



Camadas tecnológicas da música feita através da rede de Internet

Felipe André Florentino Silva¹
UFMG/PPGMUS
SIMPOM: *Sonologia*
felipeandre@ufmg.br

Resumo: Este artigo se propõe a refletir sobre a minha pesquisa de mestrado no Programa de Pós-graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Tenho investigado as questões relacionadas ao uso da computação musical e das tecnologias de redes avançadas de telecomunicação, como meio para o desenvolvimento de sistemas de composição interativo e distribuído geograficamente. Aqui, destacarei as camadas de softwares envolvidas na produção de Música em Rede os quais foram discutidos e implementados durante o estágio docente por mim realizado com a disciplina “Teoria e Prática da Música em Rede”, ministrada em 2015 e oferecida como optativa para o curso de graduação em música na UFMG. Quais são as habilidades e conhecimentos tecnológicos que o músico tradicional precisa ter para tocar remotamente com outros músicos? Quais as implicações técnicas e estéticas da Música em Rede? Perguntas como estas nos guiaram durante a realização da disciplina, permitindo elucidar o *modus operandi* desta realização. Destacaremos camadas tecnológicas envolvendo captura e roteamento de áudio, codificação de vídeo e monitoramento das conexões da rede de Internet. A abordagem escolhida engloba a multiplicidade de tarefas existentes na produção e performance de música em rede, numa tentativa de oferecer um conhecimento abrangente, para trazer autonomia aos participantes.

Palavras-chave: Musica em Rede; Músico Telemático; Interdisciplinaridade; Ferramentas Livres.

Technological Layers of Music Made Through Internet Network

Abstract: This paper aims to reflect on my master's research at the Graduate Program in Music at Federal University of Minas Gerais - UFMG. I have been investigating issues related to the use of computer music and advanced telecommunication network technologies as a means for the development of interactive composition systems and distributed geographically. Here, I will highlight the layers and processes involved in the production of Music Network which were discussed and implemented during the teaching stage for me performed with discipline "Theory and Practice of Music Network", given in 2015 and offered as optional for the course degree in music at UFMG. What are the skills and technological knowledge that traditional musician need to have to remotely play with other musicians? What are the technical and aesthetic implications of Music Network? Questions like these lead us during the course of discipline, allowing elucidate the *modus operandi* of this achievement. We highlight technological layers involving capture and routing audio, video encoding and monitoring of Internet network connections. The approach to this issue comprise the

¹ Mestrando em Sonologia, Programa de Pós-graduação em Música da UFMG, Orientador: Sérgio Freire.

multiplicity of tasks in production and network music performance in an attempt to offer a comprehensive knowledge, able to bring autonomy to participants.

Keywords: Network Music; Telematic Musician; Interdisciplinarity; Free Software.

1. Introdução

O rápido desenvolvimento da Internet tem permitido a criação de ambientes musicais que envolvem participantes em diferentes locais geográficos. A prática da música e artes sonoras através de redes informáticas, basicamente, descreve situações de performance onde as tradicionais conexões (visuais e auditivas) entre os participantes, são mediadas por uma conexão controlada pela Internet. Dessa forma, é incluída no escopo da chamada Arte Telemática, que é um descritivo de projetos de arte que usam como meio computadores mediados por redes de telecomunicações. Os pesquisadores da área de música têm discutido o surgimento de novos termos relacionado à Música em Rede, tais como: *Networked Music Performance* (NMP) ou *Network Musical Performance*, caracterizado por uma interação em tempo real por meio de redes de computadores, “[...], que permite músicos, em diferentes locais geográficos, executarem música como se estivessem na mesma sala.” (LAZZARO & WAWRZYNEK, 2001, p.1), podendo também ser chamada de “*Telematic Music*” (OLIVEROS et al., 2009). Neste trabalho, usaremos o termo “Música em Rede”, pois aponta para um escopo maior de trabalhos, abrangendo as inúmeras abordagens das práticas de música e arte sonora em rede, como aponta o pesquisador Felipe Hickmann.

The practice of music and sonic arts over computer networks has been approached from a number of different directions in recent years, (...) Analyses of these initiatives have looked into their social (TANZI, 2000; SCHROEDER & REBELO, 2009), aesthetic (ASCOTT, 2003; KANE, 2007) and technical aspects (CARÔT, 2009; RENAUD, 2009), and have often run parallel to the creative process of composers and artists. (HICKMANN, 2011, p. 1.)

