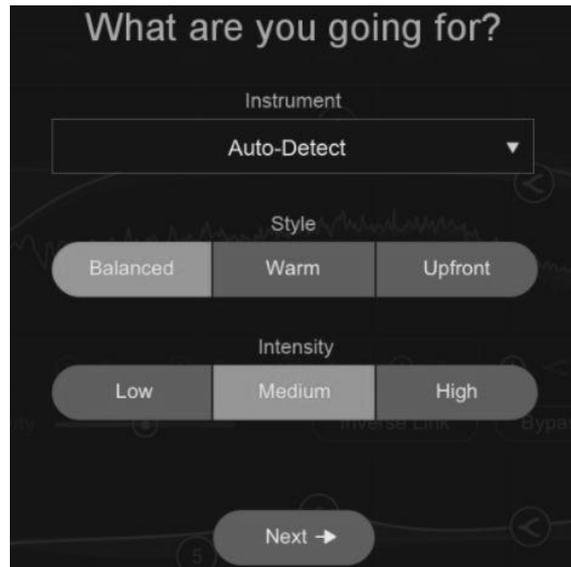


Figura 2. Neutron track assistant.

Uma estratégia de suporte mais flexível é documentada em (Cartwright e Pardo 2013; Seetharaman e Pardo 2016; Stables et al. 2014). Esses autores utilizam descritores semânticos para o controle paramétrico do processamento de áudio. A ideia é semelhante ao procedimento implementado no UJAM, porém sem dividir a interação em dois estágios. A proposta é inserir os descritores semânticos diretamente nos controladores. Os usuários podem recuperar os termos utilizados anteriormente ou podem criar seus próprios adjetivos para descrever as qualidades timbrísticas resultantes das manipulações paramétricas.

Audealize (Cartwright e Pardo 2013; Seetharaman e Pardo 2016) abrange dois sistemas: um permite o controle de parâmetros de equalização e o outro serve para configurar os parâmetros de reverberação. O objetivo da proposta é utilizar descritores percentualmente relevantes como ferramentas de controle de equalização e de reverberação, evitando a manipulação direta das magnitudes acústicas (e.g., tempo de reverberação ou nível de absorção, entre outros parâmetros). A interface *Audealize* exibe descritores criados pelo usuário para nomear configurações paramétricas (figura 3). A interface aplica a metáfora da nuvem de palavras (tag cloud). O conceito de nuvem de palavras foi introduzido pelo psicólogo social Stanley Milgram e sua equipe em um estudo da percepção grupal da geografia de Paris (Milgram e Jodelet 1976). Na visualização proposta por Milgram, o tamanho da fonte estava correlacionado à frequência com que cada lugar era mencionado pelos sujeitos. As nuvens de palavras podem ser usadas para diversos fins, mas sua aplicação mais comum é a representação visual das relações entre conceitos. As configurações paramétricas podem ser alteradas clicando no descritor ou, alternativamente, manipulando o *slider* correspondente à amplitude de cada faixa de frequência ou utilizando os knobs de controle de parâmetros de reverberação (no caso, tempo de reverberação, densidade de ecos, brilho, entre outros).

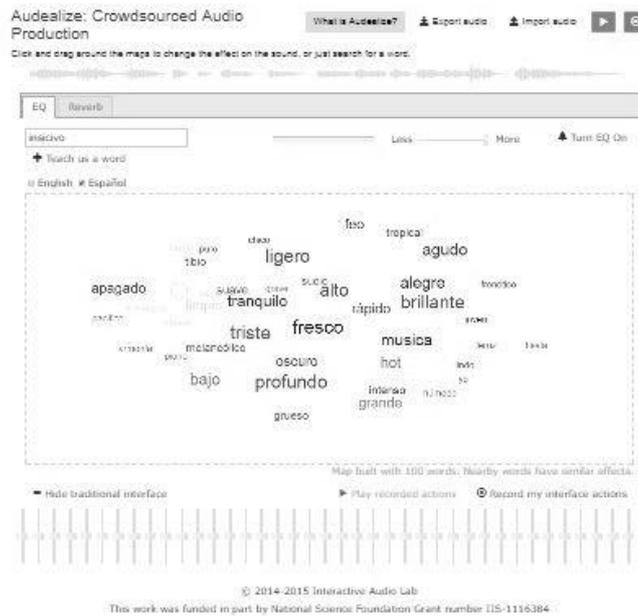


Figura 3. Audealize.

Em vez de implementar um sistema baseado na web, Stables e coautores (2014) optam por aprimorar a funcionalidade das ferramentas de áudio digital (DAWs) através do controle semântico. Eles relatam o uso de tags semânticas para controlar os parâmetros de equalização, distorção, compressão e reverberação, através da implementação de plugins de áudio (agrupados sob o denominador *Semantic Audio Feature Extraction - SAFE*) (figura 4). Os plugins SAFE possuem ferramentas de controle e visualização (permitindo a exibição gráfica das mudanças de parâmetros) e fornecem um mecanismo de vinculação de um descritor (ou descritores) para cada configuração paramétrica. Desta feita, os usuários podem salvar e recuperar as configurações digitando ou selecionando uma palavra ou uma sequência de palavras. O sistema também aceita metadados do usuário e da amostra sonora - incluindo idade e localização, experiência de produção de música, escolha de gênero musical e instrumentos musicais utilizados.



Figura 4. Plug-ins SAFE: Semantic Audio Feature Extraction.

Uma análise dos termos coletados indicou que a equalização e a compressão compartilham um vocabulário comum, enquanto que a reverberação e a distorção apresentam termos descritivos diferentes (Stables et al. 2016). Os termos utilizados no compressor tendem a corresponder ao nível

de processamento do sinal. Alto, grosso ou achatado geralmente referem-se a configurações extremas de compressão, enquanto que sutil, leve ou suave descrevem ajustes pequenos no envelope de amplitude. As características da distorção ficam agrupadas pela magnitude da transformação sônica, com termos como distorcido e áspero (*fuzz, harsh*) claramente separados de sutil, afilado e rosnado (*subtle, rasp, growl*). A equalização compreende uma distribuição ampla de categorias, exceto nos termos que se referem a tessituras específicas do espectro, como baixo, médio ou agudo, que ocupam espaços conceituais independentes. Os termos da reverberação são agrupados pelo tamanho e pelas características dos espaços acústicos. Por exemplo, os descritores auditório e sala (*hall, room*) compartilham um espaço comum, enquanto que mole, úmido e natural (*soft, damp, natural*) pertencem a outra partição conceitual. Em contraste com os resultados positivos que acabamos de discutir, Seetharaman e Pardo (2014) apontam que os termos usados mais comumente para descrever os perfis dos reverberadores não correspondem com as diferenças paramétricas entre as diversas configurações de reverberação. Por esse motivo, eles concluem que operar um reverberador paramétrico usando as configurações acústicas permite obter resultados mais previsíveis do que utilizar os controles semânticos.

