

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
PUC-SP

Tiago Leandro Martins

Aprendizado de máquina aplicado à pedagogia da improvisação musical

Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital

São Paulo

2023

Tiago Leandro Martins

Aprendizado de máquina aplicado à pedagogia da improvisação musical

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em **Tecnologias da Inteligência e Design Digital**, sob a orientação do Prof., Dr. – Sergio Roclaw Basbaum

São Paulo

2023

Sistemas de Bibliotecas da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo -
Ficha Catalográfica com dados fornecidos pelo autor

Martins, Tiago Leandro
Aprendizado de máquina aplicado à pedagogia da
improvisação musical. / Tiago Leandro Martins. --
São Paulo: [s.n.], 2023.
107p. il. ; cm.

Orientador: Sergio Roclaw Basbaum.
Dissertação (Mestrado)-- Pontifícia Universidade
Católica de São Paulo, Programa de Estudos Pós
Graduados em Tecnologias da Inteligência e Design
Digital.

1. Aprendizado de Máquina. 2. Improvisação
Musical. 3. Pedagogia. 4. Engenharia de
Características.. I. Basbaum, Sergio Roclaw. II.
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo,
Programa de Estudos Pós-Graduados em Tecnologias da
Inteligência e Design Digital. III. Título.

CDD

Banca Examinadora

[...] O que nos resta, no tédio do pensamento, é seguir re-embaralhando as cartas, sempre as mesmas cartas – da linguagem, da lógica, da fenomenologia, da razão, da ciência e da arte – na perspectiva de que, num golpe de sorte, surja uma combinação improvável que coloque tal novo no horizonte das virtualidades, favorecendo o seu acontecimento. (BASBAUM, 2018, p. 7).

RESUMO

MARTINS, Tiago. **Aprendizado de máquina aplicado à pedagogia da improvisação musical.**

Improvisação musical tem sido executada por máquinas programáveis há tempos, o que reforça a questão sobre o papel da tecnologia digital na cultura e como poderia melhor assistir o humano em temas complexos e de domínio aberto. Verifica-se recentemente uma diversidade aplicações embasadas em inteligência digital, mas que têm a tecnologia e performance como protagonistas, havendo escassa literatura relacionando aspectos da inteligência digital à pedagogia da improvisação na música popular. O presente trabalho investiga como elementos do aprendizado de máquina, como a engenharia de características, podem assistir e facilitar a cognição humana em um tema tão complexo, utilizando técnicas de aprendizado de máquina para explicitar regras encontradas na literatura da improvisação idiomática a partir de gravações transcritas em uma base de dados digital. Relações diretas podem ser encontradas, mas muitos outros fatores precisam ser considerados para que se escape do reducionismo em um tema complexo como a pedagogia da improvisação musical.

Palavras-chave: Aprendizado de Máquina; Pedagogia; Improvisação Musical; Engenharia de Características.

ABSTRACT

MARTINS, Tiago. **Machine learning applied to music improvisation pedagogy.**

Musical improvisation has been performed by programmable machines for a long time, which reinforces the question about the role technology plays in culture and how it could better assist humans in complex topics and open domains. It's possible to verify a number of artificial intelligence-based applications, with technology and performance on the spot while literature relating AI aspects to musical improvisation pedagogy in popular music is scarce. This research explores how machine learning aspects, as features engineering, could better assist the human cognition in such complex topic as the musical improvisation, using machine learning techniques to explicit idiomatic improvisational rules found in the literature from a digital database containing transcribed recordings. Even though relationships have been found, there are a number of parameters to be considered in order to encompass all the complexity behind this subject.

Keywords: Machine Learning; Pedagogy; Musical Improvisation; Features Engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama entidade-relacionamento do BD de Jazz de Weimar	52
Figura 2 - Abertura solo <i>Anthropology</i> por Art Pepper	53
Figura 3 - Eventos melódicos para o primeiro compasso de <i>Anthropology</i>	53
Figura 4 - Acordes para o primeiro compasso de <i>Anthropology</i>	54
Figura 5 - Fluxograma da metodologia adotada.	55
Figura 6 - Fluxograma da metodologia adotada para análise de livros-texto	56
Figura 7 - Fluxograma da metodologia adotada para análise da literatura.	61
Figura 8 - Exemplo de arquivo com dados para processamento na suíte WEKA.	66
Figura 9 - Corpus utilizado para indução do modelo	67
Figura 10 - Distribuição estatística de ocorrência dos atributos	67
Figura 11 - Algoritmos disponíveis na suíte WEKA	68
Figura 12 - Hiper parâmetros de uma implementação JRIP na suíte WEKA	69
Figura 13 - Tela de resultados da indução de modelos na suíte WEKA	69
Figura 14 - Cabeçalho do arquivo .ARFF	82
Figura 15 - Indicação do <i>corpus</i> utilizado para indução dos modelos no arquivo	82
Figura 16 - Regras obtidas a partir do modelo 1	85
Figura 17 - Regras obtidas a partir do modelo 2	85
Figura 18 - Regras obtidas a partir do modelo 3	86
Figura 19 - Regras obtidas a partir do modelo 4	86
Figura 20 - Regras obtidas a partir do modelo 5	87
Figura 21 - Ocorrência de notas de acorde para o <i>corpus</i> utilizado.....	89
Figura 22 - Ocorrência de notas relacionadas com mudanças de acordes	90
Figura 23 - Ocorrência da regra 2 do modelo 2 no solo de Art Pepper.....	91
Figura 24 - Ocorrência da regra 2 do modelo 2 no solo de Art Pepper.....	91
Figura 25 - Ocorrência da regra 2 do modelo 2 no solo de Art Pepper.....	91
Figura 26 - Ocorrência da regra 2 do modelo 2 no solo de Chris Potter	92
Figura 27 - Ocorrências da regra 3 do modelo 2 no <i>corpus</i> analisado	92
Figura 28 - Ocorrências da regra 4 do modelo 2 no <i>corpus</i> analisado	93
Figura 29 - Ocorrências da regra 5 do modelo 4 no <i>corpus</i> analisado	94
Figura 30 - Ligadura na transição do compasso 48 para 49 do solo de Art Pepper..	95
Figura 31 – Transição digital do compasso 48 para o 49 do solo de Art Pepper	96
Figura 32 - Ligadura na transição do compasso 28 para 29 do solo de Art Pepper..	96
Figura 33 - Transição digital do compasso 28 para o 29 do solo de Art Pepper	96
Figura 34 - Pausas na transição do compasso 43 para 44 do solo de Art Pepper....	97
Figura 35 - Transição digital do compasso 43 para o 44 do solo de Art Pepper	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Abordagem de aspectos estratégicos versus técnicos nas obras	75
Gráfico 2 - Objetivos de aprendizado versus quantidade de seções	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temas utilizados como corpus para indução de modelos	54
Tabela 2 - Indicação de livros-texto em cursos superiores de improvisação	72
Tabela 3 - Número de páginas das obras analisadas.....	73
Tabela 4 - Macro organização dos livros-texto analisados	74
Tabela 5 - Relação entre modelos e atributos	81
Tabela 6 - Modelos induzidos e seus parâmetros	83
Tabela 7 - Indicadores para avaliação quantitativa dos modelos	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4E	Embodied, Embedded, Enacted, Extended
ARFF	Attribute-Relation File Format
BD	Banco de Dados
ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Computer
FP	False Positive
IA	Inteligência Artificial
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MIR	Music Information Retrieval
NONCE	Novel, Optional, Nondeterministic, Criteria-Dependent, Existing
RIPPER	Repeated Incremental Pruning to Produce Error
TP	True Positive
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Questão de pesquisa	11
1.2	Estado da arte	12
1.3	Justificativa	14
1.4	Objetivos	17
1.5	Hipóteses	18
1.6	Fundamentação Teórica	18
1.7	Metodologia	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Pedagogia da improvisação	21
2.1.1	Tradição, Origem e Primórdios	22
2.1.2	A Era da Institucionalização do Ensino.....	24
2.1.2.1	<i>Aspectos Técnicos</i>	26
2.1.2.2	<i>Aspectos Dramatúrgicos</i>	29
2.1.3	Questões e Perspectivas de Futuro.....	30
2.2	Tecnologia	32
2.2.1	Perspectiva Histórica: Computação e o Pensamento Musical	34
2.2.1.1	<i>Aplicações performáticas</i>	37
2.2.1.2	<i>Aplicações analíticas</i>	39
2.2.1.3	<i>Aplicações pedagógicas</i>	41
2.2.2	Questões e Perspectivas de Futuro.....	43
2.2.3	4E e a Perspectiva Corporificada	44
3	METODOLOGIA	47
3.1	Materiais	47
3.1.1	Literatura	47
3.1.2	Banco de dados digital	50
3.2	Métodos	55
3.2.1	Revisão da Literatura	56
3.2.1.1	<i>Critérios de Seleção da Literatura</i>	56
3.2.1.2	<i>Critérios de Classificação de Tópicos dos Livros-Texto</i>	58
3.2.2	Análise dos Dados Digitais	61
3.2.2.1	<i>Extração e seleção de características</i>	62
3.2.2.2	<i>Modelagem</i>	63
3.2.2.3	<i>Obtenção de regras</i>	64
3.2.3	Análise estatística e avaliação de modelos	70

4	RESULTADOS	71
4.1	Tópicos relevantes dos livros-texto	71
4.1.1	Análise estrutural.....	73
4.1.2	Análise de objetivos de aprendizado	75
4.1.3	Análise de conteúdo: tópicos relevantes.....	77
4.2	Características e regras relevantes da base digital	79
4.2.1	Atributos	79
4.2.2	Modelagem	82
4.2.3	Regras.....	84
4.3	Discussões	87
4.3.1	Análise estatística e avaliação quantitativa dos modelos.....	87
4.3.2	Regras obtidas e avaliação qualitativa dos modelos	90
4.3.3	Limitações da base de dados digital	95
5	CONCLUSÃO	98
	REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo da dissertação serão apresentados tópicos que direcionam e fundamentam sua elaboração, iniciando com a questão de pesquisa, passando pela análise do estado da arte no domínio pesquisado, exposição da justificativa, objetivos e hipóteses, apresentação da fundamentação teórica e estratégias metodológicas empregadas.

1.1 Questão de pesquisa

“Realmente, precisamos de música improvisada embasada em inteligência artificial? Por que precisamos disto?”. Palavras (em tradução livre) de um pesquisador durante evento sobre improvisação e inteligência artificial em vídeo vinculado ao portal artificia.pro (ARTIFICIA, 2021). A desconfortável, porém, pertinente questão foi feita durante um painel de discussão e direcionada a outros pesquisadores que haviam acabado de apresentar um *set* em conjunto com algoritmos de inteligência artificial.

Ao falar de um domínio aberto como música improvisada, a questão do protagonismo da inteligência digital parece muito relevante. Se a pergunta é estimulante, há de se notar que o caminho percorrido para obtenção da resposta parece ser valioso, bem como uma jornada muito promissora no que concerne à elaboração, revisão de conceitos e formalizações, que podem ser retroalimentados para nutrir outros campos de pesquisa relacionados à música improvisada, como a educação e a estética. A inteligência digital assume então um papel importante, podendo tornar-se uma ferramenta poderosa e realmente valiosa no que diz respeito a sua utilidade para o ser humano.

Há de se notar que a educação no contexto da música improvisada e sua linguagem possui limitações de abordagem (HICKEY, 2009), mas é evidente que avanços nas áreas relacionadas com *Music Information Retrieval* (MIR) como os que permitiram a construção da base de dados de Jazz de Weimar (PFLEIDERER, 2017) têm também permitido avanços na formalização de aspectos da citada linguagem em diversos níveis, embasadas em obras de consagrados artistas do jazz e em que se evidenciam aspectos estéticos e idiomáticos da performance, que até então não haviam sido apresentados tão fartamente em termos estatísticos, como decorrentes das iniciativas alavancadas por meio da intensa *datatificação* que se experiencia

desde o início da década de 2010. Pesquisas relacionadas com aprendizado musical citam como fontes os modelos conceituais da cognição musical e da criatividade, como o posto na teoria da musicologia cognitiva (LASKE, 1998), na análise das cognições criativa e temporal (MENDONÇA; WALLACE, 2004), do modelo computacional da cognição musical e criatividade (WIGGINS, 2012), bem como do papel central dos padrões (PRESSING, 2001) sejam eles auditivos ou motores (NORGAARD, 2014) e a teoria do construtivismo, fundamentos por sobre onde, por exemplo, se constroem frameworks para desenvolvimento de tecnologias para aprendizado criativo (KHOURY, 2017).

Por mais que existam pesquisas ligadas a questões estilísticas e estéticas da improvisação musical, fundações sobre as quais alguns dos algoritmos utilizados em performance da música improvisada são construídos, diversos aspectos parecem ser também bastante adequados para realçar e comunicar o entendimento das composições estruturais de solos de jazz, oferecendo até grande potencial educacional (FRIELER, 2016).

Obviamente, a discussão em torno da utilidade da obra de arte conduz a debates que excedem em muito o modesto alcance da pesquisa presente, mas a maneira com que a tecnologia lida com aspectos do que se convencionou como conhecimento técnico, maneira esta considerada como um dos pontos centrais na caracterização da inteligência digital e dos processos cognitivos envolvidos, dissolve-se e pode até perder-se em aplicações com foco estritamente prático-performático, ainda mais levando em conta expressões artísticas de domínio aberto e que contenham certa hermeticidade, derivada de sua prática social, como algumas que se experienciam no âmbito musical.

1.2 Estado da arte

Anterior até mesmo à improvisação, o próprio pensamento musical tem sido objeto de estudo em diversas áreas das ciências, presente inclusive em algumas interseções com as classificadas *hard sciences* e é comumente assunto abordado em iniciativas relacionadas à inteligência digital. A codificação matemática da música em notas e escalas foi primeiramente documentada por Pitágoras ainda no século V a.C. (GIOIA, 2011) e a materialização deste pensamento por meio da notação e escrita

musical, desenvolvidas na idade média, foi evoluindo desde então, ao longo do tempo. A possibilidade da automatização deste pensamento musical-matemático e de que computadores processassem mais do que números foi elaborada por Ada Lovelace ainda no século XIX d.C., utilizando justamente a metáfora da composição musical, supondo uma adaptação tecnológica da relação dos tons na ciência da harmonia (AMSEN, 2019). Mais tarde, o trabalho seminal de John Myhill (1952) utilizaria referências dos fundamentos da ciência cognitiva, traçando paralelos com o pensamento científico e especificidades da computação (como o *halting problem*), tratando especialmente do problema da computabilidade do pensamento musical. Este trabalho foi fonte principal para Peter Kugel (1990) em sua diferenciação dos modelos de execução e de conhecimento musical, que se apresentam como uma sequência na discussão iniciada por Myhill.

Os processos cognitivos e motores envolvidos na improvisação musical também foram extensivamente tratados e modelados cientificamente e neste âmbito se destacam duas linhas de pesquisa, a elaborada por Jeff Pressing (2001) que privilegia principalmente os padrões motores dispostos em uma biblioteca e disparados por intenção criativa informada por recorrente retroalimentação, e a de Phillip Johnson-Laird (2002) que privilegia os aspectos algorítmicos, procedurais e a racionalização da execução. No que diz respeito a aplicações práticas de execução e performance da improvisação, há também literatura evidenciando pesquisas que exploram a capacidade dos algoritmos em executar música improvisada de forma interativa em alto nível. John Biles (1994) contribuiu com a construção de um modelo embasado em algoritmo genético de um músico aprendiz na arte da improvisação musical que interage a partir de retroalimentação recebida em tempo real de um mentor humano. Ritwik Banerji (2012) construiu e mais tarde aplicou o teste de Turing em um agente musical interativo criado a partir da linguagem MaxMSP que permite a geração automática de código fonte a partir de um editor visual. Sergio Giraldo et al. (2016) foi adiante a aplicou abordagens computacionais embasadas em dados para induzir modelos de regras para performance expressiva. Shunit Hakimi et al. (2020) agregou a questão dos vieses e geração de conteúdo personalizado em um modelo de linguagem musical treinado com um *corpus* de informação alimentado por gravações de grandes ícones da improvisação jazzística.

Outras pesquisas que abordam temas como investigações sobre a anatomia de frases idiomáticas do jazz (FRIELER, et al., 2019), identificação e aplicação de

padrões e similaridades em solos (FRIELER, et al., 2019), rastreamento de micro-variações no ritmo de performances (DITTMAR, et al., 2018), análise da dramaturgia em solos de jazz (FRIELER, et al., 2016), formação de ontologia de nível médio para trechos em solos improvisados (FRIELER, et al., 2016), abordagem e computacional para improvisação de jazz (VASSILAKIS, et al., 2019) e enriquecimento de vídeos em redes sociais com anotações musicais (BALKE, et al., 2018), como já citado, estão bastante ligadas aos aspectos estilísticos e estéticos do jazz e a diversas aplicações da engenharia de características e conhecimento.

Paralelamente, tecnologias como as empregadas em sistemas tutores têm sido exploradas em áreas correlatas à música, inclusive em educação musical. Apesar do modelo mestre-aprendiz do ensino instrumental dar impressão de um ambiente resistente à inovação tecnológica (CREECH; GAUNT, 2012) a perspectiva do uso da tecnologia em ambientes educacionais tem sido positivamente avaliada por estudantes de música (WADELL, et al., 2019). Iniciativas têm sido propostas neste sentido, mas boa parte delas incorrem no âmbito da educação em música erudita e composição formal, como por exemplo sistemas automáticos de avaliação de timbre para violino (GIRALDO, et al., 2019) e simuladores de avaliação de performance (WADELL, et al., 2019), sendo que há ainda pouco material disponível no que diz respeito à especificidade de certos gêneros de música popular, dentre eles a música improvisada em suas múltiplas dimensões. As iniciativas de Robert Keller (2007), que empregou a inteligência digital na forma de geração de melodias automáticas por meio de gramática probabilística em aplicações para aprendizado humano, e, posteriormente, Stephanie Khoury (2017), com menos foco na complexidade da inteligência digital empregada, mas com sólida fundamentação na história da pedagogia musical e na teoria construtivista, são trabalhos mais ligados a pedagogia da improvisação no âmbito e prática da música popular.

1.3 Justificativa

A improvisação já vem sendo considerada há tempos como essencial na educação musical, imprescindível para a formação da personalidade individual e exploração do potencial criativo do estudante. Há evidências que a educação musical, no sentido estrito que se conhece como “formal”, não agrega muito no

desenvolvimento da criatividade nos estudantes, uma vez que lança mão de recursos rígidos, que mais facilitam o desenvolvimento de inibições e da “mente restritiva” (CHASE, 1988), ao passo que a improvisação musical tem um papel muito importante no que tange ao fomento da criatividade, ainda mais em uma sociedade que se torna cada vez mais tecnológica, pois não só habilita a voz individual como também contribui para se ver o todo da vida como uma obra de arte (ibidem). Entre outros, exige-se do improvisador a gestão simultânea de múltiplos processos em tempo real, como a geração e avaliação de conteúdo multidimensional, seja horizontal - como sequências melódicas - ou vertical - como sequências de acordes, coordenação da performance com outros músicos e a execução de padrões motores refinados, com o objetivo de criar uma música esteticamente atraente (BEATY, 2015). Mesmo assim, como já posto, há comparativamente pouco material, pesquisas e aplicações que concernem à pedagogia da improvisação no âmbito do que se convencionou como música popular, mesmo tendo sempre ocupado um papel central na formação de seus praticantes.

Importante destacar que o termo “improvisação musical” é utilizado em contextos diversos, que vão desde a improvisação livre até a improvisação idiomática. Como explica Rogerio Costa (2013, p. 3), a improvisação livre se caracteriza como uma prática musical coletiva que não se embasa em sistemas pré-definidos e onde a ênfase é colocada no processo e no fluxo sonoro contínuo; contrastando com a improvisação idiomática, governada por regras cujos limites são impostos pelos constructos do idioma. Na presente pesquisa, exceto onde indicado explicitamente, o termo geral se aplica a improvisação idiomática. Não obstante, os benefícios e a centralidade de se aprender improvisar de forma geral se aplica a todo o espectro da improvisação musical e suas diferentes facetas, ainda mais ao levar em conta que mesmo em seus aparentes extremos, certos conceitos podem ser revisitados e extrapolados (ibidem).

Fica evidente, tendo como referência experiências passadas, a grande importância da pesquisa interdisciplinar ao tratar das ciências da educação e inteligência digital, sendo que a escassez de especialistas em tecnologia que possam dialogar e navegar em um domínio com características tão específicas, pode ser um impeditivo para maior desenvolvimento de produção neste âmbito (LUCKIN; CUKUROVA, 2019) e sobretudo ao se levar em conta a estética particular de estilos de improvisação.

Verificar os limites das tentativas de automatização do pensamento musical e suas implicações torna-se muito estimulante à investigação, pois, historicamente, tão cedo quanto novos paradigmas tecnológicos se estabelecem, novas tentativas de se criar aplicações no âmbito musical ocorrem. Porém, assim como os *bends* presentes no *blues* norte-americano subverteram a lógica musical de Pitágoras (GIOIA, 2019), a constante subversão dos paradigmas tecnológicos parece ser um fator humano persistente. Com isto em vista, mais latente ainda fica a questão da utilidade da improvisação musical algorítmica, principalmente partindo do ponto de vista de que tecnologias de inteligência digital, assim como postas no cenário contemporâneo, são ferramentas que deveriam primordialmente assistir os artistas na produção, distribuição e educação musical (WOLF, 2020 e TWEED, 2020) em detrimento de seu potencial estritamente performático.

Além do mais, abordagens que visam caracterizar a máquina como artista, privilegiam excessivamente o aspecto da música como entretenimento, ofuscando outros essenciais, como seus aspectos sociais e até mesmos tecnológicos (GIOIA, 2019). Até mesmo quando aplicações estritamente performáticas são o foco de pesquisas, há pouca literatura crítica e analítica que permita uma exploração mais profunda e que leve em conta os limites destas aplicações, como as simplificações empregadas por consequência de dinâmica, polifonia, e ornamentos; ou que então detalhem processos de obtenção e seleção de dados, como os presentes nas atividades de engenharia de características; ou até mesmo questões filosóficas, como intencionalidade e propósito; além de outros tópicos que poderiam alavancar as potencialidades maiores que são atualmente tão bem empregadas em aplicações performáticas, mas que poderiam também assistir aqueles que ousam se aventurar na jornada da aquisição de hábito em um tema classificado por muitos como hermético, como a improvisação musical em suas diversas facetas pode assim o ser.