Neste trabalho, serão discutidos tanto as camadas e aspectos técnicos, como os paralelos entre o processo criativo e estes aspectos técnicos.

2. Justificativa

A disciplina “Teoria e Prática da Música em Rede” foi oferecida como laboratório prático para a presente pesquisa de mestrado, buscando experimentar as atuais tecnologias disponíveis para a prática da música em rede. “A criação da NMP e sistemas de composição em rede, apresentam desafios com implicações técnicas e culturais” (REBELO & RENAUD,

2006, p. 1). A Arte Telemática, em geral, habita por sua própria natureza, campos interdisciplinares significando que cada trabalho individual precisa ter a informação técnica apropriada para sua função. Uma tarefa como essa envolve diversos conhecimentos, tais como, técnicas de composição musical; síntese sonora; análise e processamento de sinal digital; design de interface; protocolos para envio de dados, além da topologia do ambiente de rede que é o meio onde se dá a própria obra.

No caso de músicos que desejam se envolver em processos telemáticos, provavelmente precisarão do conhecimento sobre o equipamento correto, bem como familiaridade suficiente com os softwares utilizados, envolvendo-se na solução de problemas, quando necessário. Espera-se que o usuário/músico e, na verdade, qualquer artista telemático, possua expertise em ambos, na sua arte e na tecnologia utilizada como meio.

3. Objetivos

A abordagem escolhida para a disciplina, procurou englobar a multiplicidade de tarefas existentes na produção e performance de música em rede, numa tentativa de oferecer um conhecimento abrangente, capaz de trazer autonomia aos participantes. A autonomia traz a consciência dos problemas e demandas que surgem em cada fronteira interdisciplinar, fazendo com que esforços coletivos sejam despendidos para a criação de ferramentas que apoiem a exploração e a criação artísticas nos mais diversos contextos. No caso da música em rede, este esforço tem gerado ferramentas que tanto auxiliam o músico a gerenciar conexões de áudio em tempo real entre localidades distantes, como também servem de inspiração para explorações e produções conceituais e estéticas entre os compositores e criadores de Música em Rede.

Partimos da introdução prática ao campo da Música em Rede e tópicos técnicos, musicais, cognitivos e filosóficos foram discutidos, tais como: história do campo; as tecnologias de Internet para streaming de áudio; performance em rede com áudio em alta qualidade; a rede como meio de composição distribuída; sincronicidade e efeitos para o músico; o áudio enquanto luz e a fibra ótica enquanto meio, etc. Como inspiração, usamos o artigo *Música Telemática – Latência, Atitude Composicional e Presentidade*. (SILVA, 2012), onde é discutida a relação entre o compositor, o instrumentista e o técnico de rede (artista e/ou engenheiro). Os músicos possuem diferentes interesses, assim como o estudo de música em rede nos traz diferentes atrativos. Do educador musical ao músico telemático os interesses são diversos, sendo assim, faz-se necessário a criação de um ambiente de colaboração onde todos podem tirar proveito e terem seus interesses assistidos, assim como retrata o pesquisador Mark Cook em sua tese de doutorado.

Telematic performance is, by its very nature, collaborative. This means that each individual working on a telematic performance needs to have the appropriate technical information. In the case of telematic musicians, they will likely need all of the information discussed above in order to be fully prepared for a rehearsal. Also, the telematic musician must have the correct technological equipment as well as enough familiarity with that equipment to engage in troubleshooting as necessary. This means that the telematic musician, and indeed, any telematic artist, must be proficient in both their art and technology. (COOK, 2015, p. 31.)

Ao final da disciplina, esperou-se que os alunos tivessem desenvolvido condições técnicas e possibilidades artísticas para o desenvolvimento de sistemas de composição musical distribuída e estratégias de interação musical à distância, com áudio e vídeo.

4. Metodologia

Com essa abordagem que procura englobar a multiplicidade das tarefas existentes para se fazer Música em Rede, alguns questionamentos se evidenciam: Quais as principais tarefas existentes em um processo como esse? Quais os conhecimentos e expertises envolvidas? Por se tratar de uma área interdisciplinar, decidimos descrever separadamente algumas camadas envolvidas na Música em Rede, dentre as quais, destacaremos camadas envolvendo captura de áudio, roteamento de áudio, codificação de vídeo e monitoramento das conexões da rede de Internet. Abaixo seguem os tópicos abordados durante as aulas.