Resumindo, as propostas recentes em interação baseada em descritores semânticos para o processamento de áudio apontam caminhos promissores de desenvolvimento, porém precisam de mais estudo. Embora os trabalhos realizados foquem a validação de descritores definidos pelos participantes, não é claro se os termos espontâneos podem ser aplicados a uma gama ampla de casos e de contextos de uso ou se é preferível adotar abordagens que limitem o número de categorias disponíveis. A questão torna-se particularmente problemática quando é levado em consideração o perfil dos participantes. Os estudos listados parecem indicar que a base de usuários inclui somente músicos especializados com experiência considerável na manipulação de equipamentos de estúdio e de ferramentas de produção de áudio. Aparentemente, nessa população-alvo seria possível substituir a interação com GUIs pelo uso de termos técnicos descritivos. Mas essa estratégia não é consistente com o objetivo de expandir a base de usuários. Se, por um lado, espera-se que os interessados na produção de áudio invistam tempo para se familiarizar com um conjunto de ferramentas específicas, por outro lado, não é óbvio que a adoção de um vocabulário técnico proporcione uma melhoria na interação em comparação com o uso de interfaces gráficas. Para alguns novatos, a experiência pode se tornar exasperante. Dependendo do controle paramétrico escolhido, um conjunto vasto de resultados sonoros corresponderia a outro conjunto amplo de conceitos (abrangendo desde noções cotidianas familiares até o uso de jargão exótico ou altamente especializado). Levando em conta esses fatores, a abordagem de Stasis e co-autores (2017) parece razoável. Eles aplicaram apenas dois descritores de equalização de uso frequente - quente e brilhante - e tentaram desvendar as implicações. Curiosamente, descobriram que o uso do adjetivo quente é 100% confiável (dentro do contexto limitado da experiência), enquanto que o uso de brilhante atinge apenas 90% de precisão. O melhor desempenho - quando comparado a tarefas que lidam com um conjunto ilimitado de descritores - indica que houve uma redução da demanda cognitiva dos processos de decisão. Pode-se fornecer inicialmente uma ampla gama opções - normalmente no âmbito de dezenas de descritores. Nas

iterações subsequentes pode-se aplicar o processo de refinamento progressivo, com categorias amplas primeiro, e mais restritas depois, até atingindo mudanças paramétricas pouco significativas.

Ao interpretar esses resultados desde uma perspectiva mais abrangente, centrada na criatividade, devem ser considerados outros aspectos. As ferramentas de processamento sonoro raramente são usadas de forma isolada. Frequentemente, são empregadas no contexto de uma ampla gama de atividades (incluindo a edição e a mixagem de áudio), dando suporte para um conjunto de tarefas que alguns autores chamam de cadeia de produção de áudio (Tatlas et al. 2003). Nesse contexto, fatores como o investimento temporal na atividade e as demandas de recursos materiais tornam-se tão importantes quanto a avaliação do produto criativo. Os métodos aplicados na pesquisa ubimus podem ajudar a avaliar o impacto do suporte à interação focando os fatores criativos (Pimenta et al. 2014). Por exemplo, ferramentas como Audealize e SAFE podem ser usadas em conjunto com plataformas de mixagem (SoundSphere ou Audacity) para avaliar o investimento temporal na geração de recursos sonoros, a relação entre o uso de recursos e os resíduos criativos produzidos, e o perfil criativo dos produtos obtidos em função do perfil dos participantes. Investimentos temporais altos junto com níveis baixos de originalidade nos produtos criativos podem indicar demandas cognitivas inadequadas para o perfil das partes envolvidas. Esse tipo de enfoque permite aferir o impacto das opções de design nos produtos criativos e ao mesmo tempo impulsiona a ampliação da base de usuários.

Tabela 1. Resumo das características dos sistemas revisados e propostos.

Ferramenta	Contexto De Uso	Arquitetura	Objetivo	Recursos De Interação
UJAM Studio	Online	fixo	karaokê, acompanhamento instrumental	acordes representados como letras; dados musicais representados como rotulados; blocos coloridos
Neutron track assistant	Neutron sequencer plugin	fixo	escolha de pré-configurações de fábrica para seqüências de dados musicais	abordagem em dois níveis: predefinições escolhidas por meio de sucessivas perguntas de múltipla escolha; controles de GUI paramétricos padrão
SAFE	DAW plugin	fixo	equalização, reverberação, compressão, distorção	operadores representados como descritores definidos pelo usuário; controles de GUI paramétricos padrão
Audealize	Online	fixo	equalização, reverberação	operadores representados como descritores definidos pelo usuário; exibição de nuvem de palavras dos operadores; design orientado para a comunidade
TOE	SoundSphere	modular	equalização	abordagem em dois níveis: os operadores representados como descritores são definidos pelo usuário; os músicos projetam os operadores e os novatos carregam os projetos gerenciados pela comunidade

3. Uma metáfora em duas camadas para a interação timbrística

A Metáfora da Esfera do Som envolve a visualização de um usuário sentado no centro de uma esfera ou globo, enquanto os eventos sonoros são projetados na superfície da esfera. O eixo vertical corresponde às faixas de mixagem e o eixo horizontal corresponde ao layout temporal dos eventos. Mover o eixo para cima ou para baixo permite exibir eventos que serão renderizados simultaneamente.

Movimentos ao longo da linha do tempo em direção à esquerda descobrem eventos passados enquanto os movimentos à direita dão acesso ao conteúdo sonoro futuro (tabela 3). Durante a reprodução, o globo se movimenta a uma velocidade angular fixa. Todas as amostras dispostas no eixo vertical são executadas quando atingem o *tracker* (ou linha de referência temporal). O número de faixas é limitado apenas pela memória disponível no dispositivo. O tipo, quantidade e tamanho do conteúdo sonoro são abertos.

A versão 1.3 do protótipo fornece três grupos de ferramentas (tabelas 2 e 3): o painel de mixagem, o menu de ferramentas e a biblioteca de amostras de áudio. Para identificar as amostras no painel de mixagem, o sistema cria um ícone com uma cor específica, com base na ordem alfanumérica dos arquivos carregados. Ao passar o mouse sobre cada item, os usuários podem reproduzir trechos do conteúdo de áudio. A seleção do evento é feita via clique (ou toque). O sistema cria um círculo para indicar a seleção. Depois desse procedimento, o usuário pode inserir o item selecionado no painel de mixagem clicando (ou tocando) no local desejado. O painel é indicado pela seta 2. Os números na borda superior representam o tempo em segundos. A borda esquerda apresenta os números das faixas. O usuário pode navegar pelo painel clicando e movendo o mouse sobre ele. A funcionalidade loop quando ativada, reinicia automaticamente a reprodução; play inicia a reprodução; pause interrompe a reprodução; stop interrompe a reprodução e coloca o *tracker* no tempo zero; *enable options* dá acesso à manipulação de parâmetros sonoros. Ao clicar em um evento, ele pode ser excluído ou alterado. As opções são: amplitude e mudo ou solo. O botão *restart* apaga tudo no painel de mixagem; upload insere um ou mais arquivos de áudio para uso no aplicativo; e download permite mixar e baixar o resultado imediatamente.