Em última instância, a exploração de potenciais tecnológicos da improvisação musical considerando-a como um domínio aberto pode agregar conhecimento e gerar avanços em áreas correlatas que têm por objetivo geral explorar a cognição humana, como o processamento de linguagem, por exemplo, que compartilha com a improvisação os mesmos vieses de sequenciamento (BEATY et al. 2022).

1.4 Objetivos

O objetivo da pesquisa, em linhas gerais, é examinar o potencial pedagógico oferecido pelo estado da arte na inteligência digital, que tem gerado impacto positivo nas formalizações de análise e notações em improvisos de jazz e provido dados para o treinamento de aplicações computacionais até então estritamente performáticas. Isto deriva da busca de compreensão de como a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina poderia orientar a elaboração de estratégias pedagógicas em domínios abertos.

Procura-se então contribuir em dois aspectos principais: O mais imediato é avançar no sentido de obter percepções relevantes sobre a pedagogia da música improvisada, por meio das técnicas do estado da arte em aprendizado de máquina, estabelecendo uma relação lógica entre resultados práticos obtidos, comparáveis aos encontrados nos registros áudio-fônicos dos músicos consagrados, utilizados como corpus para o aprendizado de máquina em aplicações computacionais performáticas, e o que de fato é proposto como jornada de aprendizado nas diferentes abordagens da educação neste âmbito.

Com isto, pretende-se abordar algumas questões que podem impor-se no processo de ensino-aprendizado em domínios como aqueles em que a música improvisada está inserida, como, por exemplo, quais assuntos poderiam ser mais privilegiados didaticamente, por serem encontrados mais frequentemente ou relevantemente por todo o cânone, sob um ponto de vista estatístico. Além disso, fundamentar com dados possíveis críticas à estrutura de ensino já estabelecida, como a que reivindica o surgimento de limitação nas escolhas individuais da improvisação após o advento do ensino formal da improvisação (PROUTY, 2005).

O segundo objetivo é verificar, dentro das características e percepções obtidas, como um modelo de predição embasado em técnicas de aprendizado de máquina e inteligência digital poderia contribuir no processo de aprendizado de aspectos técnicos da improvisação. A aplicação de novas ferramentas tecnológicas para ensino, criação, distribuição e consumo da música improvisada é uma das linhas mestras traçadas por educadores de jazz desde o início da década de 2010, com a finalidade de que haja contínuo avanço na educação neste campo (HERZIG, 2019).

Por meio deste processo, apresentar então as possibilidades tecnológicas que se abrem, mas também colocar em perspectiva as possíveis limitações e problemas

em cenários que podem ser afetados no contexto local, além de investigar quais métodos e técnicas teriam maior aderência neste contexto.

1.5 Hipóteses

A hipótese principal é de que as tecnologias, mais do que performar e executar ações como as que humanos executam, podem suportar a jornada de aprendizado em temas complexos e, mais especificamente, que técnicas de aprendizado de máquina poderiam informar estratégias pedagógicas de ensino em domínios abertos, como a música improvisada. Daí deriva que requisitos para desenvolvimento de aplicações tutoras poderiam ser obtidos de forma automatizada a partir dos dados produtivos dos domínios em que se tem interesse.

1.6 Fundamentação Teórica

Por tratar-se de um tema interdisciplinar, a fundamentação teórica não poderia ser apresentada senão em diferentes frentes que deverão se entrelaçar no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Para trazer solidez em um tema tão diverso busca-se tomar uma bibliografia básica que atue como uma espinha dorsal e que seja diretriz no decorrer de toda a pesquisa, bibliografia esta que tratará de pontos fundamentais e comuns ao tema da computação no campo musical. Um dos principais pilares é o trabalho de John Myhill (1952), que discorre justamente sobre a possibilidade da computação do pensamento musical, fazendo referências que vão desde o behaviorismo de Skinner e a caracterização do pensamento científico de Popper até os modelos computacionais de Chomsky, passando por conceitos tratados por Gödel e Turing. Este trabalho foi fundamento para outras pesquisas importantes, como a que expandiu e detalhou a distinção entre os modelos musicais de performance e competência realizada por Peter Kugel (1990). A afirmação de que o pensamento musical, bem como o científico, não poderia ser computado em sua totalidade por meios convencionais, prescindindo de técnicas ulteriores como computação limítrofe e métodos de tentativa-e-erro, lança mão de conceitos densos que evidenciam a inconsistência de práticas centradas em

aspectos estritamente técnicos e que carecem de fundamentação e de um pensamento e filosófico mais apurado.

Compondo ainda o conjunto fundamental teórico há duas pesquisas muito comumente citadas nas áreas correlatas ao presente trabalho: a de Jeff Pressing (2001) que detalha os processos de improvisação pelo viés dos padrões motores e da biblioteca de padrões, citando o importante papel da retroalimentação, da autopercepção e da fenomenologia do jazz, tratada outrora por Alfred Pike (1974); e a pesquisa de Phillip Johnson-Laird (2002) que discorre sobre o processo algorítmico da improvisação musical, teorizando sobre os processos criativos e três possíveis algoritmos para criatividade por meio da perspectiva generativa e avaliativa, considerando como a memória de trabalho seria empregada no processo. Johnson-Laird foi também conhecido outrora por tratar do problema da linguagem no campo da inteligência artificial. O trabalho de Ted Gioia (2019) que trata da história da música e dos processos subversivos que a permeiam tem um grande potencial para agregar à presente pesquisa, uma vez que toca recorrentemente na interseção entre a música e tecnologia.

O segundo conjunto de referencial teórico trata da pedagogia musical e da improvisação. Em se falando da pedagogia da música improvisada, uma das principais fontes é a oriunda do grupo conhecido como “ABC da pedagogia do jazz”, formado por eminentes educadores norte-americanos, a saber, Jamey Abersold, David Baker e Jerry Coker. Além destes, obras dos autores David Levine (1995) e Hal Crook (2015) são comumente citadas em ementas de respeitados cursos superiores de improvisação musical e podem fornecer uma base sólida no que diz respeito a fundamentos da pedagogia e prática da improvisação.

O terceiro conjunto trata das abordagens práticas algorítmicas e de aprendizado de máquina em questões ligadas à improvisação e aprendizado musical. Já citados anteriormente, trabalhos de Biles (1994), Keller (2007), Banerji (2012), Giraldo (2016 e 2019), Khoury (2017), Pfliederer (2017), Wadell (2019) e Hakimi (2019) já são referências para este ponto da pesquisa, por demonstrarem o emprego prático de teorias da inteligência digital no que diz respeito à improvisação musical. Nestes trabalhos apreende-se a utilidade de diversas teorias computacionais no desenvolvimento de modelos musicais de inteligência digital, desde algoritmos genéticos, gramática probabilística, técnicas extração e seleção de características, passando por diferentes técnicas de aprendizado de máquina como *regression*

decision tree, *support vector machine*, redes neurais, além da aplicação de ferramentas e da teoria estatística na análise dos resultados obtidos.

Autores como Cohen (1995), Zhang e Zhou (2007), Yang e Pedersen (1997) e Jin e Ghahramani (2002) são fontes teóricas para assuntos ligados a aspectos técnicos do aprendizado de máquina, como a engenharia de características, sobre os quais se vislumbra ter um enfoque maior no decorrer da pesquisa.

1.7 Metodologia

Vislumbra-se aplicar duas estratégias metodológicas principais, dada a natureza da pesquisa, conforme exposto por Santaella (2010). A primeira trata-se de pesquisa teórica ou monográfica, a fim de traçar um panorama dos assuntos de interesse já citados em seções anteriores, a saber, a pedagogia da música improvisada e sua evolução no decorrer da história e aplicações das técnicas de aprendizado de máquina no domínio da improvisação musical. A partir daí, verificar no estado-da-arte se é possível obter uma relação entre o que vem sendo aplicado em performance da improvisação e a pedagogia, conforme encontrada também no estado atual.

A segunda estratégia seria indutiva e estatística, no sentido de aplicar técnicas de seleção de características e algoritmos de aprendizado de máquina para indução de modelos de regras a partir de um banco de dados de gravações de improvisos de músicos consagrados conforme disponibilizado no banco de dados de jazz de Weimar (PFLEIDERER, 2017). A partir dos resultados obtidos e das regras induzidas, verificar se seria plausível uma relação direta com o que a literatura apresenta como senso comum na pedagogia da improvisação musical. Avaliando criticamente os resultados, estudar então quais ajustes em características poderiam ser realizados, utilizando a literatura como embasamento, uma vez que engenharia das características, etiquetagem de dados e estratégia no treinamento de máquina são ainda tarefas humanas centrais no aprendizado de máquina. Além disso, verificar quais requisitos emergiriam desta relação. Estes requisitos poderiam então ser utilizados como motivadores para desenvolvimento de aplicações pedagógicas de ensino-aprendizado de aspectos técnico da improvisação musical.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica propõe a investigação e apresentação do estado da arte no que diz respeito a assuntos correlatos ao tema da pesquisa, a saber, tecnologia, com foco em aprendizado de máquina e inteligência digital, aplicada à prática e pedagogia da improvisação musical.

A relação da música, ou da arte de forma geral, com a evolução tecnológica é de constante encadeamento e apresenta a abertura de um leque de possibilidades com potencial construtivo do ponto de vista pedagógico e de expansão do conhecimento. Desde que se é possível reproduzir música a partir de uma gravação de áudio, qualquer ouvinte mais inspirado e cujas pretensões extrapolem a experiência imediata do entretenimento próprio, tem a possibilidade tornar-se um aprendiz e pesquisador, fazendo do artista cuja obra se aprecia, seu facilitador e guia por entre os intrincados conceitos que, mais do que se cogitam, se deixam perceber de forma integral pelo aparato corpóreo. E, por mais que se discuta se a possibilidade de ensino é plausível ou não, de que discurso poder-se-ia obter sentenças mais acuradas, quando se trata de absorver a improvisação dentro de uma linguagem musical definida, que o discurso dos próprios interlocutores do diálogo musical? São eles as fontes mais imediatas, que dispensam metáforas e cuja obra se percebe, mais do que cognitivamente, de forma incorporada na experiência musical.

Os conceitos aqui investigados serão utilizados posteriormente na pesquisa como parâmetros para aplicações práticas, uma vez que se pretende aplicar recursos tecnológicos em assuntos que permeiam o domínio da pedagogia da música improvisada.

2.1 Pedagogia da improvisação

A improvisação como expressão musical sempre teve papel essencial nas sociedades humanas, sendo a prática principal durante a maior parte do período histórico de que se tem notícia, em comparação com a música praticada com base em notação, por exemplo. De acordo com Stephanie Khoury (2017, p. 33), fazendo referência a diversos autores, as técnicas de ensino-aprendizado da improvisação musical têm tratamento em culturas de todas as partes do globo, sendo observadas

desde a música clássica indiana e persa, passando pela africana e javanesa, bem como nas tradições europeias e americanas.

Decerto a absorção social e cultural das mídias emergentes no decorrer do século XX possibilitou abordagens inovadoras, inclusive no campo pedagógico, no que diz respeito a tradições musicais consideradas mais herméticas; porém, encontra-se na literatura referências a uma tradição de ensino na improvisação datada desde antes dos adventos tecnológicos modernos ou da institucionalização do ensino.

Segue, então, um panorama histórico da pedagogia da improvisação que parte destes primórdios, passando pela fase em que se empreenderam esforços para sua formalização e institucionalização, apontando finalmente para o que se demonstra como tendência futura para o campo. Enquanto ainda se avança na pesquisa para definição do que seria uma linguagem da improvisação na tradição brasileira (CÔRTEZ, 2019), o que segue discorrerá principalmente sobre a literatura referente ao caso norte-americano, o *jazz*, onde a pesquisa, inclusive historiográfica, se mostra bem sedimentada.

2.1.1 Tradição, Origem e Primórdios

A literatura indica que a origem da pedagogia na música improvisada, no contexto da música popular norte-americana, data da virada do século XIX para o século XX e vai até metade da década de 1940, coincidindo temporalmente com a origem da própria prática musical em questão, uma vez que os aspectos culturais e sociais, como, por exemplo, prática profissional e atividades de ensino, neste período ainda não apresentavam uma clara distinção. Paul Berliner (1994, p. 36) discorre sobre a importância da comunidade do jazz na formação de novos músicos. No núcleo desta comunidade multicamadas habitam os músicos improvisadores profissionais, que são orbitados pelos músicos profissionais de outros gêneros, aspirantes a improvisadores, improvisadores amadores e admiradores em geral. A relação entre estes atores seria então construída a partir da infraestrutura formada por diversos centros musicais como lojas de discos, clubes sociais, casas dos músicos, estúdios e clubes noturnos.

Jonathan Goldman (2010, p. 9) define o aprendizado da improvisação musical nos primórdios como uma derivação direta da tradição africana de ensino-aprendizado

cujas práticas apresentam características da modelagem aural. Há primazia do aprendizado pela observação, audição e imitação da tradição sem benefício de meios adicionais como a escrita formal. A aculturação é facilitada pela comunidade, onde o aprendizado ocorre a partir do momento em que o indivíduo aprende funções, internalizando valores por meio do convívio, inclusive em atividades cotidianas. O aprendizado é informal e autodirigido, e as atividades de ensino e aprendizado não necessariamente se conformam a condições regulares previamente definidas, e por meio do qual os estudantes desenvolvem suas próprias rotinas e abordagens teóricas, nutrindo assim o desenvolvimento de sua identidade musical.

Sendo assim, eventos como *jam sessions*, prática de conjunto, participação em concertos, eram oportunidades acima de tudo, didáticas para o improvisador aspirante. Apesar de comumente ser descrito como um ambiente solidário, Paul Berliner (1994, p. 51) descreve que estes eventos eram muitas vezes aterradores para os jovens músicos que além de ter de dominar seus instrumentos, tinham de lidar com uma linguagem por vezes complexa sem que estivessem sob tutela completa dos músicos mais experientes. A paixão dos músicos era a sua música, não havia um caminho de aprendizado claro e um senso de responsabilidade sobre os resultados obtidos pelos estudantes.

Além da comunidade em si, as gravações de áudio seriam, de acordo com Kenneth Prouty (2005), ferramentas e fontes de conteúdo importantes já nesta época, considerando-se que o primeiro disco classificado estilisticamente como *jazz* foi lançado em 1917. A primazia da escrita sobre a reprodução de áudio apresentou-se no período posterior de institucionalização, trazendo referências da música europeia tradicional. Porém, esta tendência já se esboçava de certa forma em publicações periódicas impressas especializadas como a revista *Downbeat*, que já apresentavam pequenas colunas contendo breves exercícios para estudo de improvisação, análises e discussões de performances com transcrições nas suas edições lançadas em meados de 1930. Ainda segundo Prouty (ibidem) os métodos de aprendizado do período pré-institucionalização não deveriam ser tomados como totalmente independentes e menos importantes, mas sim como precursores em um *continuum* que desaguou na popularização de sua atividade pedagógica.

Enfatizando algumas consequências não tão brilhantes derivadas desta época, o proeminente educador David Baker (1988) apresenta, a partir da perspectiva de quem ativamente participara de iniciativas para formalização da pedagogia do jazz,

um conjunto de mitos difundidos na comunidade do jazz, derivado de músicos oriundos de uma geração formada na tradição pedagógica aural original. Segundo ele, muitos mitos são fruto da vontade dos músicos em dar a impressão de que tudo que acontece seria inspiração divina ou dom inato, sendo a impossibilidade de se ensinar a improvisação musical um dos principais mitos. Outros mitos advindos dos primórdios da tradição do jazz derivam da hipótese da formalização destruir uma suposta essência da prática musical, ou mesmo que não se aprenderia a improvisação no jazz por meio de clichês, padrões ou fórmulas. Estes mitos são refutados no texto de Baker, que, não menosprezando as características da tradição pedagógica aural, torna evidente ao leitor que a ausência total de formalização, teorização ou codificação de determinada prática pode fazer com que os próprios agentes que dela participam não tenham clareza explanatória na descrição dos fenômenos que nela se observam e apreendem.

A despeito do contexto social e das aterradoras injustiças às quais os músicos afrodescendentes foram sujeitados na época em que o jazz se desenvolvia, há algumas passagens relacionadas à pedagogia e ensino da música que demonstram um esboço de uma futura institucionalização, como a da inserção do músico conhecido como W. C. Handy nas fileiras de professores de música de uma instituição de ensino superior segregada em Alabama em meados de 1900, ou então a do *band-leader* Len Bowden, que dirigiu diversos conjuntos e também deu aulas em universidades segregadas entre 1920 e 1930 (PROUTY, 2005). Além disso, universidades já desempenhavam algum papel na formação de alguns músicos, como Jelly Roll Morton, que puderam se beneficiar de estudos em música tradicional europeia, instrumentação e arranjo (BERLINER, 1994, p. 55).

2.1.2 A Era da Institucionalização do Ensino

Conforme Goldman (2010) a história do jazz na academia não é totalmente linear e seus reais impactos não foram imediatos, mas podem ser medidos ao longo de diversas décadas do século XX. Além disso não há total consenso dos pesquisadores sobre a pluralidade de motivações e limiares temporais, mas no geral tem-se em boa conta a década de 1940 como marco inicial das tentativas mais

significativas de institucionalizar o ensino, em consonância com a crescente popularidade e profissionalização das bandas do estilo nesta época.

Datam desta década os primeiros cursos implementados e as instituições comumente citadas como pioneiras em iniciar o jazz na academia são Berklee (Boston, MA), University of Texas (Denton, TX) e Westlake College of Music (Los Angeles, CA). No mesmo período o estilo se torna alvo da indústria de publicações, com premissa inicial de alimentar com partituras as disciplinas recém estabelecidas, bem como os ávidos diretores musicais das bandas, que as utilizavam nas práticas em grupo (PROUTY, 2005).

Na década de 1950 eventos educacionais como *summer camps* e palestras, movimentaram e deram maior credibilidade a comunidade que se formava em torno dos cursos de jazz. Em resumo, já na década de 1960 o número de instituições oferecendo algum curso relacionado ao assunto aumentara de 40 para mais de 300. Nesta mesma época surgem como proeminentes educadores David Baker e Jerry Cooker, que, entre estrelas como Dizzy Gillespie que se desdobravam entre as apresentações e algumas poucas atividades educacionais, se dedicaram a pavimentar o caminho do que tornou-se mais tarde o advento dos métodos de improvisação e teoria do jazz (GOLDMAN, 2010).

Obviamente o ingresso de um estilo oriundo da cultura popular e com raízes primordialmente africanas na academia não ocorreu facilmente. Diversos autores citados por Goldman (2010, p.18) documentaram argumentos carregados de racismo e preconceito colocados pelos representantes do *status quo* da época, justificando sua exclusão do ambiente acadêmico durante os anos de transição. Desde pretextos embasados na ausência de técnicas para sua codificação, até alegações sobre a associação deste tipo de música dançante com diversas doenças, sendo ele também causador de falta de concentração, com efeito semelhante ao causado por substâncias psicotrópicas. E a fala mais trivial, de se tratar de um tipo de música vulgar.

De forma similar ao que fizera ao elencar mitos sobre a prática do jazz, David Baker (1988) também listou conhecidos mitos que se somavam a outros na resistência à aceitação do jazz na academia, destacando frases (em tradução livre) que tentavam descreditar as estrelas em evidência, como “Charlie Parker tem boas ideias, mas seu timbre é ruim”, ou “Ornette Coleman toca desafinado”, ou até “Miles Davis é um músico desleixado”.

Porém, com a profissionalização do gênero e das mudanças pelas quais passou a partir da década de 1940, dentre as quais a emergência de estilos tecnicamente mais intrincados e até cultuados intelectualmente como o *bebop* e posteriormente o *cool*, o ingresso de músicos admirados e atuantes no cenário profissional em programas acadêmicos, como Donald Byrd, Jackie McLean, Billy Taylor e o próprio David Baker, fez com que a academia aceitasse o jazz, bem como que o jazz aceitasse a academia. Estes músicos se tornaram um importante elo entre mundos musicais distintos (HERZIG, 2019).

A partir da década de 1960, com a crescente demanda dos movimentos civis na América do Norte, atenções voltaram-se para a urgência na inclusão de aspectos da cultura afro-americana na academia, com a intenção de que suas tradições não se perdessem e fossem transmitidas para as gerações seguintes. O jazz beneficiou-se deste movimento, cujas consequências se desdobraram até a década de 1980 (BERLINER, 1994, p. 56).

Desde então a evolução foi imensa, e sua importância para a comunidade passou a ter uma centralidade cada vez maior. Com as mudanças socioculturais que se deram no decorrer do século XX, como o surgimento e popularização de outros gêneros musicais, a demanda de trabalho para os músicos de jazz se tornaria mais escassa, fazendo com que os núcleos institucionais desempenhassem um papel central para a manutenção das tradições do gênero e nutrição da comunidade (BERLINER, 1994, p.56). Conta-se atualmente em torno de 210 programas exclusivos de jazz reconhecidos na América do Norte (DOWNBEAT, 2020) em diversos níveis, desde o bacharelado até o doutorado.

Decerto houve adaptação do método pedagógico e suas ferramentas da oralidade para a literalidade durante o processo, adaptações estas tanto apreciadas quanto criticadas, cujas características principais serão elencadas nos seguintes tópicos, em favor de referências futuras dos capítulos posteriores.

2.1.2.1 Aspectos Técnicos

A improvisação musical nas mais variadas tradições musicais apresenta diferentes nuances no que diz respeito à rigidez da moldura sob a qual a criação artística, ou a variação sobre o tema, ocorre. Em algumas expressões há quase que

total ausência de uma moldura, onde a criação espontânea, quando experienciada, furta-se a qualquer delimitação ou referência externa, à exemplo de estilos considerados *avant-garde* como o *free jazz*. Porém, na maior parte dos estilos de música improvisada, há uma estrutura intrínseca bem definida por sobre a qual a composição espontânea ocorre. Na tradição brasileira, o repente nordestino pode ser citado como exemplo, onde se verifica uma moldura harmônica, melódica e rítmica (não necessariamente e simultaneamente perceptíveis), e os elementos improvisados são os versos recitados pelos repentistas, que podem (ou devem) variar, inclusive, de acordo com a situação em que os interlocutores estão inseridos, fazendo com que objetos desta situação se tornem também assuntos de sua improvisação. Em outra tradição instrumental brasileira, o Choro, a improvisação acontece sobretudo na forma de variações e ornamentos, devido, entre outros aspectos, à complexidade estrutural das composições.