1) Definição e História da <i>Telematic Music</i> e <i>Networked Music</i>
2) Camadas e Processos na produção de <i>Net Music</i> (ÁUDIO, VÍDEO E REDE)
3) Rede de computadores e protocolos (IP público, privado, VLAN, UDP/TCP)
4) Sincronia e assincronia em música
5) Tempo Real, Tempo presente e noções de “ao vivo”
6) Configuração e monitoramento da rede (<i>MTR, Iperf, TraceRoute</i>)
7) Efeitos na transmissão de dados e áudio (<i>delay, jitter, packet loss, feedback</i>)
8) Softwares ÁUDIO: <i>Qjackctl, jackpilot, jacktrip, soundjack, Pure Data</i>
9) Softwares VÍDEO: <i>TeleCorpo, VLC, Ultragrid, Arthron</i>
10) Comunicação e ensaio à distância

5. Ferramentas Tecnológicas

O elemento tecnológico da arte telemática é baseado nas telecomunicações. A principal tecnologia de telecomunicações na área da música são as ferramentas que permitem o envio de áudio e vídeo através da Internet, usando o computador, e todas as outras tecnologias necessárias estão também em contato com o computador. A partir daí, temos a camada de *software* que processa a captura de áudio e vídeo, a transmissão da informação e a sincronização, quando necessário. Dependendo do tipo de *software* que está sendo utilizado, as categorias de áudio e vídeo podem ser geridas por uma única aplicação, ou podem exigir diferentes aplicativos. Atualmente existe uma gama repleta de ferramentas, comerciais ou não, usadas para essa atividade (SCHIAVONI, 2014). Aqui destacaremos ferramentas escritas sob licença livre, GNU *General Public License*.

6. Camada de áudio e captura

Para a realização de música em rede faz-se necessário o uso de um servidor de áudio. Escolhemos o *JACK Audio Connection Kit* que se trata de um servidor de áudio de baixa latência, escrito para qualquer sistema operacional permitindo a conexão de diversos *softwares* e/ou cliente a uma placa de som. A possibilidade de compartilhamento de áudio uns com os outros e suas funções se concentram em duas áreas principais: a execução síncrona de todos os clientes e a operação em baixa latência.

A interface de usuário para o monitoramento dos fluxos de áudio entre os clientes do *JACK* é chamada *Qjackctl*. Trata-se de um software livre, de código aberto, distribuído sob os termos da GNU *General Public License* (GPL), versão 2. Em paralelo ao servidor *JACK* usamos a ferramenta *JACKTRIP* que é um sistema de áudio de baixa arquitetura, escrito para operar com áudio em alta qualidade, em tempo real e baixa latência, desenvolvido no ano de 2008 no *Center for Computer Research in Music and Acoustics* (CCRMA) na Universidade de Stanford-California-EUA. Atualmente essa ferramenta tem sido usada em diversas apresentações ao redor do mundo (CÁCERES & CHAFE, 2010a; 2010b; SILVA, 2012; SCHIAVONI, 2014). A principal característica do *Jacktrip* é possibilitar a utilização de um sistema de redundância de pacotes, garantindo a integridade na entrega dos pacotes de áudio, combinando diversas técnicas computacionais para lidar com os entraves da latência e *jittering*.

7. Roteamento de áudio com o *Jacktrip* e *qjackctl*

Para conectar dois participantes remotos via *Jacktrip*, deve-se escolher quem será o servidor e quem será o cliente. Geralmente, aquele que possui mais habilidade com o

software ou a melhor banda de Internet se torna o servidor. Para iniciar o processo, basta abrir o terminal e digitar: “\$ jacktrip -s” para servidor e “\$ jacktrip -c + [ip do servidor]” para cliente. Assim é realizada a conexão entre as placas de som dos participantes remotos. Após conectar o IP do servidor no cliente, é necessário ligar as saídas e entradas de som abrindo a aba *connections* no *qjackctl* e fazer o roteamento: Para o roteamento existir, todos os softwares e hardwares envolvidos devem possuir entrada e saída (*input* e *output*) do sinal de áudio, que são as abas da direita e da esquerda da janela de roteamento do *qjackctl* (Figura 1). O Roteamento começa a partir da placa de som (*System*), seguindo a sequência: SYSTEM --->JACKTRIP_INPUT ||| JACKTRIP_OUTPUT---> SYSTEM