Um protótipo do SoundSphere recém implementado forneceu a oportunidade de investigar a aplicação da metáfora envolvendo o uso de operadores semântico-timbrísticos. A construção dos operadores semântico-timbrísticos é realizada com uma ferramenta on-line implementada para viabilizar a composição de um banco de filtros de resposta finita com arquiteturas e parâmetros definidos pelo usuário: o Editor de Operadores Semântico-Timbrísticos (ou TOE). A ferramenta TOE permite a construção rápida de bancos de filtros baseados na biblioteca Web Audio e anexa um rótulo fornecido pelo projetista, por exemplo brilhante ou escuro, quente ou frio. A ferramenta fornece retorno sonoro imediato, e permite construir uma cadeia serial de filtros (incluindo *lowpass*, *highpass*, *bandpass*, *allpass*, *lowself*, *highshelf* e *notch*). A interface apresenta os parâmetros usuais dos filtros - atenuação ou aumento de frequências, Q e ganho. Ao finalizar a edição, a ferramenta TOE gera um arquivo de configuração no formato JSON que pode ser importado pelo SoundSphere 1.3 ou por outros sistemas baseados na biblioteca Web Audio. Os usuários do SoundSphere podem recuperar as definições de processamento timbrístico selecionando os operadores semântico-timbrísticos (como mencionado acima, os descritores são definidos pelos usuários e podem incluir termos como claro ou escuro, quente ou frio, etc.).

Tabela 2. Os dois estágios para a ação criativa em SoundSphere. Nível 1, preparação.

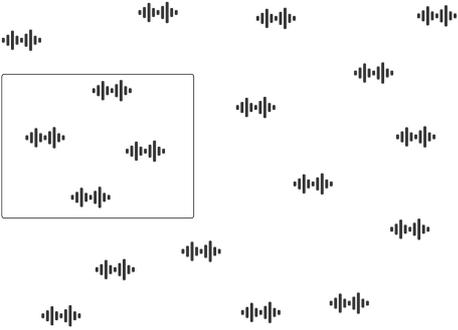
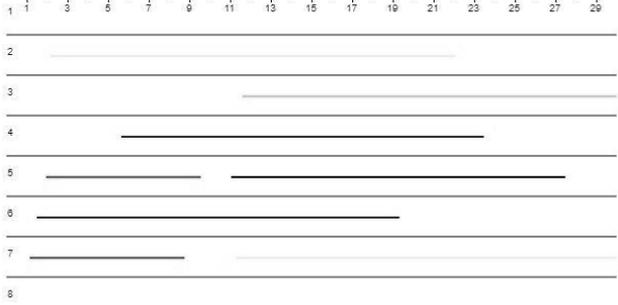
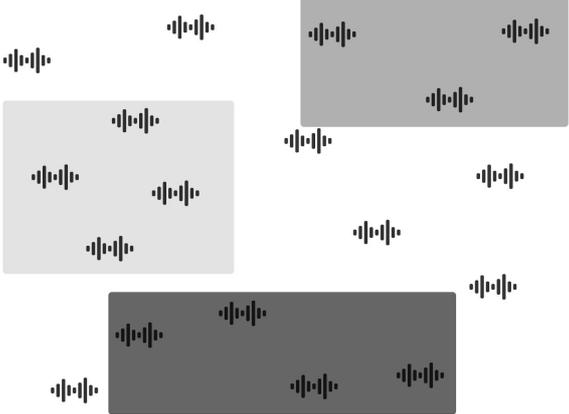
nível 1: preparação	descrição de uso	metáfora de suporte criativo
perfil de usuário	avançado	
atividades	seleção de recursos sonoros	
	design de operadores semântico-timbrísticos	<p>editor de operadores semântico-timbrísticos (TOE)</p> 
saída	operadores semântico-timbrísticos	

Tabela 3. Os dois estágios para a ação criativa em SoundSphere. Nível 2, execução.

nível 2: execução	descrição de uso	metáfora de suporte criativo
perfil de usuário	casual	
atividades	seleção	<p>metáfora da degustação sonora</p> <p>Biblioteca</p> 
	mixagem	<p>metáfora da esfera do som</p> 
	processamento fixo de timbres	som comentado (VOS)

		<p>Options/Opções:</p> <p>Geral Descritores</p> <p><input type="checkbox"/> Ativo/Solo Pesado</p> <p>Tempo de:</p> <p>Start/Início: 5,5 End/Fim: 21.933061224489794</p> <p>Volume</p> <p style="text-align: center;">- 50% +</p> <p style="text-align: right;">Com Modificadores Sem Modificadores Delete Cancel Ok</p>
saída	áudio processado	

Implementação e design participativo. A ferramenta SoundSphere foi desenvolvida pelos membros do NAP como parte de um projeto que visa a disponibilização e validação da metáfora para a ação criativa Esfera do Som ou Esfera Sonora, Sound Sphere Metaphor (Bessa et al. 2015). A metáfora da esfera sonora propõe a visualização de eventos sonoros projetados numa esfera, com o usuário sentado no centro da mesma. No eixo vertical - equivalente à latitude terrestre - situam-se as trilhas de mixagem. O eixo horizontal - equivalente à longitude terrestre - corresponde ao tempo. Ao movimentar as trilhas para cima ou para baixo, podem-se visualizar os sons que serão renderizados simultaneamente. Ao mover a linha de referência do tempo, também denominada *tracker*, para a esquerda retrocede-se no tempo, enquanto que para a direita acessam-se os eventos futuros (figura 5). Ao reproduzir a mixagem, o *tracker* movimentam-se de acordo com a velocidade angular definida pelo usuário, e as amostras sonoras são renderizadas no momento em que elas atingem a linha de referência temporal. Nesse modelo tanto o tempo do resultado sonoro quanto a quantidade de trilhas deixam de ser pré-definidos e passam a ter valores incrementais, que são determinados de acordo com a quantidade e o tamanho das amostras sonoras inseridas no painel de mixagem (tabela 3).



Figura 5. Metáfora da esfera sonora: o eixo vertical contém as trilhas, o eixo horizontal representa o tempo. Ao executar a mixagem, os eventos sonoros são renderizados no momento em que ficam alinhados ao *tracker* (ou cursor temporal).

A primeira série de protótipos SoundSphere foi iniciada em 2015 (Bessa et al. 2015). Entre 2015 e 2018, foram realizadas múltiplas reuniões do grupo de pesquisa, com troca permanente de mensagens nos fóruns. A gestão geral do projeto foi documentada na plataforma Trello⁵. As discussões abrangeram aspectos técnicos (escolha do ambiente de programação e das plataformas de suporte, estratégias de prototipagem, reaproveitamento de tecnologia existente, formatos de dados), aspectos conceituais (contextos de uso e perfil do público-alvo) e aspectos metodológicos (estratégias de validação, aferição da sustentabilidade da proposta e análise de requisitos). Nesses encontros foram elencados diversos itens de design, estabelecendo prioridades de implementação com o intuito de atingir ciclos curtos de prototipagem-validação.

Ferramentas. Durante o desenvolvimento do software foi utilizada a ferramenta Visual Studio Code (Microsoft) para a edição do código Typescript e HTML5. Para rodar o aplicativo e realizar os testes ao longo do seu desenvolvimento foi utilizado o navegador Google Chrome. Levando em conta as especificidades dos navegadores nas múltiplas plataformas existentes - incluindo os dispositivos portáteis - é recomendada a utilização do navegador Google Chrome a partir da versão 70.