Em estilos mais tradicionais como o *bebop* e o *hard bop*, por exemplo, as molduras, ou estruturas, são tipicamente as canções compostas na primeira metade do século XX, obtidas diretamente do cancionário popular norte-americano, provendo bases harmônicas, melódicas e rítmicas sobre as quais os músicos improvisam. Tradicionalmente, em resumo, em uma sessão de improvisação, a melodia original da peça é apresentada no início e no fim da execução e, entre essas exposições do chamado *tema*, os músicos improvisam solos dentro da forma rítmica cíclica da composição (BERLINER, 1994, p. 63). Já é possível apreender desta simples descrição algumas habilidades requeridas dos participantes; domínio de um certo repertório e suas possíveis formas, habilidade de relacionar conteúdo harmônico e melódico, aplicação de técnicas de composição, desenvolvimento da percepção musical, obtenção de fluência na linguagem melódica utilizada para improvisar, entre outros (BERLINER, 1994).

Aprender a improvisar dentro de uma tradição, então, exige conhecimentos musicais técnicos-teóricos que extrapolam uma visão que poderia cogitar a prática como totalmente desestruturada. Durante a fase de institucionalização do ensino da improvisação dentro da tradição do jazz norte-americano, priorizou-se então, principalmente estes aspectos para elaboração de livros, que se tornaram mais comuns nesta época, e que popularizaram teorias como a teoria Acorde-Escala, veículo dominante para ensino da improvisação nas universidades a partir da era do *bebop* (KHOURY, 2017, p. 42). Um dos principais métodos, considerado como um

marco da teoria do jazz é o livro *The Lydian Chromatic Concept of Tonal Organization* escrito pelo educador e músico George Russel e publicado em 1953, e uma das suas principais contribuições é a de justamente formalizar a representação da teoria Acorde-Escala pela primeira vez (PROUTY, 2005, p. 96), fazendo com que o jazz tivesse uma moldura didática mais bem delineada e que legitimou em algumas instâncias a sua institucionalização. Outras publicações populares que endereçam e desmistificam as técnicas para improvisação foram publicadas ao longo do tempo. Um dos alunos de George Russel, David Baker publicou pela primeira vez em 1988 o livro *Jazz Improvisation: A Comprehensive Method for All Musicians*. Em 1989 Jerry Coker publicou *Improvising Jazz*. Ambos os volumes proveem perspectivas dos aspectos técnicos como utilização de escalas, progressões harmônicas, desenvolvimento melódico, desenvolvimento da audição musical, senso de *swing*, aprendizado de repertório e alguns aspectos mais voltados a composição e dramaturgia, como construção de solo e critérios de avaliação estética para a performance (GOLDMAN, 2010, p. 25). Os play-alongs surgiram no final da década de 1960 como uma ferramenta bastante influente como método de ensino, sendo a publicação de 1992, *How to Play and Improvise Jazz* de Jamey Aebersold, uma das mais populares. O livro *Jazz Theory Book* de 1995 de Mark Levine demonstra a evolução das publicações, abrangendo e detalhando muitos tópicos da teoria tonal da improvisação (GOLDMAN, 2010, p. 26). Observa-se que o lugar comum nas publicações que surgiram durante esta era é a obtenção de escalas, arpejos e padrões para a posterior aplicação na improvisação (KHOURY, 2017, p. 42).

Sobre a literatura que endereça o jazz a partir da perspectiva do ensino e da pedagogia em si, novamente, David Baker publicou em 1979 um dos livros apontados como pilar para a formação do currículo dos cursos de jazz, *David Baker's Jazz Pedagogy: A Comprehensive Method for Teacher and Student*. Nele estão delineados e descritos diversos aspectos técnicos e estratégias para a pedagogia e ensino do jazz que demonstram potencial para guiar a implementação de um currículo completo. Jerry Cooker publicou também em 1989 seu livro *The Teaching of Jazz*, que também delineia a criação de um programa de jazz desde os primeiros passos (GOLDMAN, 2010, p. 25).

Observa-se então que os nomes de alguns autores emergem repetidamente entre as publicações sobre o assunto em questão. São os conhecidos *Big Three* (KHOURY, 2017, p. 42) ou *ABCs of Jazz Education* (HERZIG, 2019), onde o acrônimo

ABC refere-se a inicial do sobrenome dos autores Jamey Aebersold, David Baker e Jerry Coker. De fato, publicações destes autores foram prolíficas e moldaram o que se aprende em improvisação musical de forma inclusive multicultural.

2.1.2.2 Aspectos Dramatúrgicos

Assim como apresentado por Stephanie Khoury (2017, p. 43), citando outros autores, uma das maiores críticas do material apresentado no tópico anterior é a de que os aspectos técnicos foram, de alguma forma, separados da música. Observa-se um argumento (apresentado como um mito) próximo disso, de que a formalização diminuiria a expressividade, nos escritos de David Baker (1988). De fato, após a expansão do jazz como um programa institucional, diversas críticas a sua sistematização foram feitas, em parte apontando que fatores mais lúdicos foram deixados de lado durante o processo. A própria narrativa da história é criticada, como em Kenneth Prouty (2005), que indica a diminuição da importância dada aos “métodos” educacionais utilizados no período pré-institucional, em detrimento de uma narrativa que enaltece a cultura literária acadêmica. Ainda em Khoury (ibidem) lista-se outros autores que tratariam a improvisação a partir de uma perspectiva diferente do *status quo*, a partir de uma abordagem mais holística, com ênfase em fazer “coisas” simples soarem corretamente, com exercícios embasados em células rítmicas e treinamento de percepção, onde abordagens integradas se alavancariam do benefício de que o som precede a teoria.

Em Maud Hickey (2009) observam-se críticas sobre as limitações de abordagem atuais que desaguardam, em última instância, na impossibilidade de ensinar improvisação, apoiando-se na ideia de que a própria natureza das palavras “ensinar” e “improvisar” são incompatíveis, pois não se pode ensinar algo que requer ausência de preparação, realizando então um chamado para o que indicaria como improvisação livre nas instituições de ensino. Para além das questões etimológicas, Hickey propõe uma abordagem mais equilibrada entre o aprendizado das habilidades técnicas requeridas para improvisação em determinada linguagem, e a disposição natural ao improviso, como a demonstrada pelas crianças, observando que o papel do professor seria mais propenso ao de nutrir do que ensinar.

Buscando um olhar sobre a improvisação que provesse outras nuances, Erkki Huovinen et. al. (2011), propõe abordagens distintas para o ensino; uma embasada na teórica musical, a saber, relação entre acordes e escalas, e outra embasada na dramaturgia, enfatizando questões de equilíbrio, variação e tensão.

O estudo de Klaus Frieler et. al. (2016) traz à tona e busca desvendar o significado do conhecido jargão utilizado por muitos praticantes da improvisação, frequentemente sem muita objetividade, ao se referir ao solo improvisado como atividade análoga a “contar uma história”. Em sua pesquisa bibliográfica são elencadas ao menos três implicações estéticas sobre o que deveria compor uma narrativa no contexto da improvisação; envolvimento pessoal, variedade e equilíbrio das ferramentas de improviso empregadas em um solo e dramaturgia geral. Estes aspectos serviriam principalmente ao propósito de manter o interesse do ouvinte na improvisação. Além disso, demonstrar emoções por meio do envolvimento pessoal e incorporado durante a performance, pode tornar o solo mais agradável para a audiência e pode ser indicativo de “ter algo a dizer” em um senso empático. A variação de recursos durante a performance traz à tona o elemento “surpresa” ao subverter expectativas, criando e sustentando interesse, bem como induzindo emoções. Não obstante, a variação entre coerência e contraste precisa ocorrer de forma equilibrada, bem como a elaboração das “curvas de tensão”, uma metáfora para o aumento gradativo de tensão; aqui podendo significar quantidade, intensidade ou altura de timbre - que ocorre em determinada fase de um solo.

2.1.3 Questões e Perspectivas de Futuro

Muitas questões têm sido levantadas no decorrer da história de pedagogia da música improvisada sobre diversos aspectos. Algumas das críticas, de acordo com Goldman (2010, p. 33) são direcionadas à oferta limitada e focada muito no conjunto de jazz em detrimento de outros estilos. Outra crítica comum seria a formação homogeneizada de músicos, devido à formalização do ensino. Citando Kenneth Prouty, Jonathan Goldman (2010, p. 34) aponta a mudança de foco do poder de aprendizado do indivíduo, que até então era responsável pelo seu próprio aprendizado, para a academia, que passou então a regular virtualmente os aspectos da experiência, por meio da elaboração de currículo, métodos pedagógicos e

perspectivas. Isso traria consequências negativas e limitadoras no que diz respeito a performance da improvisação, fazendo com que os músicos formados passassem a soar de forma uniforme, fato que é por muitas vezes notado pelos próprios estudantes.

A binaridade presente em todo o discurso da pedagogia do jazz também é alvo de questionamento. Como discorre Tony Whyton (2006, p. 68), a narrativa seria polarizada, centrada em oposições binárias presentes em temas como cerebral-corporal, masculino-feminino, reproduzido-presencial. Ele cita passagens de músicos contando suas experiências na academia, sugerindo que em muitos casos a educação, com base em suas experiências, sufocaria a criatividade.

É possível tentar explicar e elencar razões para este tipo de discurso, segundo Whyton (2006, p. 71), como o fato de a instituição estar divorciada da arte e da realidade. Além disso, as abordagens antiacadêmicas, somadas aos mitos de que o músico é antes de tudo um praticante e não um pensador, alimentam ainda mais a visão negativa do ensino formal do jazz. A celebração dos valores do mundo pré-institucional corrobora esta visão, entendendo o aprendizado daquela época como se fosse algo sobrenatural, quando, segundo relatos históricos, o que existia era muito profissionalismo, arregimentação e dedicação por parte dos músicos. A abordagem canônica conforme Whyton (2006, p. 75) seria uma força neutralizadora, pois, apesar de parecer sedutora ao prover um embasamento para o currículo com materiais de suporte, narrativa única e uniformidade dentro e além das fronteiras institucionais, acaba relegando o jazz ao risco de se tornar uma peça de museu fossilizada, perdendo também o poder da crítica, que é oportuno à educação pelo lugar único que ocupa na sociedade.

Em suma, se a abordagem canônica tradicional (como a encontrada nos *ABCs*) apresenta seu lado positivo; de introduzir o jazz como uma forma de arte legítima na academia e celebrar a história afro-americana como rica e definível, o lado negativo é a apresentação desta história como uma entidade definida ao invés de algo em constante fluxo. Uma saída para isto, ainda segundo Whyton (2006, p. 79), seria uma abordagem socio-crítica do fenômeno do jazz, de forma a desconstruí-lo e introduzir uma abordagem mais inclusiva, comparativa e interdisciplinar, como por exemplo, olhar a história do jazz pela perspectiva da influência da tecnologia, ou da prática musical pela perspectiva da semiótica. Isto encorajaria os estudantes a reconhecerem que o debate está vivo e é ainda pertinente.

Não obstante o criticismo e questionamento, artistas proeminentes do jazz, criticamente aclamados que surgiram nas últimas duas décadas, tais como Julian Lage, Anat Cohen e Ben Wendel, são invariavelmente egressos da academia. Jonathan Goldman (2010) entrevista alguns deles em sua pesquisa, com a finalidade de entender a visão dos mesmos sobre a academia, as experiências de aprendizado e a natureza do desenvolvimento da autenticidade. Boa parte afirma que os programas de jazz de forma institucionalizada aumentaram significativamente a qualidade da educação e acesso à informação, mas olha com parcimônia temas como a abordagem puramente comercial e o surgimento de uma comunidade em torno da instituição, ao invés da comunidade em torno do jazz em si, além de sugerir que a instituição deveria fomentar a interação entre os estudantes de todos os níveis. A pesquisa demonstrou que os músicos entrevistados invariavelmente se engajaram em experiências de aprendizado adicionais, embasadas na tradição do jazz, que sua autenticidade se desenvolveu enquanto aprendiam sobre o jazz de forma geral e que a instituição proveu uma opção viável para aprendizado do jazz e para o desenvolvimento de sua autenticidade, ao suplementar suas atividades de aprendizado formal com atividades de autoaprendizado.

A partir de um encontro entre educadores e praticantes de jazz, Monika Herzig (2019, p. 190) notou que existe um chamado para celebrar os valores outrora nutridos no período pré-acadêmico, e elencou fatores críticos para o futuro da pedagogia do jazz, sendo um ponto em comum entre eles a necessidade de tornar o ambiente e a mentalidade mais aberta, abrangente e adaptável. Também foram elencadas oportunidades de pesquisa e possíveis fontes de alternativas a serem exploradas, como a relação entre a “rua”, em alusão à informalidade do ensino, e a sala de aula; o papel das comunidades; a crescente necessidade de empreendedorismo na educação; observância das tendências artísticas, econômicas e adoção de novas ferramentas tecnológicas.

2.2 Tecnologia

Conforme posto desde o início deste trabalho, a tecnologia tem sido citada como um dos recursos que, aplicado à música improvisada, poderia prover uma nova perspectiva aos aspectos pedagógicos em voga. De fato, a tecnologia e arte são

assuntos tão correlatos que por vezes podem escapar a uma perspectiva mais focalizada.

O termo tecnologia aqui fará referência principalmente à tecnologia digital computacional, por mais que possa se referir em algum momento a outros aspectos da técnica, especialmente ao tratar de termos históricos, que serão detalhados quando assim ocorrer. Segundo o panorama histórico provido por Charlie Gere (2008, p. 15), por mais que o termo “digital” se refira, em termos técnicos, a dados na forma discreta e, portanto, com possibilidade de se referir a qualquer sistema numérico ou linguístico, a referência mais direta é aquela feita à tecnologia computacional, que armazena e processa dados na forma binária, mas, mais do que isso, produziu fenômenos recentes como a comunicação instantânea, mídia ubíqua e conectividade global. Computação, por sua vez, refere-se à tradição que vêm desde o experimento mental conhecido como Máquina de Turing, que condensou ideias que vêm desde a “Máquina Universal” de Ada Lovelace e Charles Babbage, passando pela lógica simbólica de George Boole e a máquina tabular de Herman Hollerith, desaguando em máquinas como Manchester Mark I e ENIAC de Von Neumann, na era cibernética e na teoria da informação. O próprio Turing, após desenvolver seu trabalho com máquinas de cálculo e criptografia durante a 2ª Grande Guerra Mundial, chegou a conclusões que o levariam a introduzir o tema relacionando inteligência e máquinas computacionais. O que se entende e classifica atualmente por Inteligência Artificial tem seu nascimento datado na década de 1950 com a Conferência de Dartmouth mantendo duas vertentes contemporâneas principais, a primeira contém os sistemas especialistas embasados em regras e a segunda os sistemas embasados principalmente em dados e aprendizado estatístico. Do ponto de vista epistemológico, a primeira vertente apresenta uma abordagem dedutiva clássica (DATTERI, 2005) onde a partir do modelo obtém-se dados. Na segunda, trabalha-se um método empírico indutivo (ANGELOV; GU, 2019) onde a partir de dados obtém-se um modelo.

Nos próximos tópicos buscar-se-á trazer, por meio da revisão bibliográfica, um panorama geral das intersecções entre tecnologia, música improvisada e pedagogia, visando principalmente posicionar o momento atual em relação à perspectiva histórica, o que será útil para compreensão geral da presente pesquisa nos tópicos futuros.

2.2.1 Perspectiva Histórica: Computação e o Pensamento Musical

Enxergar com urgência o todo da vida como uma obra de arte, assim como postulou Mildred Chase (1988), em uma geração onde a tecnologia avança de forma implacável, protegeria a natureza criativa da espécie humana de uma exclusiva simbiose com eletrônicos. Entretanto, por que a improvisação é foco de estudos em inteligência digital? O que as máquinas aprenderam que nós não já sabíamos?

A caracterização do pensamento musical pode ser encarada pelo viés da ciência cognitiva tradicional, um arcabouço teórico estendido da psicologia comportamental (behaviorismo), como um tipo de processamento de informação feita por um objeto físico, a saber o cérebro humano, e então, passível de simulação.

Apesar de haver muitas "evidências" embasadas no argumento empírico, Peter Kugel (1990), defendendo a hipótese de John Myhill, argumenta que nem todos os aspectos deste pensamento seriam computáveis, fazendo referência a necessidade de distinção entre as impossibilidades teóricas das práticas. Olhando a partir desta perspectiva, do ponto de vista prático, mesmo processos "incomputáveis" podem ser adicionados à "caixa de ferramentas" conceituais da cognição musical, sem que isso signifique que a totalidade do pensamento tenha sido encapsulada, uma vez que isto demandaria processos menos ortodoxos – como "tentativa e erro" e "computação-limítrofe" – do que os verificados na computação tradicional. Conforme Kugel (1990), agora em alusão à tese de Karl Popper sobre o pensamento científico, o pensamento musical é muito mais aberto e flexível do que muitos acreditam ser. Segundo ele, problemas que podem ser resolvidos por meio de uma "receita" (ou algoritmo) requerem técnica, e estes são geralmente os problemas tratáveis pela computação. Problemas que estão fora desta "caixa", mais do que isto, requerem *insight*.

Um dos trabalhos pioneiros no campo de formalização dos processos de improvisação, relacionado com a inteligência digital, foi o de Jeff Pressing (2001). Ele notou que no campo da inteligência artificial havia uma apropriação a partir da abordagem de "Resolução de Problemas", porém destacou que a improvisação como prática tem como alvo mais do que apresentação de um produto artístico final: seus objetivos são a exploração e o processo. Seria difícil até imaginar como os "problemas" seriam especificados neste contexto; formulações do tipo seriam muito pessoais, abertas e até contraditórias. Aprender a improvisar, então, parece ser mais

relacionado com uma abordagem de resolução de problemas do que à prática da improvisação em si.

Mesmo assim, Pressing (ibidem) lista as técnicas de inteligência artificial que poderiam ser aplicadas no contexto da improvisação, que na época ainda careciam de maior desenvolvimento, bem como explica o que enxergava como algumas de suas limitações; *Técnicas de Busca* como *depth-first*, *breadth first* e *best-first*, que se utilizam do procedimento *Gerar-e-Testar* poderiam ser aplicadas, onde “gerar” refere-se à geração de som e “testar” refere-se a ouvir a música gerada ou aos processos cognitivos internos de seleção. Entretanto as sérias limitações do processamento em tempo real precisam ser levadas em conta, uma vez que o improvisador necessita de uma boa solução, não a melhor, pois, mesmo que uma solução ótima existisse, poderia levar muito tempo encontrá-la.

Outra técnica relacionada seria a de *Redução de Problemas*, com especial aplicação no ensino de improvisação, mas que parece bastante limitada ao tratá-la como prática, uma vez que esta demanda a integração de ações; a técnica de *Satisfação de Restrições* por sua vez parece ser bem adequada à resolução de problemas de improvisação, ao considerar, por exemplo, referente, objetivos do improvisador e normas estilísticas como restrições; finalmente, a análise *Means-End*, que realiza a comparação dos estados *corrente* versus *alvo*, parece relevante ao tratar do ensino da improvisação, mas também apresenta limitações no que diz respeito à necessidade de uma análise em segundo-plano.

Representação de Conhecimento, outra das principais ramificações de IA, é embasada em diversas ideias, segundo Pressing (ibidem) muitas delas mais sugestivas que aplicáveis à improvisação. *Indexação* seria muito artificial, enquanto a *Dependência Conceitual* é muito fortemente entrelaçada com a estrutura da linguagem natural. Já à época, Pressing (ibidem) cita *Redes Semânticas* como uma das técnicas mais promissoras, já que aí a informação é representada por uma série de nós conectados entre eles por segmentos etiquetados, com cada nó representando um objeto, evento ou conceito, e os segmentos representando as relações entre eles. Uma vez que processos parametricamente ajustáveis não seriam tão simples de representar, isto representaria uma importante limitação para aplicação no campo da improvisação. A *Representação Múltipla*, seria também uma técnica importante, por agregar ideias de processamento paralelo, sendo relevante para o campo da improvisação por apresentar flexibilidade e eficiência. Já *Modelos de Regras*

descrevem características comuns a um conjunto de regras que formam a base para um sistema produtivo; ao considerar o músico improvisador como o sistema produtivo, as regras importantes seriam largamente heurísticas, e as regras sobre regras, meta-heurísticas. Algumas regras seriam culturalmente e historicamente embasadas, ao passo que outras presumivelmente refletem propriedades intrínsecas do aparato cognitivo humano. Todas as ideias, conforme indicado por Pressing (ibidem) considerando o período em que escrevia, ainda necessitariam de maior desenvolvimento. No decorrer da pesquisa, se apresenta um modelo cognitivo do processo de improvisação, fundamentado em múltiplas disciplinas, considerando inclusive as técnicas de IA apresentadas e indicando que tal modelo poderia ser utilizado como base para a concepção de programas computacionais “improvisadores”.

A pesquisa de Phillip Johnson-Laird (2002) traça um panorama sobre improvisação a partir do conceito de que a criatividade deveria ser computável, apresentando o modelo NONCE (que apresenta novidade, não determinístico, depende de critério e se embasa em elementos existentes), conceituando três algoritmos possíveis para criatividade; Neo-Darwiniano, que apresenta primeiro estágio generativo e segundo avaliativo; Neo-Lamarckiano; onde o estágio generativo utiliza a experiência como critério; e de acordo, a combinação dos anteriores que apresenta o primeiro estágio como Neo-Darwiniano e o segundo como Neo-Lamarckiano.

Conforme sua tese, a improvisação melódica dependeria de um algoritmo de passo único e não necessitaria de acesso a uma memória intermediária de trabalho, em detrimento da improvisação harmônica, ou composição, que por sua vez dela dependeria, bem como de um algoritmo de múltiplos estágios de criação e avaliação crítica. Nesta perspectiva, o improvisador para Johnson-Laird (idem, p. 422) seria similar a um transdutor na teoria de autômatos, que tomando como entrada uma sequência de acordes e uma percepção do acompanhamento da memória de longo termo, produz uma saída que consiste em uma melodia improvisada. Esta produção poderia ser regida por um algoritmo que não faz uso de memória intermediária, mas de estágio generativo embasado na experiência, como o Neo-Lamarckiano. Isto é demonstrado em sua pesquisa por meio de um programa escrito com a finalidade de improvisar linhas de contrabaixo. Tal programa toma como entrada símbolos, representando uma sequência de acordes, gerando uma linha de contrabaixo

representada por símbolos numéricos das tonalidades relativas aos acordes; as premissas pelas quais o algoritmo embasa suas decisões levam em conta apenas a nota imediatamente anterior e regras de contorno e relação harmônica.

Estas abordagens sintetizam conceitos fundamentais então utilizados em aplicações computacionais relacionadas com a improvisação, que para o trabalho presente foram convenientemente classificadas como *performáticas*, *analíticas* ou *pedagógicas*, e serão revisadas nos tópicos posteriores.