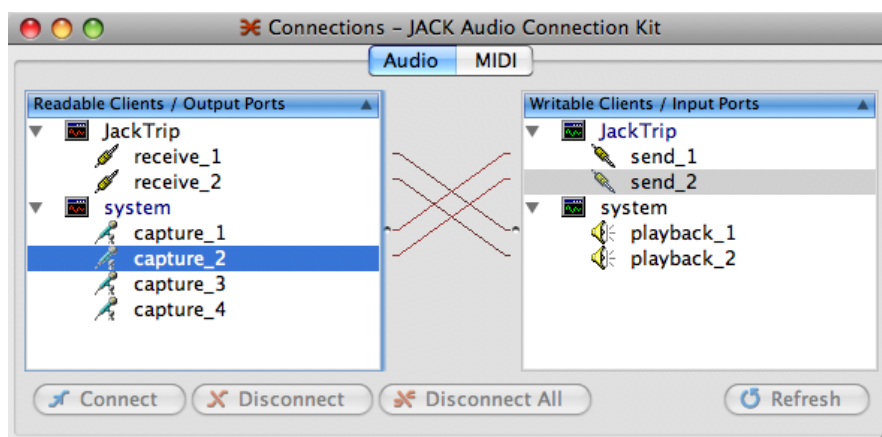


Figura 1: Roteamento de sinal de áudio via Jacktrip.

Após essa configuração, cada parte que participa da performance distribuída, recebe o áudio em sua placa de som. Os ajustes de volume devem ser feitos na mesa de som em cada local, assim como a determinação de quais canais de áudio serão endereçados para quais caixas de som. É importante resaltar que a complexidade de cada performance que ditará os requisitos tecnológicos de software e rede necessários.

8. Camada de codificação de vídeo

Um elemento a considerar quando se planeja uma performance telemática é a transmissão de vídeo. Alguns exemplos bem conhecidos incluem *Skype*, *Google Video Chat* e *Conference XP*, que por sua vez se utilizam de diferentes formatos para arquivo de vídeo, como AVI, MPEG-4, FLV, MOV, OGG, OGM, OGV, MKV, VOB, ASF, WMV entre outros. Cada um desses exemplos utiliza um sistema de codificação e decodificação, pois, para transmitir vídeo através de uma rede de computadores, assim como qualquer outro tipo de informação, é necessário codificá-lo em *bits*. Esta transformação é feita por um algoritmo que além de codificar os dados, também os comprime de modo a reduzir a informação a ser

trafegada. Por sua vez, o receptor utiliza outro algoritmo, capaz de decodificar e descomprimir os *bits* em imagens. Este par de algoritmos codificador/decodificador é chamado *codec*.

A escolha do *software* ou *codec* apropriado para a performance, depende basicamente das limitações do *hardware* e equipamentos para a captura de imagem. Um *software* que atualmente tem se destacado por sua baixa arquitetura e alta performance é o TeleCorpo (Figura 2) que é uma ferramenta para transmissão de vídeo por redes de computadores, resultado de uma pesquisa voltada para a relação entre estudos do corpo e cultura digital na Arte em Rede. Em seus primeiros usos, o TeleCorpo assim como aponta o autor: “(...) mostrou-se uma ferramenta de poucos requisitos, simples instalação, fáceis arquitetura e implementação, além de relevante à excelência deste tipo de evento.” (LACERDA, 2015, p.273). Os esclarecimentos e detalhes técnicos para uso desse *software* estão detalhados no site do autor. <https://github.com/telecorpo/telecorpo>