Durante o desenvolvimento do SoundSphere foram utilizadas diversas API (Interfaces para Programação de Aplicativos) disponibilizadas pela comunidade de desenvolvedores de código aberto. SoundSphere incorpora Web Audio e Web Speech. Web Audio é uma API JavaScript de alto nível para processamento e renderização sonora em aplicativos Web (Smus 2013). Já a Web Speech é uma interface de programação que fornece recursos para análise e síntese da fala, com suporte para múltiplas linguagens incluindo o Português (Adorf 2013).

Inicialmente o SoundSphere foi baseado em JavaScript e HTML5. Porém, posteriormente a manutenção do código fez necessária sua refatoração, envolvendo a reescrita integral do aplicativo na linguagem Typescript. Typescript é um super conjunto de JavaScript. Em Typescript, a tipificação de valores tem um papel central na redução de erros associados à geração de código e, portanto, impulsiona um aumento de produtividade se comparado com o uso do JavaScript tradicional (Abreu

2017).

Estrutura do software. A figura 6 mostra as principais classes que compõem o protótipo SoundSphere 1.4. A classe SoundSphereInfo armazena informações sobre a versão do aplicativo. Ela ainda está em fase de aperfeiçoamento e novas informações serão incorporadas a medida que a ecologia de ferramentas seja ampliada. A classe Panel abrange os métodos referentes à animação do painel de mixagem. A classe ItemMixPanel dá suporte para as ações de inserção de itens de mixagem, incluindo o controle da amplitude do evento, a identificação da amostra de áudio a ser reproduzida, o tempo de início e o tempo de finalização do evento, e a indicação de processamento sonoro através da escolha de operadores semântico-timbrísticos. A classe Sequencer processa os dados da classe ItemMixPanel, dando suporte para a renderização do áudio. Essa classe dialoga com a classe Panel na determinação do tempo de ativação das animações e dá suporte para as funcionalidades como tocar, pausar e parar (Play, Pause, Stop). A classe ItemBuffer é utilizada para fazer a manipulação dos arquivos de áudio (em formato WAVE) dando suporte para os mecanismos de processamento sonoro. Com a inclusão dos operadores semântico-timbrísticos foi necessária a implementação das classes SemanticDescriptor e Filter, abrangendo os métodos e os atributos para a leitura dos dados TOE (formato JSON) e para a execução do processamento de áudio através do acesso às classes com suporte para múltiplos filtros digitais, fornecidas pela biblioteca Web Audio.

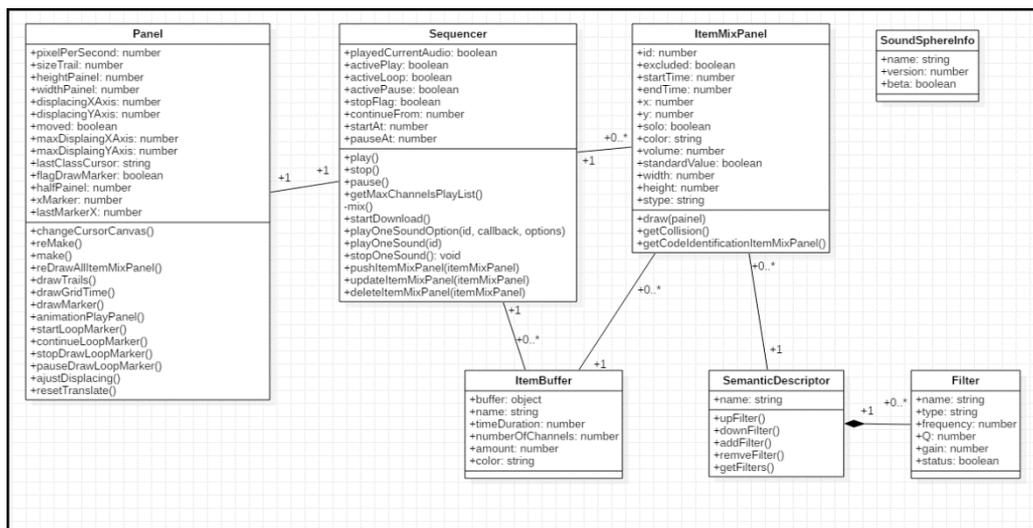


Figura 6. Diagrama de classes do protótipo SoundSphere 1.4.

Bessa et al. (2015) relatam resultados da aplicação do protótipo SoundSphere6 na sua versão 1.0 em atividades criativas musicais realizadas por músicos e leigos. Essas atividades incluíram a exploração da metáfora, a criação de mixagens em sessões de um minuto de duração, e a imitação de um modelo sonoro - também de um minuto - feito pelos pesquisadores. Os participantes responderam o questionário CSI-NAP7 v. 0.5, avaliando o produto e o seu desempenho durante as atividades. Os resultados foram positivos nos quesitos relevância e produtividade. No entanto, os escores altos no item atenção indicaram que as atividades demandaram um grande investimento cognitivo por parte dos participantes. A alta demanda cognitiva pode ter influenciado negativamente os

resultados referentes ao fator diversão, sugerindo a existência de problemas no suporte para a inserção das amostras sonoras. Com o intuito de superar as limitações identificadas nos estudos experimentais, implementamos uma nova série de protótipos, concluindo o primeiro ciclo de desenvolvimento na versão 1.4.

Resultados de destaque na versão 1.4. As mudanças no design do software podem ser classificadas em dois grupos: novas funcionalidades e ajustes das funcionalidades já existentes. Na figura 7, as setas 1 e 2 indicam as grades do painel de mixagem - a seta 1 indica o tempo e a seta 2 indica a trilha em que a amostra está sendo inserida. Ao inserir uma amostra de áudio no painel ela torna-se um evento dentro da esfera mixagem (indicado pela seta 3), mantendo assim a cor da amostra e o tamanho de acordo com a sua duração. A espessura do item varia de acordo com o valor da amplitude, e caso ele esteja mudo, recebe uma coloração cinza. A seta 4 destaca o painel de opções, sendo respectivamente, comando de voz, botões de repetir, tocar, pausar, parar, reiniciar, carregar amostras e descarregar a mixagem. A amostra selecionada é indicada com um círculo em volta (seta 5). Ao clicar no painel a amostra é inserida no local do cursor (modo inserção - *drop mode*). A seta 6 indica um item que não está selecionado.