2.2.1.1 Aplicações performáticas

Mesmo com as limitações da abordagem computacional, ao tratar de sua aplicação em aplicações práticas ou performáticas de improvisação musical, verifica-se um extenso caminho já percorrido. Estas aplicações, também conhecidas como improvisadores digitais, podem servir a diversos objetivos, entre eles, atuar como sistemas interativos, companheiros, que produzem resultado musical de forma autônoma e que possuem algum grau de agência criativa. Muitas técnicas diferentes foram utilizadas no decorrer dos anos, como as embasadas em gramática, regras, estatística, métodos evolucionários ou redes neurais.

Toby Gifford et. al. (2018, p. 1) observa em sua pesquisa que aplicações do tipo estão dispostas em um campo diverso e fragmentado e, focando na análise de exemplos, buscou identificar áreas chave de interesse que pudessem informar o desenvolvimento de novos sistemas do tipo, utilizando-as na construção de uma taxonomia de sistemas de improvisação computacionais. Por meio da análise de aproximadamente 40 sistemas e aplicações, eixos para tal taxonomia foram definidos por Gifford et. al. (idem, p. 8), a saber; *Modelo de Improvisação*, que classifica o tipo de interação do sistema para produzir improvisação, como controle de automação musical, dueto musical, instrumento gestual, entre outros; *Agência Criativa*, que trata do grau de contribuição do agente computacional na atividade criativa colaborativa de forma autônoma; *Controle e Aprendizado*, indica como o sistema responde e se controla de forma paramétrica com as informações obtidas em tempo real; *Fonte Estética*, descreve como o sistema cria resultado musical de forma significativa, se por entrada explícita do programador, por imitação em tempo real, treino prévio com uma base de dados ou por técnicas de aprendizado de máquina; *Análise Musical*, que

lista os aspectos técnicos como melodia, tonalidade, fraseado, e outros, que o sistema detecta e responde; Métodos, que descreve a estrutura algorítmica interna do sistema. Por meio de tal taxonomia seria então possível classificar os sistemas de improvisação disponíveis.

Entre estes sistemas é possível citar uma grande quantidade de improvisadores digitais, como o pioneiro Music Mouse criado por Laurie Spiegel em 1986, que consiste em um instrumento algorítmico embasado em tela cuja improvisação deriva de regras previamente definidas. George Lewis contribuiu em 1986 com o sistema Voyager, que emprega o conceito múltiplos agentes virtuais e que pode ser classificado como um dos primeiros sistemas orientados a performance, pois possui foco na interação sônica e equilíbrio entre a resposta musical e a iniciação da ideia. O sistema Cypher, criado por Robert Rowe em 1992, foi fundamentado no conexionismo, apresentando também diversos agentes que interagem com o músico e se consultam entre si para classificar de forma probabilística os eventos e pode gerar resultado musical de forma transformacional, algorítmica ou consultando uma biblioteca de sequências.

John Biles (1994) contribuiu com a construção de um modelo de um músico aprendiz da improvisação embasado em algoritmo genético, que interage a partir de retroalimentação recebida em tempo real de um mentor humano. Já Petri Toiviainen (1995) foi um dos precursores em postular que a modelagem de aspectos da improvisação não seria uma tarefa simples para sistemas embasados em regras, mas que técnicas de aprendizado de máquina, no caso, redes neurais, poderiam realizar o trabalho mais facilmente, o que, para além das conclusões óbvias, poderia dizer muito sobre a abordagem humana com relação ao aprendizado de improvisação. Mesmo não construindo um sistema propriamente dito, Toivianen apresentou em sua pesquisa uma modelagem computacional para técnica de notas-alvo, muito utilizada no *bebop*. Seguindo um caminho próximo, David Franz (1998) realizou a aplicação de modelagem estatística, utilizando *Cadeias de Markov*, para a criação de um de improvisador de jazz, traçando alguns *insights* sobre estilo e criatividade a partir dos resultados obtidos. O ambiente de agência criativa OMax, embasado na pesquisa de Assayag e Chemillier (2006), aprende características de um improvisador e executa improvisação em tempo real de forma interativa.

Ritwik Banerji (2012) construiu e mais tarde aplicou o teste de Turing em um agente musical interativo criado a partir da linguagem *MaxMSP*, que permite a

geração automática de código fonte a partir de um editor visual. Shunit Hakimi et. al. (2020) agregou a questão dos vieses e geração de conteúdo personalizado a um modelo de linguagem de improvisação, treinado com um corpus de gravações dos grandes ícones da improvisação jazzística. Esta abordagem utiliza técnicas de *deep learning* onde a preferência do usuário e o nível de sua satisfação são medidas por meio de uma variante digital de uma interface de resposta contínua.

Como visto, existe um vasto campo para as aplicações de improvisação de cunho performático, onde, além de objetivos relacionados ao entretenimento e apreciação artística, se encontram embarcados conceitos com viés analítico do processo da improvisação. Porém, verifica-se na literatura uma natureza de aplicações que tem como sua principal meta o suporte à análise dos aspectos e características da improvisação, que será alvo da abordagem no tópico seguinte.

2.2.1.2 Aplicações analíticas

Enquanto existe uma série de aplicações que se utilizam de tecnologias digitais para suportar e facilitar a análise musical em geral, especificamente no que diz respeito à improvisação, devido à sua natureza estilística mais aberta, especula-se, estas iniciativas não são tão numerosas. Aplicações do tipo são classificadas no campo conhecido como *Music Information Retrieval*, ou MIR (DOWNIE, 2003), que frequentemente lidam com a análise de facetas técnicas da música. A musicologia computacional deriva de uma tradição da etnomusicologia, que se desenvolveu por meio da coleta, anotação, e exame de repositórios de gravações musicais e transcrições manuais. Computadores auxiliaram na manipulação, sistematicamente gerindo os metadados e anotações manuais, bem como permitindo consultas aos dados. Formatos passíveis de leitura por máquinas, como MIDI, foram adventos que permitiram avanços importantes no campo análise computacional. A análise computacional da música apresenta importantes vantagens por tornar possível a rápida extração de características de forma acurada e automática (PFLEIDERER et. al., 2017).

Especialmente no que tange à improvisação, uma das principais iniciativas nos últimos anos foi justamente a liderada Martin Pfeleiderer (2017) conhecida como projeto de pesquisa *Jazz-o-mat*, que se situa na interseção entre a pesquisa do jazz,

da psicologia musical e da musicologia computacional. No conjunto do projeto, dentre muitas outras, destacam-se pesquisas como a que culminou na elaboração da *Base de Dados de Jazz de Weimar*; um banco de dados relacional com mais de 400 solos monofônicos de jazz anotados. Também se destaca o desenvolvimento de um kit de ferramentas de software para análise musical batizado como *MeloSpySuite*. Ambas as ferramentas estão gratuitamente disponíveis e abertas a ajustes do público.

Desta iniciativa derivaram pesquisas que abordam temas como investigações sobre a anatomia de frases idiomáticas do jazz (FRIELER, et al., 2019), identificação e aplicação de padrões e similaridades em solos (FRIELER, et al., 2019), rastreamento de micro variações no ritmo de performances (DITTMAR, et al., 2018), análise da dramaturgia em solos de jazz (FRIELER, et al., 2015), formação de ontologia de nível médio para trechos em solos improvisados (FRIELER, et al., 2016), abordagem e computacional para improvisação de jazz (VASSILAKIS, et al., 2019) e enriquecimento de vídeos em redes sociais com anotações musicais (BALKE, et al., 2018). Estas pesquisas estão bastante ligadas aos aspectos estilísticos e estéticos do jazz e a diversas aplicações da engenharia de características e do conhecimento.

Por sua vez, Martin Norgaard (2014) buscou aprofundar a análise de como os músicos improvisam, fazendo referência aos trabalhos seminais de Jeff Pressing (2001) e Phillip Johnson-Laird (2002) previamente citados, contrapondo os conceitos lá então formulados, da improvisação embasada em padrões motores e auditórios versus a improvisação embasada em regras. Em seu experimento, transcrições de 48 solos improvisados de Charlie Parker são computacionalmente analisadas, com o objetivo de verificar uma possível recorrência de padrões relacionados a intervalos tonais. Os resultados demonstram que se encontra uma certa recorrência na utilização destes padrões, mesmo se considerando as diferentes durações possíveis, sugerindo que a prática da improvisação, conforme expressa em estilos como o *bebop*, seja embasada nesta técnica.

Também chama à atenção iniciativas lideradas por Sergio Giraldo et. al. (2016) onde abordagens computacionais embasadas em dados e aprendizado de máquina foram aplicadas para induzir modelos de regras para performance expressiva, bem como para a modelagem e predição de ornamentação. Em seu trabalho, além de se utilizar das recorrentes técnicas de conversão, anotação e extração de características, verifica-se que a modelagem é realizada por meio de comparação entre algoritmos e técnicas de aprendizado de máquina, tais como

árvores de decisão, redes neurais, classificação estatística e aprendizado supervisionado. Os métodos para seleção de características também são detalhados, e, para um leitor com alguma prática musical, pode ser interessante notar como se explica tecnicamente a relevância de determinadas características, como a duração temporal de uma nota, em detrimento de outras, como determinantes para um improvisador escolher por ornamentá-la ou não.

Pesquisas como estas, para além de trazer à tona conceitos fundamentais – que podem inclusive informar os apreciadores sobre a estética musical resultante –, são também utilizadas como ferramentas para descrever técnicas e estratégias aos interessados no desenvolvimento das habilidades necessárias para a obtenção de fluência na arte da improvisação. Entretanto, existe também uma série de aplicações mais focadas na questão do aprendizado da improvisação, que serão abordadas com mais detalhe no tópico seguinte.

2.2.1.3 Aplicações pedagógicas

O avanço tecnológico no campo das mídias digitais no final da década de 1980 permitiu a disseminação em larga escala de software educacional e, conjuntamente com o advento do MIDI, apresentou a abertura de novas possibilidades para suporte do aprendizado musical, entre as mais importantes, a conexão dos instrumentos musicais aos computadores. Destacam-se também iniciativas como o aplicativo *Band-in-a-Box* desenvolvido pela empresa PG Music em 1990, que possibilitou aos músicos oportunidade de criar faixas de acompanhamento para, inclusive, praticar a improvisação (KHOURY, 2017).

A pesquisa de Keller (2007) discorre sobre uma estratégia de aprendizado da improvisação embasada em transcrever e elaborar, e a partir daí desenvolve um software conhecido como *IMPRO-VISOR* desenvolvido para ajudar improvisador principalmente a construir solos e, por isto, trabalha de forma *offline*, antes da prática da improvisação de fato. Keller elenca alguns problemas a serem resolvidos dinamicamente durante a performance, como selecionar notas consistentes com a harmonia e que apresentem fluência para a próxima ideia, além de prover interesse rítmico e demonstrar reação a outros músicos participantes do diálogo musical. De forma geral sumariza a principal preocupação, a de soar bem, fundamentado em

abstrações empíricas da psicoacústica, pensadas em alto nível. Algumas das linguagens definidas como parâmetros para a aplicação são tonalidade, classe de tonalidade, acordes, escala, semitom, cor da tonalidade e tonalidade de aproximação, relevantes para operação do software construído sobre o conceito de gramática, embasado na tecnologia Java e *S-Expressions*, implementadas pela biblioteca *Polya*.

O mapeamento realizado por Stephanie Khoury (2017) avaliou cerca de 65 aplicativos de 30 diferentes companhias que suportam o aprendizado da música improvisada, e os classificou-os em três categorias principais, a saber, *Aplicativos Instrucionais*, *Aplicativos de Acompanhamento* e *Aplicativos de Referência*. Na primeira classificação se organizam os aplicativos sequenciadores de texto/áudio (como *ilImprov* e *DMTI*) e vídeo (como *Understand Modes*, *MyJazz* e *Jazz Conception Company*); na segunda se organizam os aplicativos classificados como *Play-a-Long* (como *Band-in-a-Box* e *iReal Pro*), *Music Minus One* (como *Jammit*) e os que permitem a criação de faixas de apoio (como *GarageBand* e *Thumb Jam*); na terceira se encontram os aplicativos que provêm referências sobre relação acorde/escala (como *Tonal Tools*), treino de percepção (como *Tenuto*) e os que focam nas técnicas de improvisação clássicas (como *Star Scales Pro*, *ilImproviser*, *Jazz Box* e *Scales Lexicon*).

No campo da prática musical, destaca-se o aplicativo *SmartMusic* que em suas diferentes versões provê ao músico um *feedback* de suas improvisações, incluindo informações sobre acuracidade temporal e entonação, bem como possibilidade de compartilhamento da performance com professores, permitindo que o estudante receba um parecer individual sobre seu desempenho. Apesar de não ter um apelo explícito ao ensino de improvisação, o aplicativo *Yousician* provê recompensas para o estudante durante sua jornada de aprendizado e cobre alguns aspetos relacionados à execução de solos.

A partir da análise dos aplicativos existentes, Khoury (2017) propôs um modelo para aprendizado criativo de música com tecnologia e, embasada em princípios do construtivismo, elenca seus cinco princípios básicos, a saber; Aprendizado por Audição Interativa; Pedagogia Sequencial; Conhecimento e Transferência de Habilidade; Engajamento Criativo Contínuo e Avaliação e Rastreamento. Embasada nestes princípios apresenta a criação de um protótipo para aprendizado de aspectos da improvisação, realiza a avaliação de sua utilização junto a alunos de nível médio e conclui que seu protótipo provê vislumbres dos aprendizes

musicais do século XXI, com seu conjunto específico de interesses e preferências, e prevê que a partir destas perspectivas seria possível se antecipar uma possível ruptura da prática e aprendizagem embasada centralmente no cânone.

2.2.2 Questões e Perspectivas de Futuro

Aspectos da experiência musical foram por muito tempo tratados pelo viés dualista cartesiano mente-corpo, especialmente desde as iniciativas que buscam sistematizá-los. Documentos demonstram que esta tratativa já aparece em obras datadas do final do século XIX, onde se evidencia também a aplicação rigorosa da relação platônica binária entre teoria e prática.

A abordagem cognitivista tradicional, fundamentada em computação de informações que busca explicações representacionais do processo mental – onde a percepção e ação são conceitos separados, e a experiência um processo unidirecional – não representou uma grande ruptura do paradigma dualista presente nas abordagens musicais, que foi até mesmo mais profundamente evidenciado com a aplicação das tecnologias que emergiram no decorrer do século XX. Esta visão cognitivista puramente computacional dos aspectos musicais já vem sendo há tempos criticada por pesquisadores, pois compartilha de dificuldades semelhantes em que incorrem as tentativas de se computar o pensamento científico. Devido às limitações impostas pela compreensão do processo perceptivo e semântico, aspectos da música como prática humana não seriam totalmente computáveis pela visão unidirecional de processamento de sinais.

Entretanto, nos últimos anos, o paradigma da musicalidade incorporada vem buscando uma nova abordagem que dê conta, ou que pelo menos seja mais abrangente, ou que apresente o tema com melhor resolução e fidelidade, daquilo que humanamente se experiencia como fenômeno musical. Este paradigma agrega o papel central do corpo no processo perceptivo à discussão, e a mente, que inclui o cérebro e é intrinsecamente ligada ao corpo, é situada no mundo com o qual se relaciona, emerge nas interações entre agentes autônomos e seus ambientes, e pode ser estendida além do corpo por meio de objetos do ambiente que oferecem possibilidades de ação. O paradigma se apoia fundamentalmente em teorias apresentadas por Maurice Merleau-Ponty, James Gibson, Humberto Maturana,

Francisco Varela e Andy Clark e tem uma agenda necessariamente interdisciplinar e um corpo de trabalho essencialmente empírico. O trabalho original de Marc Leman (2014) compilou uma série de experimentos embasados no paradigma da cognição incorporada na música, demonstrando o papel do acoplamento ação-percepção em uma rede intrincada de implicações no processo de experiência musical, bem como o papel causal ativo da incorporação neste processo, no qual ela não é apenas de um efeito emergente.

Iniciativas deste tipo informaram o que se convencionou como cognição 4E, que se refere as iniciais das palavras *embodied*, *embedded*, *enacted* e *extended* (NEWEN et al., 2018), em tradução livre, incorporada, situada, enativa e estendida. Esta perspectiva tem, por sua vez, informado pesquisas em diversas áreas relacionadas a cognição musical nos últimos anos.

2.2.3 4E e a Perspectiva Corporificada

Interessante notar que o “treino” a que algoritmos de aprendizado de máquina são submetidos geram modelos instantâneos de improvisação, entretanto os humanos fazem referência a constructos mentais que são gradativamente elaborados por meio do processo de aprendizado.

A tecnologia desempenha um papel especial no conceito de extensão, um dos “4E” da cognição incorporada, uma vez que é historicamente o meio pelo qual a humanidade estende suas capacidades para além do corpo, mudando inclusive o modo como se percebe estas capacidades e potencial de ação.

A pesquisa de Kai Tuuri e Oskari Koskela (2020) vai além, e a partir de uma posição enativa e biocultural assume uma relação co-evolucionária entre a tecnologia e a musicalidade humana, em que ambas se co-modulam e se constituem, citando o termo “aplicação” para conceituar os processos enativos pelos quais as aplicações, instrumentos e ferramentais reorganizam os modos de pensar e agir na atividade musical.

Além disso, afirmam que entender as relações humano-computador requer o reconhecimento de como aplicações contribuem para a construção de atividades musicais, além de como elas podem ser desenhadas de forma a reforçar o *continuum* epistemológico entre o corporificado e abstraído e de como se mesclam cada vez mais

com os instrumentos musicais. Partindo do conceito de Heidegger para atividade hábil (*ready-to-hand*), descreve-se como a tecnologia é orientada à tarefa, bem como seu efeito domesticador e de rede, que sempre se refere a outras ferramentas e práticas sociais, sem que tenha um fim em si mesma.

A musicalidade tecnológica toma a música como um verbo, como algo que é realizado ao invés de algo que existe em si mesmo objetivamente e que, para além de uma experiência passiva, é criação ativa que não reside fora do ser que a experiencia com intencionalidade. As ofertas de ação constituem uma relação entre sujeitos e objetos musicais, onde o vocabulário de ações, ou repertório motor, do sujeito agem de forma a ressoar com as possibilidades de ação. Assim, não há “música” propriamente dita, mas formas de manifestar a música de modo não unidirecional em interações concretas, estando por conseguinte intrinsecamente ligada à tecnologia.

Tuuri e Koskela (*ibidem*) ainda prosseguem, informando como a tecnologia musical abre possibilidades para reificação da teorização musical, que se tornou uma ilusão redutiva da realidade, e a toma como se constituída por categorias conceituais ou objetificações do fenômeno. Isto faria parte da tentativa de definir a música como parte do mundo externo, com mais foco em seus elementos constituintes do que na sua função, sendo que métodos e técnicas científicas podem incorrer no problema de produzir uma incapacidade treinada a partir do viés tecnológico. Ao contrário disto, *designers* devem utilizar da criatividade para, tomando o instrumento musical como transdutor de padrões motores em padrões sonoros, endereçar os problemas de aprendizado técnico que evidenciam os problemas de interface entre humano e instrumento, e entender a co-modulação do entendimento musical pela tecnologia como oportunidade de desconstrução de padrões axiomáticos limitadores previamente postos.

É evidente que performances são cada vez mais raras e no mundo contemporâneo se torna cada vez mais comum a experiência do fenômeno musical por meio de gravações. Daí se depreende que resultados musicais têm sido mais construídos do que originados no corpo ou instrumentos, com o editor ou compositor atuando como se fosse um *performer* tocando sistemas de edição e gravação. A partir desta perspectiva pode-se incorrer no dualismo clássico onde impera o primado do resultado sobre a performance, da cognição sobre a corporeidade, em uma relação

essencialmente paramétrica onde movimento do *performer* transforma-se em dados numéricos para entrada no sistema.

Em detrimento desta condição Tuuri e Koskela (*ibidem*) propõem modos de mediação e facilitação tecnológica, o primeiro como um *framework* relacional, onde a tecnologia modula a experiência de mundo para o usuário e o segundo como facilitador de habilidades musicais inatas. A tecnologia como mediadora pode atuar no modo *prótese*, onde a transparência e acoplamento com sistema sensório-motor são premissas para obtenção de conhecimento útil; ou modo *diálogo*, onde a tecnologia é experienciada como parte do ambiente.

As relações humano-tecnológicas, que co-constroem o mundo em que estamos situados e vivemos, são então conceituadas por Tuuri e Koskela (*ibidem*) como relações corporificadas, experienciadas perceptivamente e em que a tecnologia se esconde para nos dar o mundo; relações hermenêuticas, onde se experiencia a tecnologia como algo que requer interpretação, revelando significados do mundo em detrimento do mundo em si; relações de alteridades, onde a tecnologia se apresenta como o outro e onde se experiencia sua autonomia de inteligência; relações em segundo plano, onde ocorre alteração da realidade mas a tecnologia não é diretamente percebida. Seja como for, quanto mais as atividades musicais se emaranharem com aplicações tecnológicas, mais nossos modos e mundos musicais se tornarão “aplicados”.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos utilizados na presente pesquisa. Assim como observado por Lucia Santaella (2010, p.83), se verifica na prática científica um nível metodológico fundamental, comum a toda ciência, que parte da relação entre abdução, dedução e indução. Entretanto, o desenvolvimento científico em suas ramificações diversas fez com que se desenvolvessem métodos e técnicas específicas por sobre este nível fundamental, compondo um nível dos métodos mais particulares, aplicáveis nos estratos de pesquisa que surgem no interior de cada ciência.

Desta forma, além dos materiais e métodos, as estratégias metodológicas utilizadas serão descritas nos tópicos a seguir.

3.1 Materiais

Ao tratar do tema da pedagogia na música improvisada e sua relação com tecnologia da inteligência digital, os materiais utilizados para estabelecer tal relação serão classificados em dois grupos, conforme segue.

A primeira classe diz respeito à literatura, tradicionalmente livros-texto e métodos, que, conforme apreendido do tópico anterior, foram e são a fonte de consulta mais imediata dos estudantes e professores nos programas de estudos, principalmente os que tomam lugar nas instituições formais de ensino.

Se examinará também uma classe de materiais ligada à tecnologia digital, um banco de dados que contém improvisações de jazz anotadas, como fonte de informações de performance desta forma estilística. Tal fonte deverá servir para apontar, para além de outras perspectivas, as características e atributos de uma amostra de matéria-prima que pode, inclusive, ser utilizada para a construção de aplicações digitais neste domínio.