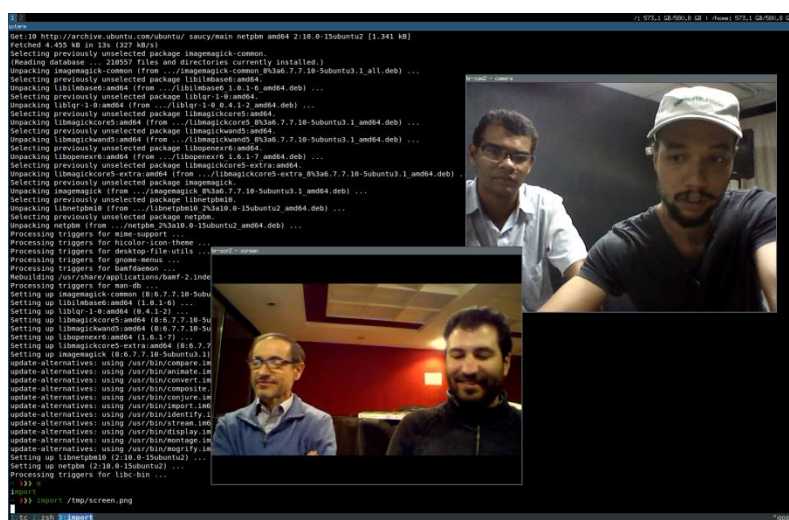


Figura 2: Interface de baixa arquitetura do TeleCorpo.

Após as devidas configurações dos aparatos de áudio e vídeo, evidencia-se uma preocupação inerente aos processos telemáticos, a sincronia e a retroalimentação sonora. Assim, destaco um sistema de microfones virtuais (ViMiC), desenvolvido pelos pesquisadores do *Center for New Music and Audio Technologies (CNMAT), UC Berkeley*. (PETERS, 2011).

O som dos músicos é capturado usando microfones de lapela e enviados ao *software* de espacialização baseado no sistema virtual de microfones (ViMiC) para ser direcionado a um conjunto de alto-falantes. O objetivo é simular a mesma sala virtual em todos os locais geográficos dos participantes da interação. “(...) a matriz de microfones

virtuais permite uma orientação axial de espacialização sonora, e esses padrões podem ser livremente ajustados no espaço 3D” (BRAASCH; et al, 2007, p. 3). Com esse ajuste no espaço 3D é possível eliminar a retroalimentação sonora e até mesmo definir os padrões de sincronia desejados pelos participantes.

9. Camada de monitoramento das conexões da rede de Internet

Um ponto importante na Música em Rede é a transmissão dos dados pela Internet. A comunicação em tempo real por rede de computadores é normalmente feita sob o protocolo UDP, que proporciona o tráfego de dados sem se preocupar se os pacotes enviados efetivamente chegaram ao seu destino ou foram perdidos no caminho, atingindo taxas de transferência maiores e *delay* menores, por sua vez ocorre muitas perdas de pacotes, o que degrada os sinais de áudio e vídeo ao causar a falta de informações suficiente para reproduzir os sinais de maneira integral.

Outra característica que afeta transmissões UDP é o *jitter* da rede, que é a variação do tempo que um pacote demora a ser trafegado. Se a velocidade da rede for constante então os pacotes chegarão sequencialmente um após o outro, mas em redes largas os pacotes podem chegar ligeiramente desordenados. A taxa de transferência, perda de pacotes e *jitter* podem ser mensuradas entre dois nós da rede com a ferramenta *Iperf*. Um dos nós atua como servidor, recebendo e descartando tráfego e o outro como cliente, produzindo e enviando tráfego. Cada pacote trafegado possui um identificador sequencial que possibilita o servidor saber se algum pacote não chegou, foi perdido, ou se chegou antes ou depois do previsto (*jitter*) e também quantos pacotes foram transmitidos por segundos (taxa de transferência). Para iniciar um servidor *Iperf* no modo UDP, deve-se abrir o terminal e digitar: \$ *iperf -u -s*.

Para iniciar um cliente *Iperf* em modo UDP, basta substituir o endereço de IP pelo endereço real do servidor, que fará pequenos testes de 1 segundos ao longo de 10 segundos tentando transferir 30Mbits/s em cada um deles.

```
$ iperf -u -c 203.0.113.2 -b 30M -i 2 -t 10
-----
Client connecting to 127.0.0.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 3] local 127.0.0.1 port 47066 connected with 127.0.0.1 port 5001
[ ID] Interval Transfer Bandwidth
[ 3] 0.0- 2.0 sec 7.15 MBytes 30.0 Mbits/sec
[ 3] Sent 25512 datagrams
[ 3] 0.0-10.0 sec 35.8 MBytes 30.0 Mbits/sec 0.062 ms 76533/25511 (0.3%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 1 datagrams received out-of-order
```


A medição acima mostra uma rede que satisfaz as necessidades para transmissão de áudio e vídeo, sendo capaz de suportar 30Mbits/s com 0.3% de perdas e *jitter* de 0.562ms. Em redes de qualidade inferior é possível informar ao *JackTrip* para transmitir pacotes redundantemente de modo que o sinal não se degrade mesmo com algumas perdas. Para valores de *jitter* maiores é possível aumentar o tamanho do *buffer queue/cache* atrasando a reprodução do áudio na tentativa de reordenar os pacote, assim, os valores devem ser obtidos empiricamente pela linha de comando: \$ jacktrip -c 203.0.113.20 --queue 7 --redundancy 3.