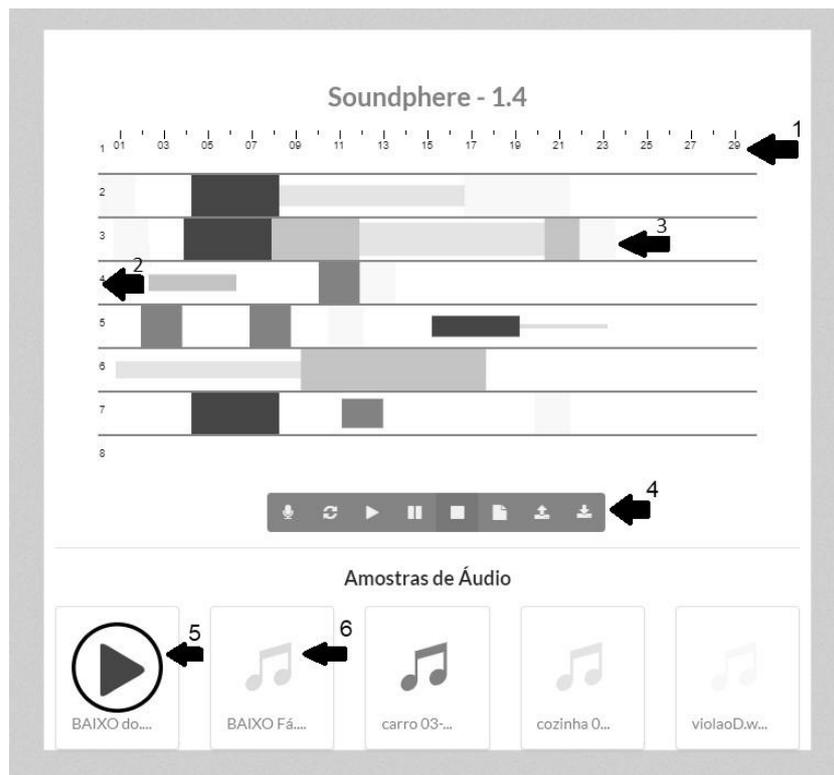


Figura 7. Painel de mixagem do protótipo SoundSphere 1.4.⁸

Ajustes. 1. Movimento do painel. Conforme observado ao longo dos experimentos e analisado pelos membros do NAP, foi necessária uma mudança no mecanismo de interação do painel para torná-lo mais ágil. Na versão 1.4, após o clique no painel, o painel desloca-se para a direção em que o usuário movimenta o cursor. Quanto maior a distância entre o local do clique inicial e a posição atual do cursor, maior a velocidade de deslocamento. Essa mudança fornece mais agilidade para os usuários que utilizam amostras de longa duração e que trabalham em projetos com múltiplas amostras. 2. Modo

edição (*edit mode*): ativação de opções nos itens de mixagem. Na versão 1.3 era necessário apertar um botão do menu para que fosse possível acessar o painel de opções. O botão foi removido na versão 1.4 e o painel de opções pode ser acessado com um clique no evento - enquanto não tem amostras de áudio selecionadas (caso contrário, no modo de inserção a amostra selecionada é inserida no local do clique).

Novas funcionalidades. 1. Visualização de amplitude e mudo. A amplitude do evento é representada pela espessura da listra no painel - quanto maior o valor de amplitude, mais grossa fica a listra. O valor 0 e a opção mudo são indicados com a cor cinza. A figura 8 exemplifica as formas de visualização vinculadas aos estados do evento (ativo ou mudo) e às mudanças paramétricas. A seta 1 indica um evento ativo com o parâmetro em 100%, na seta 2 tem um evento ativo com 50%, a seta 3 aponta para um evento ativo com valor 0%, a seta 4 mostra um evento com amplitude em 100% em estado mudo, e a seta 5 indica um evento com 50% e mudo. Desta feita, a configuração de cada item de mixagem é visualizada sem necessidade de acessar o painel de opções. No entanto, fica em aberto para desenvolvimentos futuros a possibilidade de manipulação paramétrica diretamente no painel de mixagem.

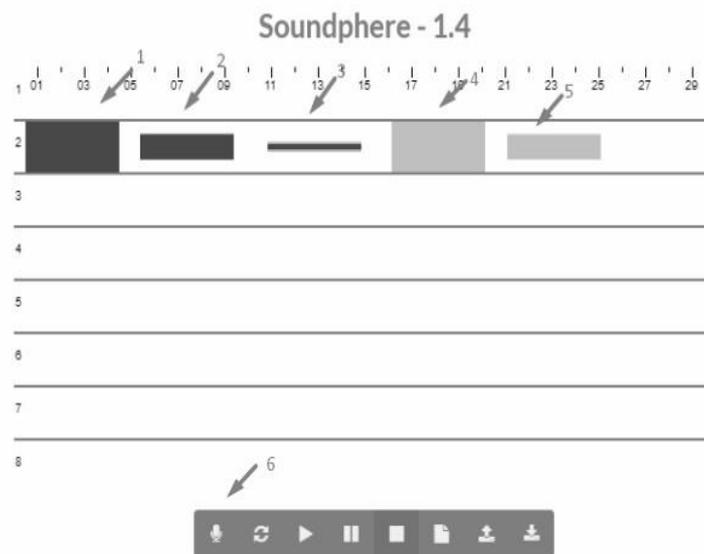


Figura 8. Visualização das mudanças de amplitude dos eventos no SoundSphere 1.4.

2. Comandos de voz. Nos múltiplos experimentos realizados pelo NAP observamos que parte do público leigo enfrenta dificuldades ao lidar com controles visuais, seja por falta de habilidades motoras ou seja por redução de acuidade visual ou cognitiva durante a realização concomitante de múltiplas tarefas. Como estratégia para superar esses empecilhos, na versão 1.4 do SoundSphere implementamos comandos que podem ser acionados via voz. Na figura 8, a seta 6 indica o botão do menu de ferramentas que ativa os comandos de voz. Para testar o protótipo foram implementados três comandos: toque, pausa e pare. No entanto, sua aplicação ficará centrada na interação com operadores semântico-timbrísticos (ver seção TOE).

3. *Início da reprodução a partir de um ponto específico.* Na versão 1.3, para acessar o final da mixagem era necessário reproduzir o conteúdo completo. Esse procedimento dificulta a realização de mixagens longas. Portanto, alteramos o comportamento para permitir o posicionamento livre do *tracker* durante a pausa. Ao ativar a pausa, o usuário pode indicar o novo ponto de início da reprodução posicionando o cursor em qualquer ponto da linha temporal. Consideramos também a possibilidade de mudanças de posição durante a reprodução do áudio. Porém, concluímos que esse tipo de procedimento demanda processamento síncrono do áudio, aumentando consideravelmente o custo computacional sem acrescentar um ganho significativo na interação.

4. *TOE: Semantics-Timbre Operator Editor 2.* Para viabilizar a configuração dos operadores semântico-timbrísticos, foi desenvolvido um novo módulo no sistema. Nele é possível realizar a configurações dos filtros que são vinculados a cada descritor semântico. Visando realizar o processamento de áudio de forma mais intuitiva, optamos pela implementação de operadores semântico-timbrísticos a partir de 8 características sonoras: pesado / leve, grande / pequeno, brilhante / abafado, quente / frio. Esses descritores determinam as configurações aplicadas no processamento de áudio de cada evento de forma individual. Como complemento, desenvolvemos um mecanismo que permite a aplicação desses parâmetros nos eventos da mixagem, a partir de comandos verbais.

A figura 9 mostra a interface do TOE. A seta 1 indica o operador semântico-timbrístico que está sendo trabalhado. Ao lado tem o botão adicionar filtro, que permite que novos filtros sejam vinculados ao descritor. A seta 2 indica o conjunto de opções e parâmetros de processamento, que variam de acordo com o tipo de filtro. A seta 3 apresenta uma série de opções paramétricas, incluindo: mudança da posição do filtro dentro do banco de filtros (a ordem altera o resultado sonoro), ativar ou desativar (que é equivalente ao mecanismo de *bypass*), e por último a opção de remoção. O indicador 4 apresenta os atributos relacionados ao filtro escolhido.