3.1.1 Literatura

Como já visto, simultaneamente ao nascimento dos primeiros cursos de improvisação musical reconhecidamente institucionais na América do Norte,

somaram-se, ao longo do tempo, esforços na formalização de uma pedagogia da improvisação, bem como de seus materiais, de forma que os programas em desenvolvimento pudessem deles se beneficiar. Um marco que surgiu como resultado destes esforços foi o livro *David Baker's Jazz Pedagogy: A comprehensive method for teacher and student* (1979), de David Baker, reconhecido como um guia detalhado para os profissionais da educação em cada aspecto da instrução e seus impactos nos programas pedagógicos, detalhando desde um racional para o programa, até planos de ensino e exemplos de testes (GOLDMAN, 2010). Semelhantemente, Jerry Cooker e Jamey Abersold são autores reconhecidos como pioneiros na formação de um reconhecido cânone da pedagogia da música improvisada (HERZIG, 2019).

Atualmente há um sem-número de livros e apostilas sobre o tema da improvisação, desde textos de cunho prático, até livros formalmente adotados por cursos médios e superiores. Observa-se que os materiais citados pavimentaram de certa forma o senso comum do que se entende como recursos necessários para a formação de um programa instrucional de jazz e, conseqüentemente, no currículo dos cursos superiores que daí derivaram, aplicando uma atenção especial ao ensino das técnicas de improvisação.

Verifica-se na literatura menção recorrente ao termo *livro-texto* (tradução adotada aqui para o termo *textbook*, do inglês) no contexto de pedagogia institucional; trata-se de um livro que ensina um assunto em particular e é utilizado especialmente em instituições de ensino, como universidades, segundo HUANG et. al., (2022), compreendendo unidades de conhecimento em forma de texto, tabelas, ilustrações e exercícios para aferição de conhecimento, criados por meio da adoção de métodos de representação de conhecimento em um domínio específico. De forma geral, mesmo que existam variações ao redor do mundo no que diz respeito à prática e extensão da adoção de livros-texto e até mesmo diferenças na concepção do caminho de aprendizado (possíveis sintomas de diferentes percepções culturais) o sistema educacional, de forma geral, os utiliza como embasamento para prover aos estudantes as melhores oportunidades de aprendizado. De acordo com Kevin Watson (2017, p. 5) materiais como livros-texto são atraentes para os instrutores pois oferecem um plano de instrução sequencialmente organizado que pode ser utilizado efetivamente em conjuntos heterogêneos. A escolha entre diferentes livros-texto é uma responsabilidade do instrutor e deveria levar em conta o contexto em que a instrução ocorre.

No caso da música improvisada, apesar de não sempre explicitamente, os próprios textos didáticos, como o caso de Hal Crook (1991) realizam uma importante diferenciação entre a prática e performance da improvisação. Enquanto uma prática pedagógica que busca treinar a performance da improvisação não necessariamente limita o estudante a certas fronteiras da estética e da forma de modo constante e previsível, a prática da improvisação estaria intrinsecamente ligada ao saber científico, à aplicação de métodos e, por consequente, à imposição do *modus operandi* à linguagem e aos conceitos, como que moldando a ação. Tal argumento, então, amenizaria a constante crítica de que em textos didáticos sobre improvisação a técnica e a música estão deliberadamente separadas. Pela forma em que foram estruturados, os materiais pedagógicos são orientados à capacidade sensorial visual em detrimento da aural, o que também despertou críticas de autores ao longo do tempo, conforme elencado por Jonathan Goldman (2010, p. 39).

De forma estrutural, os textos didáticos sobre improvisação apresentam, à semelhança aos métodos e obras dedicados a música tradicional europeia do século XIX, a codificação e explanação de técnicas de composição para que o músico possa lançar mão na construção cognitiva de seus futuros improvisos. Esta teoria é em sua maior parte apresentada de forma discursiva e visual, se utilizando invariavelmente da notação musical tradicional. Para maior aderência aos gêneros musicais em que a improvisação se insere, apoia-se frequentemente em exemplos da discografia para reforçar os argumentos da teoria explanada. Com relação a isto, o estilo *bebop* foi e é até o presente momento o que mais influenciou obras do tipo (PROUTY, 2005) e solos de artistas identificados com o estilo são frequentemente encontrados em suas páginas.

Analisando qualitativamente, os valores importantes para se aprender a improvisar, segundo os textos didáticos sobre improvisação, seriam obtidos a partir da substância rítmica, melódica, conteúdo harmônico, originalidade e gosto (BERLINER, 1994). Tais obras apresentam diversas semelhanças, entre elas a que mais se sobressai, e que de certa forma sintetiza os valores mencionados, é a de terem seus tópicos profundamente moldados pela relação acorde-escala (PROUTY, 2005), que declara que as escolhas melódicas (frequentemente apoiadas em escalas, arpejos e padrões) do improvisador devem ser direcionadas principalmente pelo conteúdo harmônico, ou seja, pelos acordes por sobre os quais se improvisa. Por sobre esta relação se constrói boa parte das técnicas expostas nos textos, como a

técnica de notas-alvo, onde o encaixe das escolhas melódicas deve levar em conta a temporalidade e a rítmica dos acordes, de forma com que certas notas, que prescrevem sua característica funcional, fiquem dispostas em pontos chave dos compassos, dando a sensação de ancoragem ao ouvinte e comunicando o conteúdo harmônico modulado na melodia proposta. Maiores detalhes sobre estrutura e conteúdo serão apresentados em tópicos mais adiante.

Pelo critério de seleção aplicado, descrito adiante, as obras tomadas como objeto de estudo serão *Jazz Improvisation: A Comprehensive Method for All Musicians* (BAKER, 2005), *The Jazz Theory Book* (LEVINE, 1995) e *How To Improvise, an approach to practicing improvisation* (CROOK, 1991) examinadas no presente trabalho com o intuito de se verificar o que se elenca como tópicos relevantes para ensino da improvisação e posterior comparação com outras bases de dados.

3.1.2 Banco de dados digital

Dando continuidade a uma longa tradição de pesquisa da improvisação com foco nos músicos e suas performances, o projeto de pesquisa Jazzomat (PFLEIDERER et. al., 2017), posicionando-se em uma interseção das áreas relacionadas a pesquisa do jazz, psicologia musical e musicologia computacional, contribuiu principalmente com uma base de dados com mais de 400 transcrições de improvisações monofônicas de jazz, bem como um ferramental para análise de música monofônica. A tradição na qual o projeto se insere, remete às primeiras críticas e abordagens analíticas que se embasavam principalmente em gravações e transcrições surgidas na década de 1950, e que teve como precursores André Hodeir, e Gunther Schuller em um primeiro momento, e Thomas Owens, que na década de 1970 ampliou as abordagens para outros estilos como o *bebop*, *cool* e *hardbop*. Técnicas computacionais foram agregadas nas abordagens analíticas que se seguiram, principalmente porque permitem a extração de características de forma rápida, assertiva e automática. Além disto, permitem a expansão das capacidades de comparação das características extraídas e podem até direcionar o foco para certo conjunto de dados que de outra forma passariam despercebidos.

Conforme Martin Pfeleiderer et. al. (idem, p. 7) descrevem ao apresentar os detalhes do projeto Jazzomat, é questionável se gravações de um solo, que são

tomadas como a matéria prima central das análises sobre os princípios criativos que guiam a improvisação, podem ser consideradas como trabalhos finalizados. Segundo eles, citando os especialistas Ekkehard Jost, Paul Berliner e John Brownell, a arte da improvisação é infinita e não acabada em uma única obra, sendo que a metodologia de análise deveria, mais do que focar em determinados artefatos musicais, descrever os princípios criativos de um estilo. Além disso, ainda segundo eles, distinções deveriam ser feitas sobre a análise dos resultados, como os reproduzidos pelas gravações de áudio, da análise dos processos que se desdobram e os originam.

Tendo em vista estas questões, a base de dados que resultou do projeto Jazzomat visa contribuir com as diversas abordagens existentes no estudo da improvisação, apresentando transcrições manualmente anotadas por especialistas com auxílio de ferramentas computacionais. As anotações manuais levaram em conta os tons e suas durações, estrutura de acordes, métrica, forma das seções, limites das frases e algumas características expressivas (idem, p. 20). Conforme já pontuado, a base de dados se concentrou em solos monofônicos e nas partes tocadas pelos solistas, além de outras importantes características expressivas da execução.

A escolha dos solos a serem transcritos pelo projeto Jazzomat levou em conta um critério de seleção cuja abordagem favoreceu a extensão de cobertura dos estilos de jazz historicamente definidos, em detrimento de uma abordagem que favorecesse a profundidade e foco em um pequeno grupo de artistas selecionados. Mesmo assim, alguns artistas foram mais fortemente representados que outros, como por exemplo John Coltrane, Charlie Parker e Miles Davis, até porque tais escolhas podem contribuir mais com determinados tipos de análises, como as comparativas, principalmente pela quantidade de material disponível dos artistas citados.

A base de dados, em formato SQLITE3 está disponível na página digital do programa de pesquisa Jazzomat, publicada na internet e disponível para *download* gratuitamente. A estrutura é a de um banco de dados relacional, composto por tabelas dentre as quais a tabela *melody* é a principal, armazenando todas as sequências de eventos, onde cada linha representa um evento melódico. Tais eventos são identificados por um número armazenado na coluna *eventid* que é utilizado como referência cruzada ao longo de toda a base de dados. As principais colunas desta tabela, além do identificador, são: *melid*, que armazena o identificador da obra transcrita; *onset* e *duration*, campos relacionados a métrica temporal em segundos; *period*, *division*, *bar*, *beat*, *tatum*, *subtatum*, *num* e *denom*, relacionados a métrica

rítmica, divisão e subdivisão dos eventos melódicos; por fim *pitch*, que se refere a tonalidade do evento melódico convertido em seu numeral MIDI correspondente. A tabela *beats* também contém informações importantes sobre os eventos, nela, para cada divisão temporal dos compassos identificáveis pela coluna *beat*, está disponível o acorde (coluna *chord*), o compasso (coluna *bar*) e a seção (coluna *form*).

Figura 1 - Diagrama entidade-relacionamento do BD de Jazz de Weimar



Fonte: Autor.

Para exemplificar, a abertura do solo do *rhythm changes* Anthropology, conforme a versão do saxofonista Art Pepper, foi transcrita conforme a figura 2.

Figura 2 - Abertura solo *Anthropology* por Art Pepper

Fonte: Página eletrônica do projeto Jazzomat.

Focando no compasso 1 (destacado na figura 2), onde o acorde dos dois primeiros tempos é um Si bemol maior com sexta (Bb^6) seguido por dois tempos de Sol com sétima dominante (G^7), é possível verificar que Pepper executa um Si bemol ocupando todo o primeiro tempo, repetindo a nota em seguida por mais um tempo e meio, que é seguido de um respiro de um tempo e meio, totalizando os quatro tempos do compasso. Na base de dados, onde a obra está identificada com *melid* igual a 1, as informações melódicas estão disponíveis na tabela *melody*, conforme figura 3, e as dos acordes estão disponíveis na tabela *beats*, conforme figura 4. Nota-se que o Si bemol corresponde ao numeral 58 na conversão para MIDI e as pausas não são computadas.

Figura 3 - Eventos melódicos para o primeiro compasso de Anthropology

eventid	melid	onset	pitch	duration	period	division	bar	beat	tatum	subtatum	num	denom
1	6	1 11.55192743764172	58	0.18866213151927	4	1	1	1	1	0	4	4
2	7	1 11.85959183673469	58	0.48181405895692	4	1	1	2	1	0	4	4

Fonte: Autor.

Figura 4 - Acordes para o primeiro compasso de Anthropology.

```

3 select * from beats where melid = 1 and bar = 1

```

beatid	melid	onset	bar	beat	signature	chord	form	bass pitch	chorus id
1	9	11.51412698412698	1	1	4/4	Bb6	A1	42	1
2	10	11.82414965986395	1	2				42	1
3	11	12.12943310657596	1	3		G7		43	1
4	12	12.41478458049887	1	4				43	1

Fonte: Autor.

Já é possível vislumbrar que boa parte do conteúdo musical, a partir da transcrição realizada, pode ser recuperado a partir das informações conforme dispostas na base de dados e serão elas as utilizadas nas análises e modelagens realizadas.

Como será explicado adiante, a indução de modelos a partir de algoritmos de aprendizado de máquina irá se ocupar em gerar regras que descrevam aspectos da relação entre acordes e escalas. Assim, o *corpus* propriamente dito se refere a solos de improvisação do tema Anthropology. Este tema foi escolhido por ser um dos mais tradicionais por sobre os quais se improvisa, além de possuir uma estrutura de acordes bastante usual aos praticantes de jazz. Além disso, é um dos temas que possui mais de um improvisador na base de dados de jazz de Weimar, ligados a estilos, períodos e instrumentos diferentes, o que pode trazer maior riqueza a análise.

Tabela 1 - Temas utilizados como corpus para indução de modelos

melid	performer	title	instrument	style	avgtempo	chorus_count
1	Art Pepper	Anthropology	cl	COOL	218.8	4
78	Chris Potter	Anthropology	ts	POSTBOP	245.3	4
133	Dizzy Gillespie	Anthropology	tp	BEBOP	245.7	1
159	Fats Navarro	Anthropology	tp	BEBOP	300.7	2

Fonte: Autor.

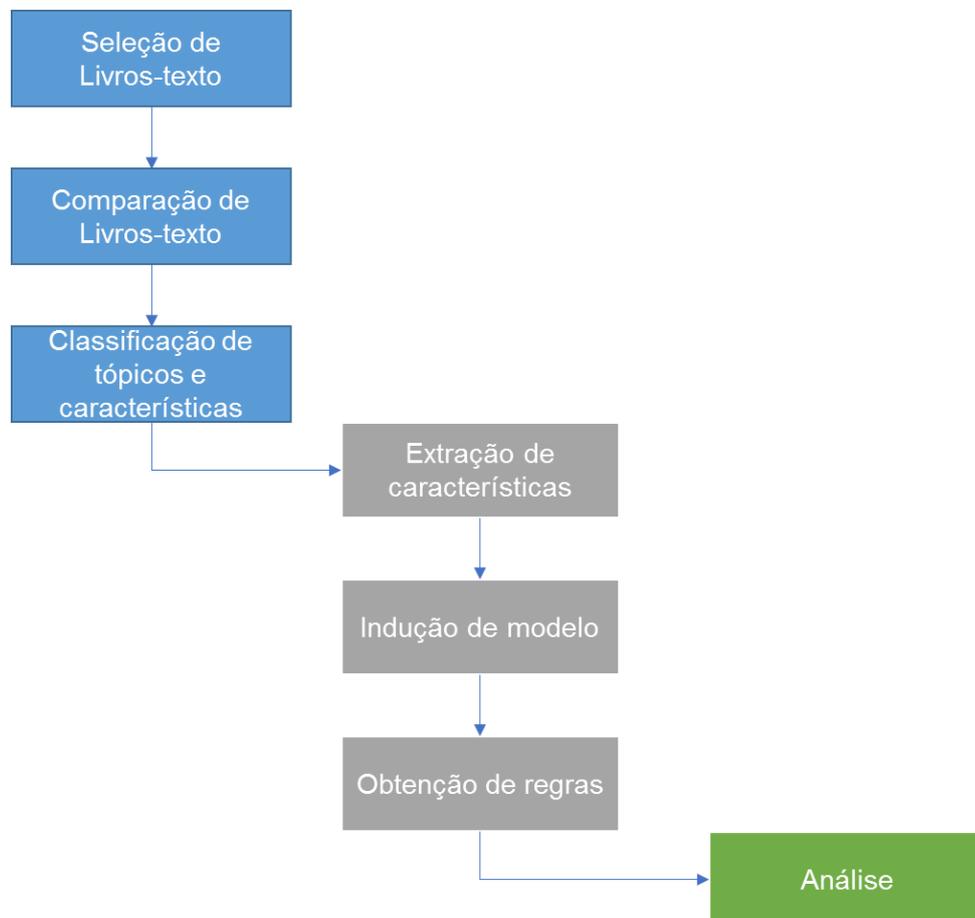
A tabela 1 demonstra os metadados dos temas escolhidos, que foram obtidos na base de dados de jazz de Weimar.

3.2 Métodos

Os métodos a serem aplicados aos materiais descritos anteriormente estão diretamente ligados à natureza dos mesmos e aos objetivos do trabalho.

No que diz respeito a literatura didática da improvisação, foram aplicados métodos de revisão de literatura e análise comparativa. Para a base de dados digital, técnicas de extração de características, modelagem e aprendizado de máquina foram aplicadas. Ao final, aplicou-se métodos de análise estatística e comparativa. Os métodos serão detalhados nos tópicos que seguem.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: Autor.

3.2.1 Revisão da Literatura

A abordagem utilizada para a revisão da literatura foi integrativa, no que diz respeito à seleção do material; e de análise comparativa via estudo de caso, no que se refere ao foco das obras em si.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia adotada para análise de livros-texto



Fonte: Autor.

Os pontos de comparação serão *estrutura* e *conteúdo* dos textos, tendo como base uma adaptação de *frameworks* desenvolvidos para comparação de textos didáticos.

3.2.1.1 Critérios de Seleção da Literatura

Para a seleção da literatura, uma estratégia embasada em revisão integrativa foi conduzida (SNYDER, 2019), uma vez que se lançou mão de critérios qualitativos, e quantitativos, além de análise crítica, para a escolha dos materiais.

Considerou-se inicialmente como critério principal a estrutura curricular de cursos superiores de jazz na América do Norte (palavra-chave de busca, do inglês *syllabus*), de onde proveriam recomendações dos textos-base que têm sido utilizados na formação dos estudantes. Já de antemão, não se encontrou, durante a elaboração da presente pesquisa, uma recomendação generalista sobre os textos-base a serem adotados pelos programas de ensino, como ocorre por exemplo na América do Norte em disciplinas como matemática ou física, onde associações ou organizações comumente elaboram tais diretrizes (CHOI, 2013). Desta forma, pesquisou-se a bibliografia recomendada de forma individual nas páginas dos programas superiores de educação em jazz, a partir da listagem apresentada no catálogo da revista

Downbeat (2020) e no detalhe programático das suas disciplinas, quando disponível. Para encontrar as recomendações bibliográficas, utilizou-se os *websites* disponíveis no catálogo citado como fonte principal de acesso ao conteúdo dos cursos e suas disciplinas, bem como busca no motor Google utilizando o nome da universidade mais palavras-chave “jazz” e “syllabus” ou “literature” ou “textbook” e “bookstore”.

Assim, à princípio adotando uma abordagem sistemática, listou-se em uma tabela os cursos superiores de jazz obtidos na Downbeat (2020), indicando se disponibilizam seu curriculum indicações de texto-base para disciplinas relacionadas com improvisação musical; e, quando não encontrando resultados, buscou-se indicações de literatura até mesmo que não explícita e diretamente ligadas a uma determinada disciplina. Logo chegou-se à conclusão de que a estratégia de realizar a seleção e busca de indicações de forma sistemática deveria ser ajustada e revista, uma vez que as recomendações de literatura não se encontram disponíveis ao público na maioria dos cursos em que se pesquisou. Uma das possíveis causas para este fato seria a de que, em muitos casos, as indicações de literatura estariam restritas apenas aos discentes e docentes dos cursos. Outra hipótese a ser verificada seria a de que existe um movimento para customização dos livros-texto utilizados em sala de aula, tanto para adaptação do conteúdo aos objetivos da classe, quanto para amenizar os já não baixos custos impostos aos estudantes. Mais discussões sobre resultados serão apresentadas adiante.

Desta forma, lançou-se mão de outros critérios, tanto qualitativos quanto quantitativos, o que seria mais próximo a uma abordagem de seleção integrativa (SNYDER, 2019), a fim de elencar livros a serem analisados. Levou-se em conta, assim, a disponibilidade dos materiais e a duração do cronograma proposto para a presente pesquisa, ou seja, custo e tempo. Levou-se em conta também, como aspecto de grande importância, as análises críticas providas pelos artigos previamente consultados, que discorrem sobre a essência dos livros-texto no contexto da pedagogia da improvisação, observando uma semelhança estrutural entre boa parte dos mesmos (PROUTY, 2005; GOLDMAN, 2010; KHOURY, 2017). Encontrou-se na literatura a aplicação de métodos semelhantes, como o utilizado por Hortensia Bernal (2002) ao realizar a seleção e posterior avaliação de livros-texto aplicados em programas educacionais para aprendizado de inglês como língua estrangeira.

Dentre outros, *Jazz Improvisation: A Comprehensive Method for All Musicians* (BAKER, 2005), *The Jazz Theory Book* (LEVINE, 1995) e *How To Improvise, an*

approach to practicing improvisation (CROOK, 1991) são, além de positivamente avaliados pelo público, indicados em classes de improvisação de cursos superiores na América do Norte (Julliard, 2022; University of Northern Iowa, 2022; University of North Texas, 2022) e apresentam uma perspectiva mais abrangente dos temas relacionados ao aprendizado da improvisação, em detrimento de títulos que abordam de forma específica certos tópicos, tais como fraseado ou conteúdo relacionado a instrumentos específicos. Pela relevância que apresentam, tanto por estarem presentes no currículo dos cursos de jazz quanto pela quantidade de citações em trabalhos acadêmicos (David Baker: 196 citações / Hal Crooks: 184 citações / Mark Levine: 634 citações - Google Scholar consultado em 2022), além de estarem prontamente disponíveis ao pesquisador durante a elaboração do trabalho – mesmo porque foram fonte de consulta e embasamento para aprendizado pessoal – estes três volumes serão doravante tomados como referência para a investigação dos principais aspectos técnicos presentes no ensino e aprendizado da improvisação. Uma visão geral sobre a recomendação de literatura pedagógica, bem como as características extraídas deste levantamento bibliográfico serão apresentadas nos capítulos posteriores da pesquisa.

3.2.1.2 *Critérios de Classificação de Tópicos dos Livros-Texto*

Ao tratar de mais de um livro-texto, há de se deparar com suas diferenças. Busca-se então aplicar metodologia que possibilite evidenciar os pontos chaves tratados por estas obras em uma mesma granularidade.

Kevin Watson (2017), realizou uma análise de livros-texto e métodos para instrução de jazz. Em sua pesquisa cinco livros-texto utilizados em cursos na América do Norte foram analisados quanto a seu conteúdo, tendo seus tópicos classificados em categorias instrucionais, embasadas em pesquisas prévias, verificando sua ocorrência de forma quantitativa. Por mais importante que seja, Watson (ibidem) identificou um baixo volume de páginas dedicado a aspectos de construção melódica nas obras analisadas; o foco maior (aproximadamente um terço da quantidade de páginas) foi dedicado à elaboração de arranjos de temas para prática de conjunto. Com relação ao método, verifica-se que o critério de seleção utilizado para a escolha das obras a serem analisadas não possibilitou uma variação satisfatória no que diz

respeito a aspectos importantes, tais como os autores escolhidos (um mesmo autor aparece em quatro das cinco obras analisadas). Também, como esperado, não se encontrou nesta pesquisa uma abordagem que focasse em nivelar especificamente os aspectos técnicos da construção melódica na improvisação com ênfase em estruturar estas informações de forma que a granularidade de tópicos seja comparável com a obtida na análise de dados digitais.