10. Considerações Finais

Durante a disciplina, os alunos demonstraram bastante interesse, talvez, pela novidade de se tocar juntos através da internet. Os conhecimentos técnicos da música em rede foram de grande importância para os alunos que já vinham trabalhando com áudio digital.

Essencialmente, os requisitos para uma performance em rede de sucesso são alcançados através de planejamento antecipado. É importante que cada pessoa envolvida entenda seu papel e responsabilidades no processo, e que todos os aspectos da performances sejam discutidos e preparados com antecedência. Cada indivíduo, provavelmente terá maiores responsabilidades do que em uma performance sem o elemento adicional de telemática.

Ao tratar a rede como meio para se fazer música fica evidente que a produção do conhecimento implica uma ação partilhada, pois é através dos outros que as relações entre sujeito e objeto de conhecimento são estabelecidas, no nosso caso, o Outro distante e o Outro perto. A partir daí percebemos que o conhecimento é interdisciplinar e transferível e que nosso papel de mediador do conhecimento, é conseqüentemente impulsionador da liberdade.

Referências

BRAASCH, Jonas; VALENTE, Daniel; PETERS, Niel. Sharing Acoustic Spaces over Telepresence using Virtual Microphone Control. In: 123rd CONVENTION OF AUDIO ENGINEERING SOCIETY. *Anais...*New York, USA, 2007. p. 1-10.

CÁCERES, Juan; CHAFE, Cris. JackTrip/SoundWIRE Meets Server Farm. *Computer Music Journal*, Massachusetts, v. 34, n. July, p. 29–34, 2010a.

_____. JackTrip: Under the Hood of an Engine for Network Audio. *Journal of New Music Research*, London, v. 39, p. 183–187, 2010b.

- COOK, Mark. *Telematic Music: History and Development of the Medium and Current Technologies Related to Performance*. Bowling Green. 2015. 155f. Tese (Doutorado em Sonologia). Graduate College of Bowling Green State University. Bowling Green. 2015
- HICKMANN, Felipe; CHAVES, Rui. A Window in Between: Mediation Strategies in Networked Sonic Arts. *A Journal of Audio Culture*, Dublin, p. 1–13, 2011.
- LACERDA, Pedro. TeleCorpo: mesa de corte de vídeo para redes de computadores. *Revista Eletrônica MAPA D2-Mapa e Programa de Artes em Dança (e Performance) Digital*, Salvador, v. 2, n. 2, p. 272–285, 2015.
- LAZZARO, John.; WAWRZYNEK, J. A Case for Network Musical Performance. In: 11TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON NETWORK AND OPERATING SYSTEMS SUPPORT FOR DIGITAL AUDIO AND VIDEO. *Anais...* New York, New York, USA: ACM Press, 2001. p. 1-15
- OLIVEROS, Pauline.; WEAVER, S; DRESSER, M; PITCHER, J; BRAASCH, J; CHAFE, C, Telematic music: six perspectives. *Leonardo Music Journal*, Online supplement, v. 19, n. 1, p. 95–96, 2009.
- PETERS, Nils.; BRAASCH, Jonas.; MCADAMS, Stephen. Sound spatialization across disciplines using virtual microphone control (ViMiC). *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, Graz, v. 5, n. 2, p. 167–190, 2011.
- REBELO, Pedro.; RENAUD, Alain. The Frequencyliator: Distributing Structures for Networked Laptop Improvisation. *Bliss Journal*, Paris. p. 53–56, 2006.
- SCHIAVONI, F. L.; BIANCHI, A.; QUEIROZ, M. Ferramentas livres para distribuição de áudio em rede. *Revista Ciência da Informação*, Brasília, v. 8, n. 2, p. 1–10, 2014.
- SILVA, F. A. F. Música telemática - Latência, Atitude Composicional e Presentidade. In: IV SEMINÁRIO MÚSICA CIÊNCIA TECNOLOGIA: FRONTEIRAS E RUPTURAS - ECA/USP. *Anais...*São Paulo: 2012. p. 297-307.