Durante a edição dos operadores é possível carregar amostras de áudio e experimentar o resultado sonoro aplicando o processamento à amostra selecionada. A opção de *bypass* (com processamento e sem processamento) permite reproduzir o áudio original ou o áudio com o banco de filtros, para comparar os resultados. A seta 6 indica as operações nos arquivos: carregamento (upload) das amostras de áudio, carregamento do arquivo JSON para edição dos operadores semântico-timbrísticos, e por fim, salvar (download) o arquivo TOE para posterior utilização no SoundSphere.

² Editor de operadores semântico-timbrísticos.

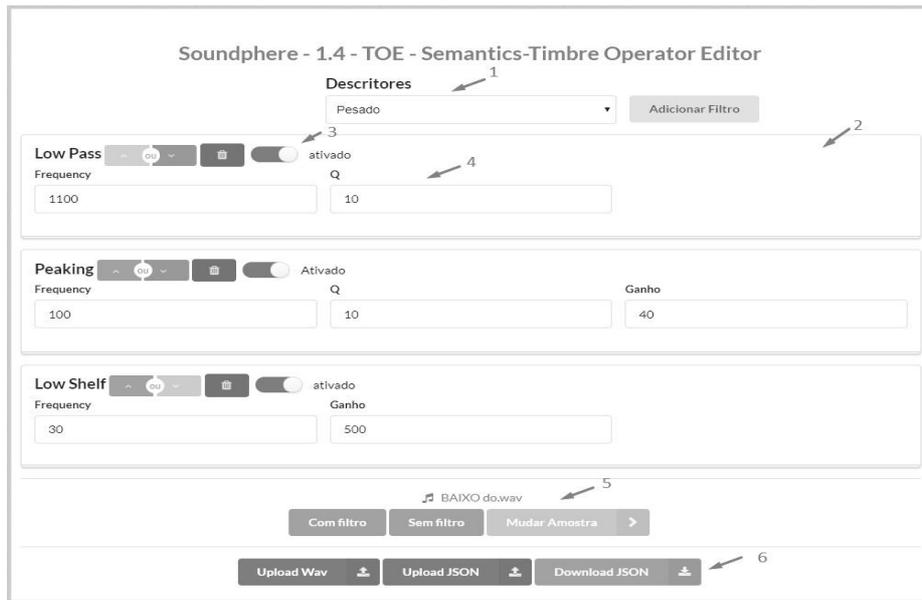


Figura 9. Interface TOE para a edição dos operadores semântico-timbrísticos (TOE v. 1.4).

5. *Leitor SFS* (arquivos JSON gerados pelo SoundSphere). Após a coleta de dados em múltiplas sessões foi identificada a necessidade de analisar os produtos criativos e os processos registrados durante os experimentos com SoundSphere. Na versão 1.4, o usuário pode exportar o arquivo JSON da sessão, contendo múltiplas informações geradas durante a mixagem. O protótipo SoundSphere renderiza o resultado sonoro em formato de áudio PCM, estéreo, 16 bits, 44,1 kHz (WAVE). Logo podem-se avaliar os resultados através dos dois arquivos, com dados de controle e dados de áudio, também foi implementada a leitura e a escrita do formato WAVE multicanal para viabilizar esse tipo de suporte em versões futuras.

SoundSphere - 1.4 - Leitor JSON										
Dados das amostras										
Nome	Tempo da Amostra	Número de Canais	Quantidade de Vezes Utilizado							
carro 03-.wav	1.8726458333333333	2	1							
cozinha 01-.wav	8.435	2	1							
violaoD.wav	1.6	2	2							
Dados dos Itens de Mixagem										
Identificador	Amostra	Início	Fim	Solo/Mute	Excluída	Volume	Linha	Cor	Descritor	
1	carro 03-.wav	0.95	2.8226458333333335	Mute	não	70	2	rgb(0,0,255)	Grande	
2	cozinha 01-.wav	3.15	11.585	Solo	não	30	3	rgb(0,255,0)	nenhum	
3	violaoD.wav	5.2	6.800000000000001	Solo	sim	100	4	rgb(255,0,0)	Pequeno	
4	violaoD.wav	6.8	8.4	Solo	não	100	4	rgb(255,0,0)	Brilhante	
Dados Gerais										
Quantidade de Amostras Disponíveis		Quantidade de Amostras Diferentes Utilizadas			Quantidade de Itens de Mixagens Inseridos					
3		3			4					

Figura 10. Leitor SFS (arquivos JSON gerados pelo SoundSphere).

Atualmente existem múltiplos leitores JSON, no entanto o suporte para a análise mais específica dos conteúdos ainda é limitado. Visando facilitar a análise e a tabulação dos dados foi desenvolvido

um novo módulo do software: o Leitor JSON-SoundSphere (ou Leitor SFS). Ao carregar o arquivo JSON no módulo o software extrai e organiza diversas informações: o número de canais das amostras de áudio utilizadas, a quantidade de vezes que cada amostra aparece no painel de mixagem, a quantidade de amostras disponíveis, a quantidade de amostras diferentes empregadas, e o total de eventos produzidos são disponibilizados em formato de tabela (figura 10).

4. Resultados do estudo exploratório

No contexto das atividades curriculares de um curso de graduação introdutório sobre tecnologia musical, um grupo de oito alunos usou as ferramentas SoundSphere e TOE para produzir mixagens de um minuto com materiais sonoros diversos. Em consonância com os resultados anteriores (Bessa et al. 2015; Freitas et al. 2018; Pereira et al. 2017), a metáfora da esfera sonora foi eficaz no suporte das tarefas de mixagem de baixa a média complexidade. Parte dos alunos relataram que a codificação por cores foi útil como referência visual ao conteúdo sonoro das amostras. Ninguém relatou dificuldades com o uso dos operadores timbrísticos.

Porém, observamos dificuldades em relação ao processo de construção e de recuperação dos operadores. A maioria dos participantes usou as configurações-padrão fornecidas pelo TOE. Eles se mostraram confusos ao tentar expandir o conjunto de descritores e, às vezes, não conseguiram aplicar seus resultados nos produtos sonoros. Parte dos participantes relataram a necessidade de informação visual para determinar quais eventos foram processados. Esses problemas podem ter sido causados por vários fatores. Em primeiro lugar, enquanto todos os alunos eram músicos, nenhum deles estava familiarizado com ferramentas de tecnologia musical - incluindo os editores de áudio ou DAWs. Em segundo lugar, o software TOE foi entregue sem preparação preliminar e sem tutorial, somente com uma explicação muito superficial do seu uso. Em terceiro lugar, dada a falta de experiência anterior com ferramentas de processamento de áudio, a maioria dos participantes teve dificuldade em compreender os conceitos envolvidos na construção dos parâmetros dos bancos de filtros.

A sessão preliminar indicou que é necessário um suporte específico para o uso da ferramenta TOE. Isso não é surpreendente já que o alvo desta metáfora para a ação criativa são os usuários avançados. A partir desses resultados, planejamos implementar um tutorial e adicionar novos recursos à próxima versão do SoundSphere. Nosso protocolo experimental será ajustado para separar estritamente as tarefas dos usuários avançados das tarefas dos novatos. Na parte superior da faixa codificada por cores que representa o evento, adicionaremos algum elemento para indicar que um operador timbrístico foi aplicado. Também implementaremos novos mecanismos para lidar com as mudanças dinâmicas do timbre, incorporando eventualmente técnicas de manipulação temporal do áudio.