Além disso, conforme Ronghuai Huang et. al. (2022), valores socioculturais são frequentemente difundidos por livros-texto, e um exercício de comparação entre diferentes obras pode prover percepções ricas sobre relações que podem ser muito vastas, abrangendo até mesmo diversos campos do conhecimento, além das conclusões mais óbvias, como seriam as observáveis na esfera estritamente pedagógica. Comparação e análise de livros-texto podem, por exemplo, desvendar as habilidades valorizadas em determinada sociedade, ou então, demonstrar as diferentes visões dos papéis sociais quando relacionados com gênero, idade ou ocupação. Dentro de uma mesma esfera cultural, a comparação de livros-texto pode ser benéfica para se elencar de forma sistematizada as características de diferentes obras e apresentar vantagens e desvantagens de sua utilização em diferentes cenários.

Em se tratando de análise de livros-texto, uma série de métodos foram descritos na literatura e aplicados em pesquisas comparativas. Boa parte destas pesquisas se refere a análise de livros-texto utilizados em disciplinas como as dedicadas ao ensino de línguas. Dentre estes, mais se destacam métodos como o de Ian Mcgrath (2002), que classifica abordagens de análise em *impressionista*, *estruturada (checklist)* e *abrangente (in-depth)*. Também se encontram métodos mais focados na questão da temporalidade da aplicação, como a análise preditiva e retrospectiva, ou *pré-uso*, *em-uso* e *pós-uso* (CUNNINGSWORTH, 1995; ELLIS, 1997; TOMLINSON, 1998), ou na abrangência e foco, como a micro e macro análise (ELLIS, 1997).

O método para comparação de livros-texto elaborada por Ronghuai Huang et al. (2022) provê, de forma mais atômica, um embasamento para elencar os tópicos e regras centrais dos livros-texto propostos. Em sua pesquisa, elencou-se os pontos de comparação relevantes para comparação de livros-texto, que foram utilizados na presente pesquisa, a saber, *estrutura* e *objetivos de aprendizado* dos textos. Existem outros dois pontos de comparação além dos citados; *conteúdo* e *linguagem*. Estes

dois pontos não foram incluídos de forma integral na presente pesquisa pois têm teor menos objetivo que não contribuiria para os objetivos propostos, tendo em mente a análise comparativa a ser realizada posteriormente com as regras extraídas da base de dados digital. Porém foram levados em conta na análise realizada e indicados quando necessário.

A análise de estrutura, de acordo com Huang et al. (2022) leva em conta como as diversas partes que de uma obra são sequenciadas e combinadas e isto influencia tanto a sequência das instruções em aulas, bem como a efetividade do processo de aprendizado. São subindicadores da estrutura: *contagem de páginas e palavras*, que indicarão aspectos referentes à cobertura e ao escopo e do texto; *contagem de ilustrações*, que demonstra o quanto a obra se apoia em aspectos visuais; *organização de capítulo ou unidade*, que se desdobra em contagem de lições e como elas estão organizadas.

Com relação a análise de objetivos de aprendizado de diferentes livros-texto, o tipo de expectativa seria o aspecto principal. Poderiam ser categorizados em: *entendimento de informação básica; entendimento de informação complexa; teorização, análise e resolução de exercícios; entendimento do uso de ferramentas, rotinas procedurais e processos científicos; resolução de problemas do mundo-real*. No domínio da improvisação musical, nem todas estas categorias fariam pleno sentido. Por exemplo, se poderia considerar que a totalidade dos livros-texto tem como seu objetivo principal a resolução de problemas do mundo real, ao mesmo tempo que paradoxalmente neste domínio, o termo “problema” possa ser relativizado. De fato, ao tratar da improvisação musical, há de se lidar com uma prática cuja experiência, em boa parte dos casos, não demanda procedimentos complexos dos pontos de vista físico e logístico, e cujos resultados poderiam ser vivenciados de forma muito mais imediata do que ocorreria ao se tratar um problema em um domínio biológico, como o cirúrgico ortopédico, por exemplo. Sendo assim, as categorias foram utilizadas de forma conveniente com o domínio em que se estuda.

A análise de conteúdo merece menção pois, por sua vez, se refere a como os conteúdos se apresentam ao estudante e como pedagogias específicas a certos conteúdos se realizam na obra. Não se trata de uma análise de abordagem no domínio do conteúdo, mas sim em um nível superior, comum às práticas pedagógicas. São subindicadores: a) *complexidade dos exercícios*, medidos pela quantidade e qualidade no que tange à estratégia de trabalho, cujos esforços cognitivos para

resolução podem se dividir em 6 níveis: *conhecimento procedural, conhecimento conceitual, representação, resolução de problemas, razoabilidade e postulação de problema*; b) *fatores motivacionais*, que podem se embasar em *exemplos, narrativa, notas históricas* ou *biográficas*; c) *eficiência das ilustrações*, que pode ser mensurada por meio de sua capacidade de representação, organização, interpretação e transformação com relação ao texto; d) *uso tecnológico*, que indica qual a extensão do uso técnico da obra, bem como o suporte tecnológico que provê; e) *representação de valores*, podendo tratar de valores *individualistas, coletivistas, tradicionais, religiosos, étnicos* e de *papel social*; por fim, e) *frequência de atualização* também se leva em conta como subindicador.

Comparativamente, outras disciplinas, mais relacionadas às áreas conhecidas como *hard sciences*, por exemplo, matemática, apresentam metodologias bem estabelecidas para avaliação de livros-texto, como é possível verificar na pesquisa de Choi e Park (2013), que aplicaram análise comparativa da educação em geometria entre Estados Unidos e Coréia do Sul no que tange à estrutura curricular, estrutura e itens dos livros-texto. No trabalho verifica-se a aplicação de metodologias embasadas em programas de avaliação de estudos bem sedimentados na área, que abrangem práticas educacionais de forma internacional. Mesmo que não diretamente relacionável com a área do presente trabalho, a pesquisa provê uma base metodológica para estudo de caso e análise de dados que se mostra útil para aplicação em outras áreas. Da mesma forma, a já citada pesquisa de Hortensia Bernal (2002), relacionada com aspectos da educação em idiomas, desenvolve uma abordagem para seleção de livros-texto útil como referência.

Os métodos citados serão utilizados como embasamento para comparar os livros-textos e os resultados de sua aplicação serão descritos mais adiante.

3.2.2 Análise dos Dados Digitais

Aqui a análise de dados digitais refere-se à aplicação de métodos utilizados em aprendizado de máquina e engenharia de características.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia adotada para análise da literatura.



Fonte: Autor

3.2.2.1 *Extração e seleção de características*

O termo *características* aqui é utilizado como tradução ao termo *features* como se encontra na disciplina de *features engineering*, ou, em tradução livre, *engenharia de características*. A disciplina de engenharia de características trata do processo de utilizar conhecimento de específico de um domínio para etiquetar dados em estado bruto, de forma com que deles se obtenha propriedades e atributos e se represente melhor um problema de aprendizado (MOHR; WEVER; HÜLLERMEIER, 2018). As características, de acordo com Pfeleiderer et al. (2017), são essencialmente construções humanas que coordenam relações entre objetos e modelos operacionais que os predizem e descrevem e são especialmente arbitrárias e contingentes no propósito dos modelos científicos. A escolha das características mais adequadas a determinado problema é uma tarefa central, chamada de *seleção de características*.

Tomando como objeto as transcrições da base de dados construída pelo projeto Jazzomat por Pfeleiderer et al. (2017), verifica-se que dados de áudio foram convertidos em dados digitais e etiquetados de acordo com sua qualidade, devido à necessidade intrínseca de armazená-los em um banco de dados relacional, onde, de antemão, as informações são classificadas em colunas. Entretanto, as informações foram etiquetadas no nível mais fundamental, que corresponde diretamente ao que seria o processo de conversão da informação audível para a notação musical na tradição ocidental. A partir deste nível básico de classificação, pode-se realizar mapeamento de outras importantes características (ou descritores) relacionadas a abstrações de nível mais alto.

Neste caso, para que os objetivos propostos sejam atingidos, se faz necessária esta transformação das características imediatamente obtidas no banco de dados das transcrições para um nível mais alto de abstração, especialmente no

que se refere a descritores de contexto, isto é, os que indicam propriedades das notas em relação a outras características da peça em que aparecem. Descritores de intervalos, como a relação nota-acorde utilizada por Giraldo e Ramirez (2016), especificam, de fato, o intervalo de cada nota com relação ao acorde em questão no evento em que se analisa.

Para se obter estas novas características a partir das já existentes são utilizadas operações algorítmicas ou matemáticas. A suíte construída no projeto Jazzomat por Pfeleiderer et al. (2017) apresenta uma *máquina de características* onde a partir das características básicas se obtém novas. Em detrimento a este mecanismo, técnicas de transformação aplicadas diretamente à base de dados, como a construção de visões e algoritmos, foram aplicadas no presente trabalho, tanto devido ao nível de abstração das características alvo, quanto pela simplicidade e flexibilidade do ponto de vista de aplicação.

De modo geral, além da extração, se aplica o processo de seleção de características, ao tratar da aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para problemas de classificação, onde os métodos de filtro e envoltório (do inglês *filter* e *wrapper*, em tradução livre) se mostraram eficazes no domínio harmônico-melódico, conforme demonstrou a pesquisa Giraldo e Ramirez (2016, p.116). Porém, na presente pesquisa, o método de seleção das características se deu por meio de análise dos livros-texto, conforme apresentado anteriormente, justamente devido ao objetivo de verificar o quanto estas características se mostram pertinentes em relação às transcrições digitais – em detrimento de aplicar técnicas de escolha embasadas em, por exemplo, verificação do ganho de informação ou ordenação após a etiquetagem dos dados, o que não impedirá que estes resultados sejam analisados e apresentados posteriormente.

3.2.2.2 Modelagem

O objetivo da aplicação de técnicas de aprendizado de máquina aqui é obter modelos que possam prever e descrever o comportamento melódico dos improvisadores em determinados pontos chave das peças em que executam a prática da improvisação.

O domínio da relação harmônico-melódica apresenta um problema de classificação, onde os valores a serem previstos podem assumir um determinado número de valores discretos, sejam relacionados aos graus da escala que descreve o acorde em questão, sejam indicando se as notas são notas de acorde ou não. Sendo assim, o suposto modelo que descreve o comportamento do improvisador poderia ser induzido a partir de técnicas de aprendizado de máquina que melhor se adequam ao problema da classificação discreta. Conforme a pesquisa de Giraldo e Ramirez (2016, p.120), que comparou desempenho de algoritmos de aprendizado de máquina em problemas de regressão e classificação, o algoritmo embasado na técnica de *árvore de decisão* (tradução livre de *decision tree*) demonstrou maior eficácia e efetividade no citado domínio.

Árvores de decisão podem ser encaradas como funções que mapeiam uma entrada vetorial para uma saída simples ou valor de decisão, que no caso de problemas de classificação é um valor discreto, e funciona a partir da execução de uma sequência de testes com diferentes valores de características. Cada nó da árvore, a princípio, testa um único valor de uma característica para escolha do nó subordinado, e o processo continua até que se alcance um nó definitivo que irá atribuir um valor final de decisão para a instância (AHMED; PAVLU, 2015, p. 2). No âmbito do aprendizado de máquina, o interesse é a indução de uma árvore de decisão ótima a partir de um determinado conjunto de dados de treinamento.

Ainda no estágio de modelagem existe a definição de hiper parâmetros (do inglês *hyperparameters*, em tradução livre), que são específicos do algoritmo escolhido e definem sua operação, como por exemplo, o número de *árvores* em uma *floresta randômica*. Conforme será descrito adiante, de acordo com estratégia metodológica adotada, o estágio de modelagem está intrinsecamente ligado ao estágio de obtenção de regras, sendo que um único algoritmo, embasado em árvore de decisão, foi aplicado para ambos os estágios.

3.2.2.3 Obtenção de regras

Para os problemas de classificação encontrados na relação acorde-escala em improvisação musical foi utilizado um algoritmo de aprendizado de regra. De acordo com descrição obtida em trabalhos relacionados, o algoritmo de aprendizado se

mostra uma escolha conveniente para a presente proposta: este explicita as regras obtidas a partir de um conjunto de dados, de uma forma com que se pode evidenciar algumas questões sobre a escolha e etiquetagem das características (que no presente trabalho são oriundas da revisão dos livros-texto), bem como o nível de autonomia da máquina versus esforço humano para normalizar e selecionar os dados, além de apontar se as conclusões obtidas carregam coerência.

Conforme descrito na seção anterior, algoritmos embasados em *árvore de decisão* se mostraram eficazes em aplicações correlatas à da presente pesquisa, o que direcionou a escolha do algoritmo RIPPER (COHEN, 1995) para a indução e aprendizado de regras. Algoritmos embasados em *árvore de decisão* se utilizam da estratégia de adaptação e simplificação, isto possibilita a criação de uma hipótese formada pela construção de uma *árvore* complexa, que se adapta abrangendo o conjunto de dados, e depois é simplificada por sua eventual “poda”. A origem do algoritmo RIPPER se dá devido à necessidade de aumentar a acuracidade deste processo de simplificação, principalmente em se tratando de conjuntos de dados que apresentam muito “ruído”. Este algoritmo trabalha de forma conveniente em problemas que apresentam classes desbalanceadas – isto é, utilizando um exemplo pertinente ao campo da pesquisa, se o 3º grau de escala for muito mais utilizado no 4º tempo de um compasso que o 5º grau. A qualidade das regras é avaliada por medições heurísticas embasadas em cobertura de dados e acuracidade. Quando uma regra é obtida, as instâncias (aqui se referindo a cada amostra de informação) são isoladas do conjunto de dados e ocorre uma nova iteração para a geração de uma nova regra, até que todas as instâncias sejam percorridas.

Utilizou-se a implementação do algoritmo RIPPER disponível na biblioteca WEKA (HALL et. al., 2019), chamada de JRip. Esta implementação é utilizada em diversos domínios e localidades que demandam modelagem de algoritmos para tarefas de classificação, como, por exemplo, aplicações na medicina diagnóstica, conforme publicação de MELO et al. (2019).

A biblioteca WEKA está disponível em *website* próprio da Universidade de Waikato (Nova Zelândia). A suíte disponível para *download* apresenta diversos algoritmos relacionados a aprendizado de máquina para aplicação. Existem dois objetos de trabalho principais: o primeiro se refere à fonte dos dados utilizados como substratos da análise classificatória e o segundo, ao algoritmo a ser utilizado para tanto.

A fonte de dados é normalmente lida no formato *.arff* (do inglês, *attribute relationship file format*). Neste formato o nome e tipo dos atributos são declarados no início do arquivo a partir do identificador “@ATTRIBUTE”. Os dados propriamente ditos, são declarados em linhas a partir do identificador “@DATA”, apresentando seus atributos separados por ponto e vírgula, na ordem em que foram declarados.

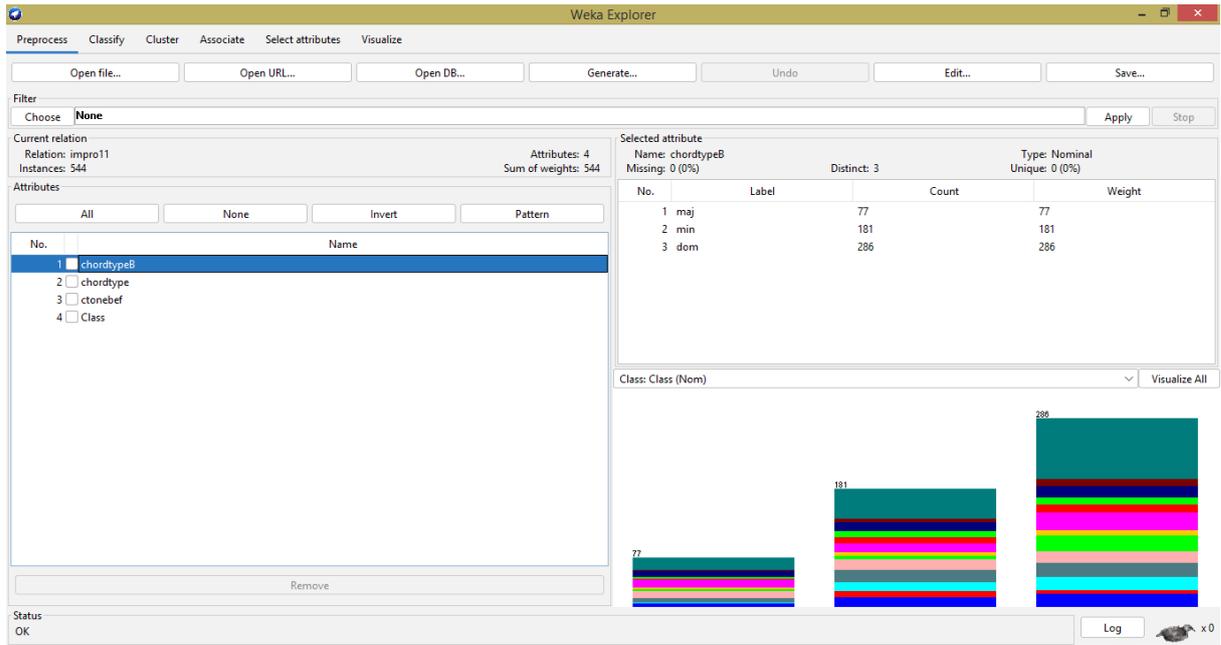
Figura 8 - Exemplo de arquivo com dados para processamento na suíte WEKA.

```
@RELATION house
@ATTRIBUTE houseSize      NUMERIC
@ATTRIBUTE bedrooms      NUMERIC
@ATTRIBUTE sellingPrice  NUMERIC
@DATA
3529,6,800000
500,3,500000
80,2,400000
```

Fonte: Autor.

Ao carregar o arquivo no ambiente WEKA, tem-se a visualização dos atributos conforme figura 9.

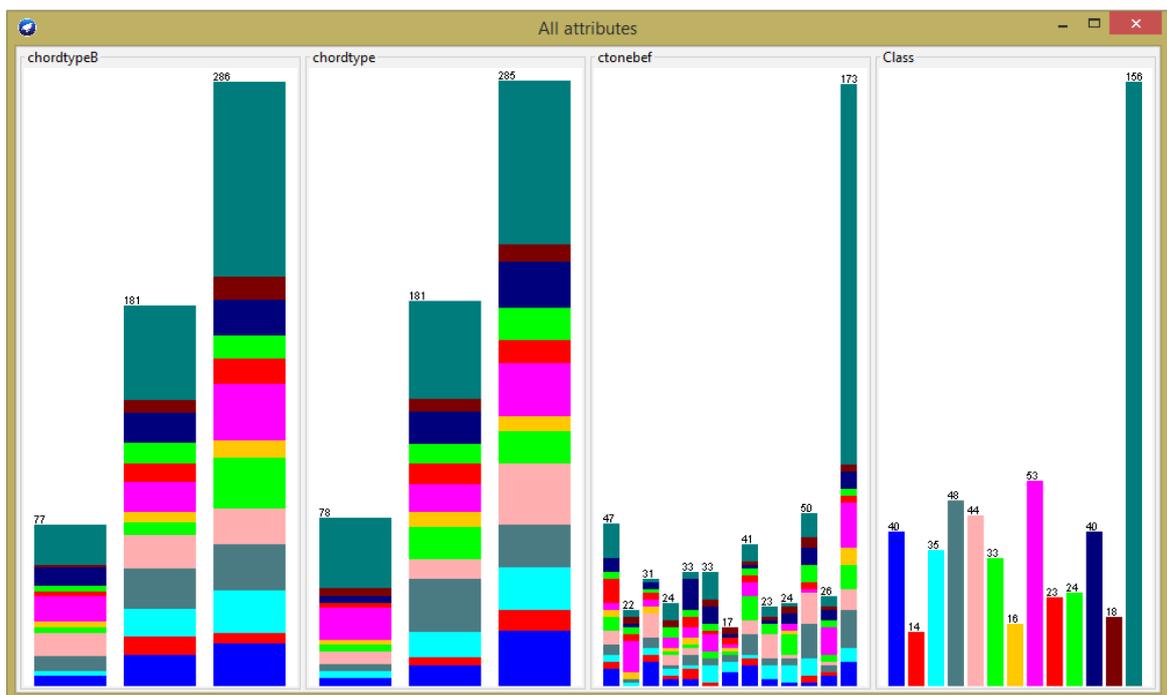
Figura 9 - Corpus utilizado para indução do modelo



Fonte: Autor.

Utilizando a opção “Visualize All” é possível verificar uma distribuição inicial entre os atributos e a relação deles com o atributo “Class”. No exemplo da figura 10, trata-se do intervalo melódico presente após uma mudança de acorde.

Figura 10 - Distribuição estatística de ocorrência dos atributos

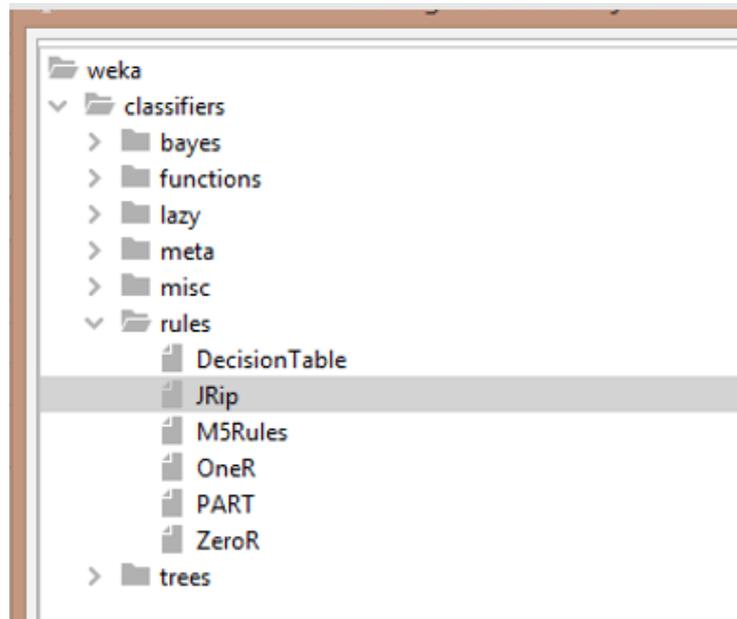


Fonte: Autor.

Já neste ponto é possível notar, de forma visual que, quantitativamente, a utilização de quintas justas é maior que a de segundas menores no *corpus* analisado, por exemplo. Ou então notar uma tendência de sequências entre intervalos de segunda maior e terça maior, bem como que os intervalos de segunda maior têm maior ocorrência em acordes dominantes, o que poderia indicar utilização de frações da escala pentatônica nestas situações.

Para indução do modelo propriamente dito, é utilizada a aba “*Classify*” onde se seleciona um entre os diversos algoritmos de classificação disponíveis. Conforme demonstra a figura 11, o algoritmo JRip está disponível sob o diretório de algoritmos classificadores que se embasam em regras.

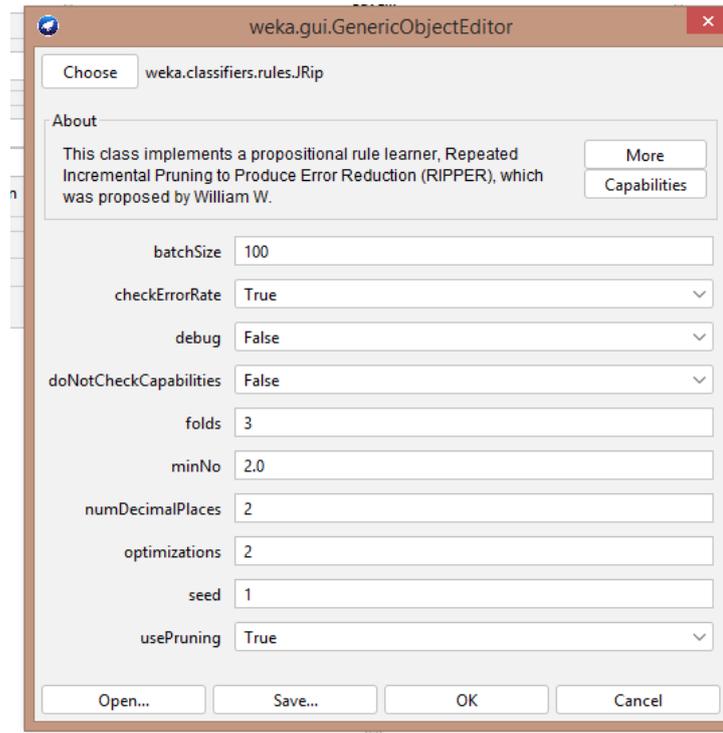
Figura 11 - Algoritmos disponíveis na suíte WEKA



Fonte: Autor.

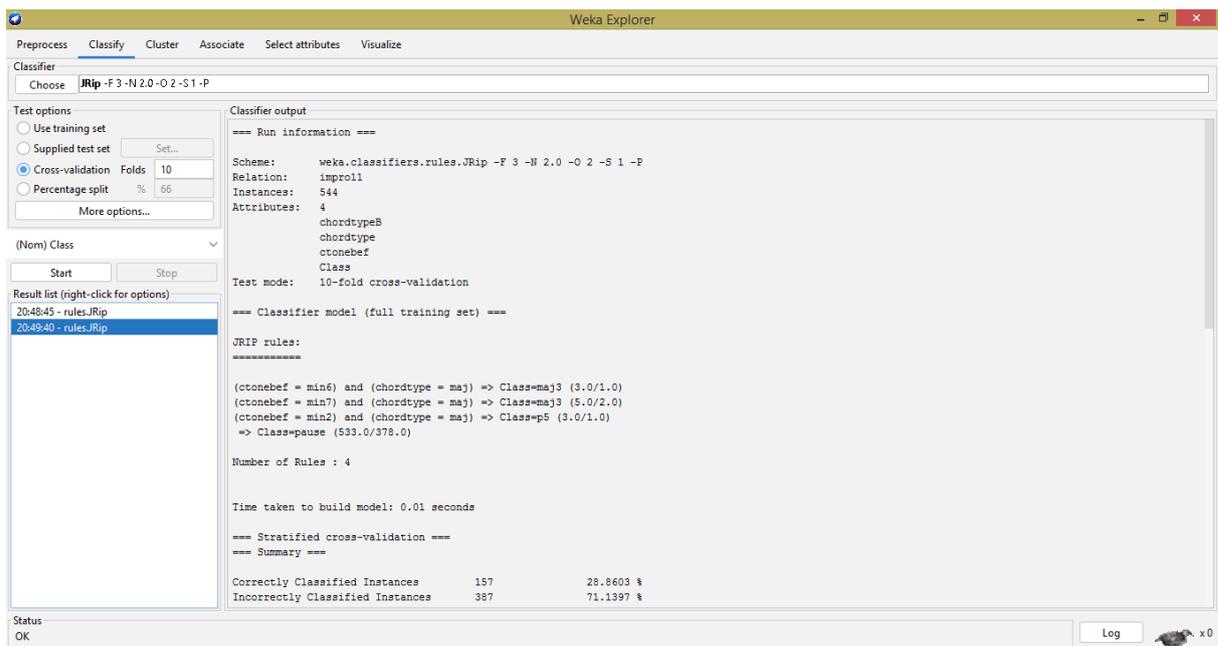
Neste ponto os parâmetros para a modelagem precisam ser especificados, conforme figura 12. Estes parâmetros se referem ao algoritmo escolhido e influenciam os resultados da inferência a ser realizada. Após a definição dos parâmetros, a escolha da opção “Start” dá início a execução da classificação. A lista de execuções realizadas é exibida ao lado esquerdo e o relatório com os resultados é exibido à direita, conforme possível ver na figura 13. É possível também verificar que tanto os parâmetros quanto as regras que resultaram da aplicação do algoritmo ficam disponíveis neste relatório.

Figura 12 - Hiper parâmetros de uma implementação JRIP na suíte WEKA



Fonte: Autor.

Figura 13 - Tela de resultados da indução de modelos na suíte WEKA



Fonte: Autor.

3.2.3 Análise estatística e avaliação de modelos

Para análise estatística, avaliação e comparação, se busca utilizar indicadores que possam apontar a acurácia dos modelos induzidos e seu desempenho na tarefa a que se propõem executar: classificar um conjunto de dados corretamente. Aqui serão utilizados indicadores de percentual de erros e acertos, taxas de verdadeiro e falso positivo e coeficiente de Kappa, semelhantemente ao que se encontra em pesquisas relacionadas.

Para além dos indicadores de percentual de erros e acertos, os quais dispensam maiores apresentações, os indicadores de sensibilidade como verdadeiro e falso positivo são derivados de uma matriz de confusão, e apontam se as predições realizadas com a aplicação do modelo de classificação são corretas ou incorretas, sendo *verdadeiro positivo* um resultado da classe positiva previsto corretamente pelo modelo e *falso positivo* um resultado em que o modelo prevê incorretamente a classe positiva. Sendo classe positiva neste caso a ocorrência do fato que se analisa em detrimento de uma possível não-ocorrência, que seria a classe negativa.

De acordo com Suzana Vieira et al. (2010) O coeficiente Kappa, conhecido também como Kappa de Cohen, é um coeficiente que, originalmente, foi criado para medir o grau de concordância entre diferentes avaliadores do mesmo fenômeno relacionando-o à probabilidade hipotética de concordância entre eles. Historicamente, foi utilizado em um primeiro momento nas ciências sociais, biológicas, médicas e posteriormente adaptado para aplicações de seleção de características em aprendizado de máquina. O coeficiente introduziu a contabilidade de concordância ocorrida por acaso, sendo considerado assim mais robusto pela comunidade científica para utilização como indicador de acurácia em aplicações de modelagem de dados.

Assim, com a utilização destes indicadores busca-se avaliar a acurácia dos modelos de forma quantitativa, tanto na comparação os modelos gerados durante a execução da pesquisa, quanto com modelos induzidos em outras pesquisas relacionadas.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos após a aplicação dos métodos pertinentes aos materiais escolhidos, como indicado previamente.

4.1 Tópicos relevantes dos livros-texto

Aqui serão elencados os tópicos relevantes para o aprendizado da improvisação musical na linguagem do jazz a partir da análise das seguintes obras:

- I. *How To Improvise, an approach to practicing improvisation* (CROOK, 1991);
- II. *The Jazz Theory Book* (LEVINE, 1995);
- III. *Jazz Improvisation: A Comprehensive Method for All Musicians* (BAKER, 2005);

Tem-se em conta a metodologia apresentada por Huang et al. (2022) e outras fontes metodológicas que realizaram análise relacionada, conforme citado no capítulo anterior. Para facilitar a descrição, as obras serão identificadas também nas planilhas com os numerais I, II e III, na ordem em que foram apresentadas.

Conforme indicado anteriormente, buscou-se à princípio aplicar uma abordagem sistemática de seleção bibliográfica dos livros-texto a serem analisados. Esta abordagem se mostrou inviável devido à falta de centralidade na indicação de livros-texto utilizados na prática pedagógica da improvisação musical e às limitações de tempo impostas à pesquisa. Por mais que os programas de ensino estejam catalogados, como encontra-se em Downbeat (2020), verificou-se uma tendência de customização no que diz respeito a adesão aos materiais de apoio e literatura nas classes de improvisação. Indica-se a seguir, na tabela 2, os resultados da pesquisa realizada em páginas eletrônicas de programas de ensino, elencados a partir de Downbeat (idem).

Considerou-se para esta primeira abordagem uma varredura inicial dos programas em diferentes regiões da América do Norte, tendo como alvo instituições de ensino que possuem alguma reputação internacional e programas conhecidos, para que se pudesse verificar os resultados obtidos, e então ajustar a abordagem nos passos subsequentes, verificando a sustentabilidade da abordagem.

Tabela 2 - Indicação de livros-texto em cursos superiores de improvisação

Instituição	Região (US)	Indicação livro-texto explícita?	Indicação não-implícita	Observação	Website	Autor			
						Baker	Levine	Crook	Outros
Berklee College of Music	Leste	Não	Sim	Indica website da livreria da universidade	https://berklee.com/music/improvisation/				X
Brooklyn College, Conservatory of music	Leste	Sim	Sim	Não se aplica a todas as disciplinas	https://brooklyn.textbooks.com/institutional/?action=browse#books/3277536/				X
The Julliard School	Leste	Não	Sim	Indica website da livreria da universidade	https://julliardstore.com/collections/jazz-books		X		X
Manhattan School of Music	Leste	Não	Não						
The College of Saint Rose	Leste	Não	Não	Indica alternativas	https://library.strose.edu/textbookalternatives				
New England Conservatory	Leste	Não	Não	Indica um website externo para aquisição de títulos onde se encontra, entre outros, Abersold, Baker, etc.	https://endeavor.flo.org/web/web/searchBasic?sk=en_US	X			
Princeton University	Leste	Não	Sim	Indica website da editora da universidade, mas não há ligação direta com as disciplinas ofertadas	https://press.princeton.edu/books				X
Loyola University, New Orleans	Sul	Não	Não		http://cmm.loyola.edu/jazz				
Texas State University	Sul	Não	Não		https://www.txst.edu/jazzstudies/				
University of Louisville, Jamey Abersold Jazz Studies Program	Sul	Não	Sim	Indica website da livreria da universidade	https://library.louisville.edu/music/home	X	X	X	
University of Texas at Austin, Butler School of Music	Sul	Não	Sim	Indica website da livreria Petrucci, contém partituras e outros recursos	https://imslp.org/wiki/Main_Page				X
Indiana University, Jacobs School of Music	Meio-oeste	Sim	Sim	Indica website da livreria da universidade. Existe uma bibliotecária dedicada e algumas disciplinas possuem indicações.	https://bulletins.iu.edu/iub/music/2022-2023/undergraduate/music-degrees/jazz-studies.html?_ga=2.143241712.499348932.1667049743-281786546.1664060727 https://guides.libraries.indiana.edu/prf.php?account_id=96813	X	X		X
University of Northern Iowa	Meio-oeste	Sim	Sim	Possui indicação nas disciplinas	https://www.msmyc.edu/programs/jazz-arts/plan-of-study/			X	
California Jazz Conservatory	Oeste	Sim	Sim	Indicação apenas para algumas disciplinas - Mark Levine foi docente	https://cjc.edu/about-the-cjc-2/books-records/class-textbooks/				X
California State University, Fresno	Oeste	Sim	Sim	Existe uma bibliotecária dedicada para livros sobre música, bem como indicações por disciplina e mais gerais (ex.: Hear me talking to ya)	https://libguides.csun.edu/mus https://libguides.csun.edu/mus306 https://csu-ir.librarygroup.com/discovery/search?query=sub_exact:jazz_AND%5Bfilter%5D%3Eexact_books_AND%5Btab%3ELibraryCatalog&search_scope=MVinst_and_CI&sortbyrank&vid=01CAL5_UNO:01CAL5_UNO&mode=advanced&offset=30	X			X
Stanford University	Oeste	Não	Sim	Possui página da biblioteca mas apenas para esclarecer funcionamento da parte física, consulta não disponível para público geral.	https://library.stanford.edu/libraries/music/about				X

Fonte: Autor

Muitos programas realizam a indicação da página da biblioteca da instituição de ensino, onde se encontra um extenso catálogo de títulos e livros-texto, mas, na grande maioria dos casos, não há indicação explícita dos materiais utilizados na prática pedagógica e, caso exista, uma minoria o faz de maneira sistemática, ou seja, para todas as disciplinas. Isto não significa que esta indicação não ocorra na prática, mas que não é necessariamente disponibilizada ao público geral. Entretanto, a maioria dos programas disponibiliza para o público em geral as disciplinas que os compõem e seu conteúdo programático, o que reforçaria a ideia de que existe uma tendência de customização e apelo a liberalidade do instrutor para indicação de literatura e materiais de apoio. A nota encontrada na página da instituição *The College of Saint Rose* indica que a estratégia de não indicar explicitamente os livros-texto para cada disciplina está alinhada com a intenção de não onerar os estudantes com os altos

custos relacionados a aquisição de materiais, que, em sentido amplo, nem seriam necessariamente utilizados em sua totalidade durante os cursos.

De certa forma, mesmo que não explicitamente relacionadas a cada disciplina, os três autores, como também, em alguns casos, as obras sujeitas a análise na presente pesquisa, foram encontrados no catálogo indicado pelas bibliotecas na maioria das instituições pesquisadas.

4.1.1 Análise estrutural

Focou-se na análise estrutural a partir de dois subindicadores, avaliados como relevantes para a pesquisa: contagem de páginas e organização. A partir destes é possível verificar a granularidade de tópicos e a profundidade com que são abordados nas obras.

A tabela 3 indica a quantidade de páginas das obras analisadas. Verifica-se que as obras I e III possuem uma maior proximidade com relação a este quesito, já a obra II apresenta mais do que o dobro do número de páginas comparando-a com as citadas.

Tabela 3 - Número de páginas das obras analisadas

Obra	Número de Páginas
I	185
II	522
III	132

Fonte: Autor

Com relação a organização dos capítulos, verifica-se que, independentemente da diferença de volume no que diz respeito à quantidade de páginas, há uma macro organização semelhante entre as obras I e II no que diz respeito à quantidade de seções. Entretanto, a obra I utiliza esta organização de forma bastante particular, na qual as seções são sequenciadas com a finalidade de fazer com que o estudante possa trilhar uma jornada de aprendizado, levando em conta a

importância e a subordinação entre os pré-requisitos para aquisição de conhecimento na prática da improvisação. A obra II divide suas seções com maior interesse na organização e classificação dos assuntos em suas diferentes categorias. A obra III se aproxima da obra I no que diz respeito a ordenação dos capítulos, pois foca principalmente na jornada de aprendizado e seus pré-requisitos, mais do que sua organização e classificação.

Tabela 4 - Macro organização dos livros-texto analisados

Obra	Nível	Nome da organização	Quantidade
I	1º	Seções	5
I	2º	Tópicos	22
II	1º	Partes	5
II	2º	Capítulos	24
III	Único	Capítulos	20

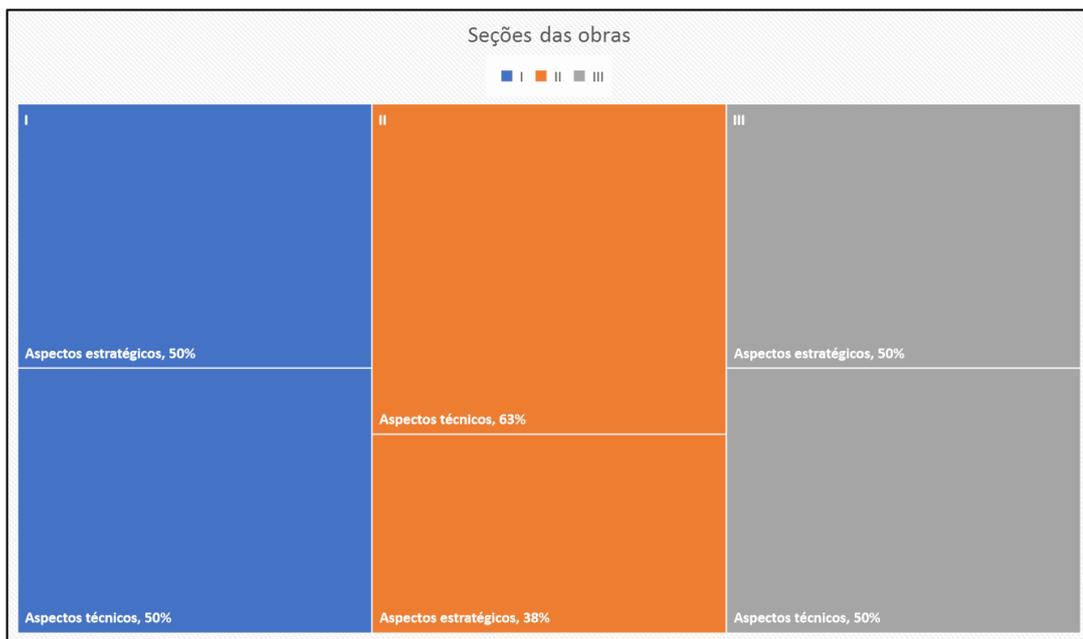
Fonte: Autor.

As divergências estruturais poderiam indicar que há diferenças na granularidade e profundidade na abordagem dos tópicos. De fato, o que se revela como maior diferença entre as obras é a questão da profundidade em que se destrincha os assuntos. A obra II apresenta uma extensa coleção de exemplos e citações de trechos de improvisações, o que não se percebe nas outras obras analisadas. Esta coleção de exemplos, ao mesmo tempo que aprofunda a discussão nos tópicos apresentados, adiciona volume à obra, diluindo de certa forma a objetividade das lições, como observado nas demais. Para efeito de comparações entre as obras, se utilizará o segundo nível das obras I e II, para que se tenha uma granularidade mais próxima no que diz respeito a teor e grandeza numérica.

Com relação à classificação das seções de cada obra, o gráfico 1 busca agrupá-las de acordo com seu objetivo. Assim, seriam voltados a aspectos estratégicos da improvisação musical os tópicos que se dedicam às questões de motivação: “como”, “quando” e “por que”; versus os tópicos relacionados à aspectos musicais estritamente técnicos, dedicados à apresentação e explicação do “que” se toca, e que não são primordialmente relacionados à improvisação musical e poderiam ser encontrados nas páginas de obras relacionadas à teoria musical de forma geral.

Não foram consideradas seções relacionadas a aspectos meta-instrucionais, como prefácios, por exemplo. Assim, conforme possível visualizar pelo gráfico 1, verifica-se um equilíbrio de abordagens das obras, principalmente comparando-se as obras I e III. Já a obra II dedica a maior parte de suas seções a aspectos técnicos, em detrimento dos estratégicos, o que já poderia de certa forma ser esperado, dado seu título.

Gráfico 1 - Abordagem de aspectos estratégicos versus técnicos nas obras



Fonte: Autor.

Apesar de não terem sido contabilizadas, é possível verificar que as obras não disponibilizam imagens, ou qualquer tipo de esquema e gráfico que não sejam os pentagramas de notação musical, demonstrando uma abordagem uniforme também no que diz respeito ao conteúdo e organização visual.

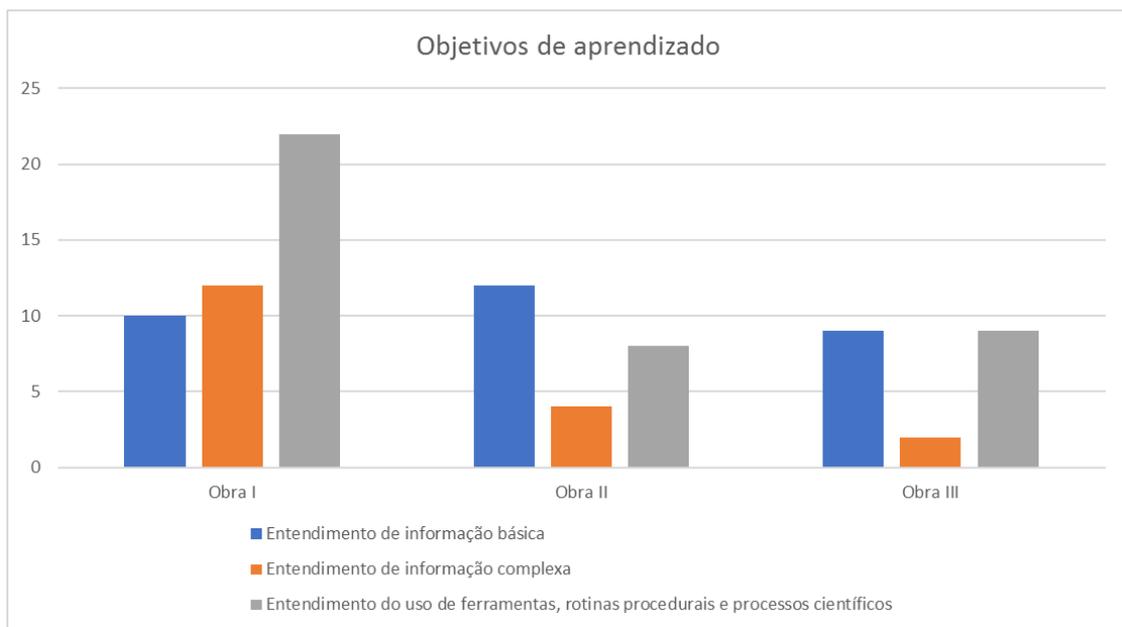
4.1.2 Análise de objetivos de aprendizado

De acordo com Huang et al. (2022), o tipo de expectativa seria o aspecto principal ao considerar a análise de objetivos de aprendizado de diferentes livros-texto. Poderiam ser categorizados em: entendimento de informação básica; entendimento de informação complexa; teorização, análise e resolução de exercícios;

entendimento do uso de ferramentas, rotinas procedurais e processos científicos; resolução de problemas do mundo-real.