Resumindo, discutimos uma variedade de abordagens para a interação timbrística, destacando as demandas dos usuários casuais. Experimentos anteriores com sujeitos leigos indicaram que fatores como o investimento temporal na atividade e as demandas por recursos sonoros relevantes estão no mesmo patamar de importância que a qualidade dos resultados criativos. Portanto, as soluções simplistas através de mapeamentos arbitrários ou a adoção acrítica de métodos acústicos-

instrumentais podem não ser aplicáveis à interação timbrística envolvendo não músicos. As manipulações timbrísticas geralmente acontecem conjuntamente com outras atividades criativas - incluindo a seleção de recursos sonoros, a mixagem, a edição e o compartilhamento dos dados musicais. Diante desses contextos variados, convocamos um grupo de estudantes de graduação para utilizar - durante sessões criativas de caráter aberto - uma ecologia de ferramentas centrada na Metáfora da Esfera Sonora. Os participantes concluíram suas tarefas com sucesso. Porém, vários problemas foram levantados em relação aos materiais de suporte e ao uso das ferramentas. Os resultados indicam a necessidade de melhorar a informação visual vinculada ao tipo de processamento sonoro aplicado.

Referências

- Assayag, G. (1998). Computer assisted composition today. In *Proceedings of the Symposium on Music and Computers*. Corfu: Ircam.
- Abreu, L. (2017). *Typescript: O Javascript moderno para criação de aplicações*. São Paulo, SP: FCA.
- Adorf, J. (2013). *Web Speech API* [Technical report]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Bessa, W. R. B., Keller, D., Farias, F. M., Ferreira, E., Pinheiro da Silva, F. & Pereira, V. S. (2015). SoundSphere v.1.0: Documentação e análise dos primeiros testes. In F. Z. Oliveira, D. Keller, J. T. de Souza Mendes da Silva & G. F. Benetti (eds.), *Anais do Simpósio Internacional de Música na Amazônia (SIMA 2015)*. Porto Velho, RO: UNIR.
- Bessa, W. R. B., Keller, D., Freitas, B. & da Costa, D. F. (2020). A metáfora da esfera sonora desde a perspectiva WYDIWYHE. *Journal of Digital Media & Interaction*. Aveiro, Portugal: Universidade do Aveiro.
- Bown, O., Eldridge, A. & McCormack, J. (2009). Understanding interaction in contemporary digital music: From instruments to behavioural objects. *Organised Sound* **14**, 188-196. (Doi: 10.1017/S1355771809000296.)
- Brown, A., Keller, D. & Lima, M. H. (2018). How ubiquitous technologies support ubiquitous music. In B. Bartleet & L. Higgins (eds.), *The Oxford Handbook of Community Music*. Oxford: Oxford University Press. (ISBN: 9780190219505.)
- Cartwright, M. & Pardo, B. (2013). Social-eq: Crowdsourcing an equalization descriptor map. In *Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval (ISMIR 2013)*. <http://music.cs.northwestern.edu/publications/cartwright-pardo-ismir13.pdf>.
- Coelho de Souza, R. (2019). Categorias de análise musical e modelagem física como análise do timbre. *Musica Theorica* **4**, 62-97.
- Farias, F. M., Keller, D., Lazzarini, V. & Lima, M. H. (2015). Bringing aesthetic interaction into creativity-centered design: The second generation of mixDroid prototypes. *Journal of Cases on Information Technology* **17**, 53-72. (Doi: 10.4018/JCIT.2015100104.)
- Freitas, B., Martins, A. J., Bessa, W. R. B., Keller, D. (2018). Causas da fixação criativa: viés cognitivo ou recurso tecnológico? Um estudo utilizando o ambiente musical ubíquo SoundSphere. In *Anais do XXVII Seminário de Iniciação Científica da UFAC*. Rio Branco, AC: UFAC.
- Harrison, S., Tatar, D. & Sengers, P. (2007). The three paradigms of HCI. In *Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2007)* (pp. 1-18).
- Keller, D., Barreiro, D. L., Queiroz, M. & Pimenta, M. S. (2010). Anchoring in ubiquitous musical activities. In *Proceedings of the International Computer Music Conference* (pp. 319-326). Ann Arbor, MI: MPublishing.
- Keller, D., Ferreira da Silva, E., Pinheiro da Silva, F., Lima, M. H., Pimenta, M. S. & Lazzarini, V.

- (2013). Criatividade musical cotidiana: Um estudo exploratório com sons vocais percussivos. In *Anais do Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM*. Natal, RN: ANPPOM.
- Keller, D. & Lazzarini, V. (2015). Special Issue on Creativity-Centered Design and the Digital Arts. *Journal of Cases in Information Technology* **17**, i-v.
- Keller, D., Lazzarini, V. & Pimenta, M. S. (eds.) (2014a). *Ubiquitous Music*. Heidelberg and Berlin: Springer.
- Keller, D. & Lima, M. H. (2016). Supporting everyday creativity in ubiquitous music making. In P. Kostagiolas, K. Martzoukou & C. Lavranos (eds.), *Trends in Music Information Seeking, Behavior, and Retrieval for Creativity*. Vancouver, BC: IGI Global Press.
- Keller, D., Miletto, E. M. & Otero, N. (2015a). Creative surrogates: Supporting decision-making in ubiquitous musical activities. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X (xCoAx 2015)*. Glasgow, Scotland: xCoAx.
- Keller, D., Otero, N., Lazzarini, V., Pimenta, M., Lima, M. H., Johann, M. & Costalonga, L. (2015b). Interaction aesthetics and ubiquitous music. In N. Zagalo & P. Branco (eds.), *Creativity in the Digital Age* (pp. 91-105). London: Springer. (ISBN: 978-1-4471-6680-1.)
- Keller, D., Otero, N., Pimenta, M. S., Lima, M. H., Johann, M., Costalonga, L. & Lazzarini, V. (2014b). Relational properties in interaction aesthetics: The ubiquitous music turn. In *Proceedings of the Electronic Visualisation and the Arts Conference (EVA-London 2014)*. London: Computer Arts Society Specialist Group.
- Keller, D., Pimenta, M. S. & Lazzarini, V. (2013c). Os ingredientes da criatividade em música ubíqua (Los ingredientes de la creatividad en música ubíqua). In D. Keller, D. Quaranta & R. Sigal (eds.), *Sonic Ideas, Vol. Criatividade Musical / Creatividad Musical*. México, DF: CMMAS.
- Keller, D., Pinheiro da Silva, F., Ferreira E., Barros, A. E. B., Lazzarini, V. & Pimenta, M. S. (2013). Design centrado em criatividade para música ubíqua: Marcação espacial. In D. Keller & M. A. Scarpellini (eds.), *Anais do II Simpósio Internacional de Música na Amazônia (SIMA 2013)*. Rio Branco, AC: Editora da UFAC.
- Keller, D., Pinheiro da Silva, F., Ferreira, E., Lazzarini, V. & Pimenta, M. S. (2013d). Design oportunista de sistemas musicais ubíquos: O impacto do fator de ancoragem no suporte à criatividade. In E. Ferneda, G. Cabral & D. Keller (eds.), *Proceedings of the XIV Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM 2013)*. Brasília, DF: SBC.
- Keller, D., Pinheiro da Silva, F., Giorni, B., Pimenta, M. S. & Queiroz, M. (2011). Marcação espacial: estudo exploratório. In L. Costalonga, M. S. Pimenta, M. Queiroz, J. Manzolli, M. Gimenes, D. Keller & R. R. Farias (eds.), *Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM 2011)*. Vitória, ES: SBC.
- Keller, D., Timoney, J., Constalonga, L., Capasso, A., Tinajero, P., Lazzarini, V., Pimenta, M. S., Lima, M. H. & Johann, M. (2014c). Ecologically grounded multimodal design: The Palafito 1.0 study. In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2014)*. Athens: ICMA.
- Lima, M. H., Keller, D., Flores, L. V. & Ferreira, E. (2017). Ubiquitous music research: Everyday musical phenomena and their multidisciplinary implications for creativity and education. *Journal of Music, Technology and Education* **10** (1), 73-92. (Doi: doi:10.1386/jmte.10.1.73_1.)
- Milgram, S. & Jodelet, D. (1976). Psychological maps of Paris. In W. I. H. Proshansky & L. Rivlin (eds.), *Environmental Psychology: People and their Physical Settings* (pp. 104-124). New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Neutron (2018). *Neutron track assistant* [Editor de áudio].
<https://www.izotope.com/en/products/mix/neutron/features-and-comparison/track-assistant.html>
- Pereira, V. S., Silva, S. L., Bessa, W. R. B., Alcântara-Silva, T. R. & Keller, D. (2017). SoundSphere: O design participativo como estratégia para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis em música ubíqua. *Sonic Ideas* **13**.
<http://sonicideas.org/mag.php?vol=10&num=19&secc=memoriasdeprojectos>.

- Pimenta, M. S., Keller, D., Flores, L. V., Lima, M. H. & Lazzarini, V. (2014). Methods in creativity-centred design for ubiquitous musical activities. In D. Keller, V. Lazzarini & M. S. Pimenta (eds.), *Ubiquitous Music* (pp. 25-48). Berlin and Heidelberg: Springer International Publishing. (ISBN: 978-3-319-11152-0.)
- Pimenta, M. S., Miletto, E. M., Keller, D. & Flores, L. V. (2012). Technological support for online communities focusing on music creation: Adopting collaboration, flexibility and multiculturalism from Brazilian creativity styles. In N. A. Azab (ed.), *Cases on Web 2.0 in Developing Countries: Studies on Implementation, Application and Use*. Vancouver, BC: IGI Global Press. (ISBN: 1466625155.)
- Pinheiro da Silva, F., Keller, D., Ferreira, E., Pimenta, M. S. & Lazzarini, V. (2013). Criatividade musical cotidiana: Estudo exploratório de atividades musicais ubíquas. *Música Hodie* **13**, 64-79.
- Radanovitsck, E. A. A., Keller, D., Flores, L. V., Pimenta, M. S. & Queiroz, M. (2011). mixDroid: Marcação Temporal para Atividades Criativas. In L. Costalonga, M. S. Pimenta, M. Queiroz, M. Gimenes, D. Keller & R. A. R. Faria (Eds.), *Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Computer Music*. Vitória, ES: Brazilian Society of Computer Science (SBC).
- Seetharaman, P. & Pardo, B. (2016). Audealize: Crowdsourced Audio Production Tools. *Journal of the Audio Engineering Society* **64** (9), 683-695.
https://interactiveaudiolab.github.io/audealize_api/
- Shneiderman, B. (2007). Creativity support tools: Accelerating discovery and innovation. *Communications of the ACM* **50** (12), 20-32. (Doi: 10.1145/1323688.1323689.)
- Silva, S. L., Keller, D., Pereira, V. S. & Bessa, W. R. B. (2016). Estratégias de aferição da criatividade com público infantil: Utilizando ícones faciais em atividades com a metáfora de marcação temporal. In *Proceedings of the Amazon International Symposium on Music (Anais do Simpósio Internacional de Música na Amazônia) (SIMA 2016)*. Belém, PA: EMUFPA.
- Smus, B. (2013). *Web Audio API: Advanced Sound for Games and Interactive Apps*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
- Stables, R., Enderby, S., Man, B. D., Fazekas, G. & Reiss, J. D. (2014). SAFE: A system for the extraction and retrieval of semantic audio descriptors. In *Proceedings of the 15th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2014)*. Taipei, Taiwan: ISMIR.
- Stasis, S., Hockman, J. & Stables, R. (2017). Navigating descriptive sub-representations of musical timbre. In *Proceedings of the Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME 2017)* (pp. 56-61). Copenhagen, Denmark: Aalborg University.
- Tatlas, N. A., Floros, A., Hatziantoniou, P. & Mourjopoulos, J. N. (2003). Towards the all-digital audio/acoustic chain: Challenges and solutions. In *Proceedings of the Audio Engineering Society Conference. 23rd International Conference: Signal Processing in Audio Recording and Reproduction*. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=12318>
- Trueman, D. (2007). Why a laptop orchestra?. *Organised Sound* **12** (2), 171-179. (Doi: 10.1017/S135577180700180X.)
- UJAM (2018). *UJAM Studio* [Editor de áudio]. <https://www.ujam-studio.com/>
- Wessel, D. & Wright, M. (2002). Problems and prospects for intimate musical control of computers. *Computer Music Journal* **26** (3), 11-22. (Doi: 10.1162/014892602320582945.)

¹ “[...] Postulamos, em consonância com Keller e Ferneyhough (2004) a possibilidade de uma quarta categoria, que emprega a estratégia da modelagem. Problemas, como a estrutura de obras estocásticas e a análise do timbre, que se revelam parcial ou integralmente opacos às outras categorias de análise podem eventualmente ser tratados através dessa estratégia. Postulamos enquadrar nessa categoria a técnica da modelagem física que julgamos oferecer uma estratégia adequada para abordar a análise do timbre, seja instrumental, seja dos sons produzidos por meios sintéticos, analógicos ou digitais” (Coelho de Souza 2019: 96).

² <https://sites.google.com/site/napmusica/>

³ <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/4273727401001550>

⁴ Ver (Bessa et al. 2020), neste mesmo volume, para uma discussão do embasamento teórico e técnico do desenvolvimento da Metáfora da Esfera Sonora.

⁵ <http://trello.com>.

⁶ Código disponível em: <https://github.com/wramonbessa/soundsphere>

⁷ A versão atualizada da ferramenta de aferição criativa CSI-NAP encontra-se no endereço:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfOMGzhDXdE9pH3NzVguiZU6VeNVYScC_L8KdYP53GpxSj_ZA/viewform

⁸ Erros ortográficos e defeitos funcionais de cada versão dos protótipos são mantidos para dar destaque à dinâmica iterativa e incremental do trabalho participativo de design. O histórico dos protótipos encontra-se disponível para uso e análise por outros grupos de pesquisa no endereço web: <https://soundsphere.com.br>.