Como apresentado anteriormente, no domínio da improvisação musical, nem todas estas categorias fariam pleno sentido. Sendo assim, foram utilizadas de forma conveniente com o domínio que se estuda aqui, onde, à semelhança das outras classificações, cada capítulo foi identificado à categoria que representa a seu objetivo preponderante.

Gráfico 2 - Objetivos de aprendizado versus quantidade de seções



Fonte: Autor.

As categorias de *Entendimento de informação (básica e complexa)* e *Entendimento do uso de ferramentas, rotinas procedurais [...]*, da forma em que foram consideradas neste estudo, remetem às categorias estruturais de abordagem técnica e estratégica, respectivamente. Ou seja, informações técnicas não relacionadas de forma primordial com a prática da improvisação musical em si poderiam ser consideradas como explicação de informações (básicas e complexas, a depender do nível do estudante), e as relacionadas com estratégias consideradas como questões procedurais. Aqui, as classificações de básico e avançado se embasam nas perspectivas de Crook (1991), que classifica os tópicos como básicos e essenciais à prática da improvisação, e outros como avançados.

Verifica-se então um outro ponto comum nas obras analisadas, que apresentam um nível teórico essencial, relacionando-as com obras situadas na tradição da teoria musical ocidental, e um segundo nível estratégico, voltado à improvisação em si, construindo assim uma ponte, que ligaria o substrato da teoria musical com um resultado almejado, já na esfera estilística da música improvisada. No que diz respeito aos casos analisados, a obra I é a que apresenta mais conteúdo relacionado com aplicações de procedimentos, o que também é reflexo do título da obra. As outras obras apresentam certa uniformidade neste quesito.

4.1.3 Análise de conteúdo: tópicos relevantes

Nesta seção se busca elencar os tópicos relevantes ao domínio da música improvisada encontrados nas obras analisadas. Isto permitirá, principalmente, satisfazer o objetivo de elaborar as interseções entre os assuntos abordados nos materiais relacionados à prática pedagógica tradicional e àquilo que se encontra nas transcrições digitais dos solos de improvisos, direcionando a análise deste material e as discussões finais.

De forma geral, verifica-se que as abordagens analisadas aplicam um olhar bastante uniforme, caracterizando aspectos da performance da improvisação a partir de uma linguagem embasada em termos provenientes da música tradicional europeia do século XVIII, principalmente. Elas tratam de e em termos derivados da ontologia da música tradicional e da harmonia funcional, como escalas, acordes, formas, texturas, dinâmicas, ritmos, movimentos melódicos, progressões harmônicas e outros. De forma mais específica, além de apresentar os elementos em si, o interesse reside em apresentar estratégias de improvisação e de como aplicá-las em um contexto prático.

Na obra de Mark Levine (1995) há uma seção inteira dedicada a técnica *Voice-Leading* no capítulo que trata da escala maior e progressão II-V-I (ibidem, p. 22) e um capítulo todo dedicado a relação entre acordes e escalas (ibidem, p. 31), conceitos utilizados recorrentemente durante a obra toda. Sobre *Voice-Leading* lê-se (em tradução nossa) literalmente “Voice-Leading é a direção em que uma nota particular quer ir. É quase como se houvesse uma força gravitacional ou magnética na 7ª [do acorde], forçando a resolução meio tom abaixo[...]” (ibidem, p. 22).

Hal Crook (1991) descreve de forma consistente as relações entre acordes e escalas em diferentes pontos de sua obra, onde se destacam capítulos que tratam de temas como notas não-harmônicas (ibidem, p. 37), notas guia (ibidem, p. 48), escalas de acorde (ibidem, p. 53), solos com notas de acorde (ibidem, p. 78), bem como aspectos da técnica *voice-leading*, por exemplo, ao explicar o movimento melódico na mudança de acorde (ibidem, p.43) e expansões e contrações de acorde (ibidem, p. 133). Durante a explicação de relações sobre notas de melodia não-harmônicas e harmônicas, lê-se literalmente (em tradução nossa):

Notas não-harmônicas requerem resolução (na maioria dos casos) quando usadas na melodia [...] A resolução preferível, por causa de força e suavidade, é meio-tom abaixo ou acima para uma tonalidade “concordável” [...] são possíveis casos em que a nota não-harmônica é diatônica à escala do acorde (por exemplo, a 4ª justa em um acorde maior pode resolver um tom acima para a 5ª justa se a 4ª justa for diatônica à escala maior do acorde. (ibidem, p. 37).

Mais adiante, lê-se sobre movimento melódico no ponto em que ocorre mudança de acorde (em tradução nossa):

Este tópico lida com treinamento da mente e do ouvido para guiar o movimento melódico durante a mudança de acorde [...] com o salto harmônico, [...] a atenção é direcionada para as notas em ambos os lados do salto; quanto maior o salto, maior a atenção [...] com mudança de acorde, a atenção é direcionada tanto para o acorde do momento quanto para o próximo acorde; quanto mais harmonicamente colorida a mudança, maior a atenção. Independentemente de ambas as ações acontecerem simultaneamente na música, [...] atenção extra é atraída [...]. Como resultado [...] o ouvido mental tem uma forte tendência de reter ou lembrar [...] a tonalidade da nota saltada enquanto o próximo acorde é tocado. (ibidem, p. 43).

E continua adiante “Se a nota no ponto da mudança de acorde é uma tonalidade não-harmônica [...] no acorde do momento ou no próximo, ela deveria resolver [...] preferencialmente por meio tom, para o próximo acorde.” (ibidem, p. 44,).

Em uma etapa bastante inicial de sua obra, David Baker (2005) indica três abordagens possíveis para improvisação no jazz; a primeira seria escalar, a segunda cordal e a terceira embasada na utilização de padrões; todas lançam mão das relações entre linhas horizontais ou melódicas e estruturas verticais ou acordes. Há ainda indicação de notas a serem evitadas durante a aplicação das abordagens, como o 4º grau da escala. Em um ponto mais avançado, onde aborda técnicas para comunicação em um solo improvisado, Baker explica conceitos como expectativa e

notas de resolução (ibidem), em termos similares ao que se encontra na técnica *voice-leading*.

Assim, temas encontrados e explorados nas três obras analisadas são a relação entre acordes e escalas e desdobramentos, como a abordagem conhecida como *Voice-Leading*, Encadeamento de Acordes, Resolução Harmônica ou Movimento Melódico, termos cunhados para caracterizar elementos da harmonia funcional e tradicional, utilizados também para explicar técnicas a serem exploradas na música improvisada. De forma geral, estes termos aparecem na literatura para significar o movimento entre acordes e suas vozes internas (DOS SANTOS, 2017). No contexto da improvisação, a linha melódica executada pelo solista é considerada como uma destas vozes que se sobrepõe relativamente a um acorde de acompanhamento, comumente executado por um instrumento “harmônico” como o piano ou guitarra. Assim, mesmo não sistematicamente, pode-se afirmar que escolhas melódicas em práticas de improvisação deveriam seguir certas premissas como as citadas neste tópico e espera-se que, a partir da indução de modelos embasados em dados dos solos improvisados, sejam confirmadas pelas regras extraídas adiante.

4.2 Características e regras relevantes da base digital

Conforme posto anteriormente, a base digital explorada foi a disponibilizada pelo projeto Jazzomat (PFLEIDERER et al., 2017), a base de dados de jazz de Weimar, que provê dados sobre improvisos de jazz em um banco de dados relacional.

Os detalhes da manipulação destes dados e sua utilização para indução de modelos serão descritos nas seções que se seguem. Devido ao escopo da pesquisa, a indução de modelos é focada na técnica de resolução harmônica e relação entre acordes e escalas.

4.2.1 Atributos

O termo “atributos”, neste momento, refere-se a etiquetas que são adotadas para classificação dos dados encontrados em formato digital, fazendo com que se apresentem como informação relevante no domínio em que se infere. Existem iniciativas que buscam formalizar e criar ontologias relacionadas à improvisação,

sendo a ontologia de jazz (CRAYENCOUR et al., 2022) possivelmente a iniciativa mais específica relacionada ao domínio em questão. Nesta encontram-se metadados sobre a improvisação de jazz, propriedades e relações que, principalmente, situam a obra de improvisação no domínio musical, provendo, portanto, um modelo semântico que contém informações relacionadas a autoria, estilo e cronologia das obras.

Já que a presente pesquisa se ocupa de informações ligadas a aspectos melódicos e harmônicos da obra de improvisação e suas relações, os atributos que dão forma a estes aspectos são os encontrados nos livros-texto citados nas seções prévias. Nota-se que, conforme dispostos na base de jazz de Weimar, os dados apresentam significado semântico mais “elementar” no domínio musical, que remete à sintaxe musical e seus elementos discretos. Ao extrair informações da base digital, tem-se acesso aos seguintes atributos relevantes ao aspecto melódico-harmônico de forma imediata:

- Compasso
- Acorde
- Tempo (*beat*)
- Nota/Tonalidade

Estes atributos, de forma imediata, pouco informam sobre estratégias e comportamentos utilizados durante uma obra de improvisação, ainda mais em domínios com definidas estruturas estilísticas como as encontradas no jazz. Desta forma, apreende-se daí uma necessidade de “anotar” as informações de forma com que elas apreendam maior significado e possam ser utilizadas como matéria-prima para indução de modelos computacionais no domínio em questão.

Tomando como objeto de investigação a técnica *voice leading*, bem como a relação escala-acorde, é possível obter requisitos para uma nova anotação que traga maior significado aos dados. A distinção da técnica citada depende principalmente da relação tonal entre intervalos melódicos e temporalidade. Além disso, abstrações como graus e tipos de acordes podem melhor explicar sua ocorrência.

Assim, agregou-se por meio da transformação de características, novos atributos que pudessem explicitar tais significados. Por exemplo:

Acorde → Grau

Acorde → Tipo de acorde

Acorde + Tempo → Mudança de acorde

Nota/Tonalidade + Tempo → Intervalo anterior/posterior

Esta transformação é realizada algoritmicamente e, portanto, pode ser implementada de muitas formas diferentes. Para aproveitar o formato disponibilizado, os recursos disponíveis e imprimir agilidade na execução, na presente pesquisa estes algoritmos foram implementados a partir da extração do corpus em formato .csv e aplicação de fórmulas em planilha eletrônica. Certamente estes algoritmos poderiam ser adaptados de forma a apresentar maior escalabilidade e flexibilidade, porém como a transformação de atributos não se apresenta como objetivo final aqui, opção foi feita tendo a agilidade como requisito mais importante.

Desta forma, foi construída uma camada semântica “superior” a encontrada na base digital de forma imediata. Para a indução dos modelos referente a técnica *voice leading*, foram utilizados os atributos listados na tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre modelos e atributos

Nome	Descrição	Valores possíveis	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
beat	Unidade de tempo como subdivisão do compasso	numérico (no caso 1 a 4)	X	X			
chordchange	Indica mudança de acorde no tempo que se analisa	true, false	X	X			
chordtype	Tipo de acorde no tempo em que se analisa	maj, min, dom	X	X	X		X
chordtypeB	Tipo de acorde no tempo anterior ao que se analisa	maj, min, dom					
Class	Objeto da comparação. Nos casos estudados, se refere a classe de intervalo ou se a nota é relacionada ou não ao acorde que a acompanha	intervalo {t,min2,maj2[...] } ou nota de acorde {true,false}	X	X	X	X	X
ctonebef	Intervalo da melodia em relação ao acorde anterior	t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause					X
degree	Grau do acorde em relação ao centro tonal	I/V7/IV,I,V7/IV,II7,II,III7,III,IV,V7,II/IV,V7/III,VI	X	X			
event	Ocorrência de evento musical conforme anotação da base de dados de jazz de Weimar. Pode ser uma frase, um lick ou outro evento musical	expressive,finish-expressive,finish-fragment,finish-lick,finish-line,finish-melody,finish-none,finish-quote,fragment,lick,line,melody,none,quote,start-expressive,start-fragment,start-lick,start-line,start-melody,start-quote				X	X
interaft	Intervalo no tempo posterior ao que se analisa	t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause			X		
interbef	Intervalo no tempo anterior ao que se analisa	t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause	X	X	X	X	
interval	Intervalo no tempo em que se analisa	t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause			X	X	

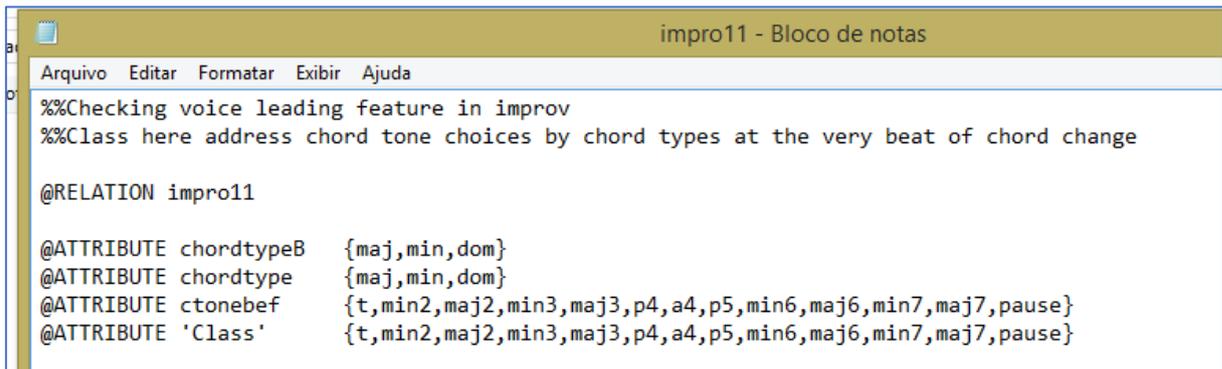
Fonte: Autor.

Conforme será explicado adiante, foram induzidos 5 modelos distintos, que se utilizaram dos atributos conforme indicado na tabela 5. As suas características, bem como o processo para indução e as regras obtidas serão descritos a partir da próxima seção.

4.2.2 Modelagem

Para que os modelos fossem induzidos, foi necessário formatar os dados em um arquivo .ARFF. Conforme já explicado em seções anteriores, este arquivo é composto de um cabeçalho, onde ocorre a declaração dos atributos, e do *corpus*, que se referem ao conjunto de dados em si.

Figura 14 - Cabeçalho do arquivo .ARFF



```

impro11 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
%%Checking voice leading feature in improv
%%Class here address chord tone choices by chord types at the very beat of chord change

@RELATION impro11

@ATTRIBUTE chordtypeB {maj,min,dom}
@ATTRIBUTE chordtype {maj,min,dom}
@ATTRIBUTE ctonebef {t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause}
@ATTRIBUTE 'Class' {t,min2,maj2,min3,maj3,p4,a4,p5,min6,maj6,min7,maj7,pause}

```

Fonte: Autor.

Na declaração dos atributos também se leva em conta os valores possíveis para cada um deles. Após a declaração, segue o *corpus* com o conjunto de dados.

Figura 15 - Indicação do *corpus* utilizado para indução dos modelos no arquivo



```

impro11 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
@DATA
|dom,maj,pause,p5
maj,dom,t,pause
dom,min,pause,pause
min,dom,pause,pause
dom,maj,pause,pause
maj,min,pause,p5
min,min,p4,min7
min,dom,min7,min6
dom,min,p4,p5
min,dom,p4,min7
dom,dom,maj7,p5
dom,dom,p5,p4
dom,min,a4,min6
min,dom,min6,min3
dom,min,pause,pause
min,dom,pause,pause
dom,maj,pause,p5
maj,dom,maj2,maj3
dom,min,pause,t
min,dom,p5,maj3
dom,maj,pause,pause
maj,min,pause,p5

```

Fonte: Autor.

O corpus, conforme também explicitado em seções anteriores, se refere ao tema “Anthropology” na interpretação de 4 artistas diferentes. A partir deste, foram induzidos 5 modelos distintos, todos relacionados com a técnica de resolução harmônica, encontrada nos livros-texto analisados em seções anteriores.

Tabela 6 - Modelos induzidos e seus parâmetros

Hiper parametro	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Folds	3	3	3	3	3
minNo	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Optimizations	2	2	2	2	2
Seed	1	1	1	1	1
Pruing	On	On	On	On	Off
Tamanho do lote	731	2184	544	2184	325
Qtd. Atributos	6	6	6	4	4

Fonte: Autor.

O primeiro modelo visou induzir regras que descrevessem a relação entre o intervalo da nota da melodia e o acorde que a acompanhava (tipo e grau), o intervalo da melodia imediatamente anterior, bem como o tempo no compasso em que esta relação se dava.

De forma análoga, o segundo modelo também teve por objetivo induzir regras que descrevessem a relação entre os mesmos parâmetros do primeiro modelo, a diferença foi o número de instâncias, pois neste caso se considerou os dados das 4 diferentes improvisações do tema Anthropology, sendo que o modelo 1 se ocupou apenas da improvisação performada por Art Pepper.

O terceiro modelo agregou diferentes parâmetros a serem relacionados, e a variável dependente também mudou. O objeto de classificação neste caso é a ocorrência de “notas de acorde” (DOS SANTOS, 2017), que são as notas que se relacionam diretamente com os graus do acorde que as acompanha. Os parâmetros foram os intervalos anterior, posterior e atual (considerando a linha melódica); o tipo de acorde e a ocorrência de eventos. Tais eventos foram anotados manualmente durante a transcrição dos solos pelo time do projeto Jazzomat e descrevem o início e

fim de frases, padrões e outras ocorrências melódicas. Assim o modelo leva em consideração a dependência entre a ocorrência de tais eventos e a utilização de notas de acorde.

O quarto modelo, relaciona a ocorrência de eventos, conforme anotados na base de jazz de Weimar, com a melodia anterior e atual, tendo como objeto de classificação a melodia seguinte a ser tocada. Neste modelo, o atributo que descreve eventos indica se, além de haver ou não ocorrências, trata-se de início ou fim do evento.

O quinto e último modelo relaciona, de forma mais objetiva e sucinta, o intervalo da melodia apenas com o acorde que o acompanha e a melodia no tempo predecessor, ambas as notas da melodia em relação intervalar ao acorde no tempo em que se analisa.

Nota-se que é possível extrapolar as relações indefinidamente, desde que haja a transformação de atributos para a construção semântica necessária. Por exemplo, poder-se-ia verificar o comportamento intervalar nas mudanças de centro tonal, ao invés das mudanças de acordes.

4.2.3 Regras

Conforme já explicado, a utilização do algoritmo JRip se deu por, além da conveniência de utilização, explicitar semanticamente as regras obtidas. Assim, após a execução da classificação, as regras são exibidas no relatório de saída.

Para o primeiro modelo se obteve 11 regras conforme possível visualizar na figura 16.

Figura 16 - Regras obtidas a partir do modelo 1

```

=== Classifier model (full training set) ===

JRIP rules:
=====

(interbef = min2) and (beat = 2) => Class=maj7 (3.0/0.0)
(interbef = maj2) and (degree = II/IV) => Class=min2 (4.0/1.0)
(degree = II/IV) and (interbef = maj7) => Class=maj6 (2.0/0.0)
(interbef = t) and (degree = II7) => Class=maj2 (5.0/2.0)
(interbef = min3) and (degree = I) => Class=maj3 (4.0/1.0)
(interbef = maj3) and (degree = IV7/IV) => Class=p4 (4.0/1.0)
(degree = II) and (interbef = t) => Class=min7 (12.0/5.0)
(interbef = a4) => Class=p5 (20.0/8.0)
(interbef = maj3) and (degree = V7/IV) => Class=t (6.0/2.0)
(interbef = maj3) and (beat = 1) and (degree = I) => Class=t (5.0/0.0)
=> Class=pause (666.0/465.0)

Number of Rules : 11

```

Fonte: Autor.

Para o segundo modelo se obteve 11 regras conforme possível visualizar na figura 17.

Figura 17 - Regras obtidas a partir do modelo 2

```

=== Classifier model (full training set) ===

JRIP rules:
=====

(interbef = maj2) and (degree = II/IV) => Class=min2 (5.0/1.0)
(interbef = min6) and (degree = II/IV) => Class=maj6 (7.0/2.0)
(interbef = maj3) and (degree = IV7/IV) => Class=p4 (6.0/2.0)
(interbef = min3) and (degree = II) and (beat = 1) => Class=p4 (16.0/7.0)
(interbef = t) and (degree = II7) and (beat = 2) => Class=maj2 (7.0/3.0)
(interbef = p4) and (degree = V7/III) => Class=maj3 (19.0/9.0)
(interbef = min3) and (degree = I) and (beat = 1) => Class=maj3 (6.0/1.0)
(interbef = p4) and (degree = VI) => Class=maj3 (5.0/2.0)
(interbef = p4) and (chordtype = dom) and (beat = 2) => Class=maj3 (8.0/3.0)
(interbef = a4) and (degree = I) => Class=p5 (10.0/4.0)
=> Class=pause (2095.0/1670.0)

Number of Rules : 11

```

Fonte: Autor.

Para o terceiro modelo se obteve 13 regras conforme possível visualizar na figura 18.

Figura 18 - Regras obtidas a partir do modelo 3

```

=== Classifier model (full training set) ===

JRIP rules:
=====

(event = true) and (interval = a4) => Class=false (16.0/0.0)
(event = true) and (interval = min2) => Class=false (14.0/0.0)
(interval = min3) and (chordtype = dom) => Class=false (20.0/0.0)
(interval = maj7) and (chordtype = dom) => Class=false (8.0/0.0)
(interval = min6) and (chordtype = dom) => Class=false (11.0/0.0)
(chordtype = min) and (interval = maj3) => Class=false (9.0/0.0)
(interval = maj6) and (chordtype = min) => Class=false (9.0/0.0)
(interval = maj7) and (chordtype = min) => Class=false (6.0/0.0)
(chordtype = maj) and (interval = min3) => Class=false (3.0/0.0)
(chordtype = maj) and (interval = min7) => Class=false (3.0/0.0)
(interval = min6) and (chordtype = maj) => Class=false (2.0/0.0)
(event = false) => Class=pause (156.0/0.0)
=> Class=true (287.0/0.0)

Number of Rules : 13

```

Fonte: Autor.

Para o quarto modelo se obteve 9 regras conforme possível visualizar na figura 19.

Figura 19 - Regras obtidas a partir do modelo 4

```

=== Classifier model (full training set) ===

JRIP rules:
=====

(intvBefore = min2) and (intvCurrent = min7) => Class=maj7 (3.0/1.0)
(intvCurrent = p4) and (intvBefore = p5) => Class=maj3 (32.0/14.0)
(intvCurrent = maj6) and (intvBefore = t) => Class=min7 (21.0/10.0)
(intvCurrent = maj6) and (intvBefore = p5) => Class=min7 (18.0/8.0)
(intvCurrent = t) and (intvBefore = min2) and (event = line) => Class=min7 (15.0/6.0)
(intvCurrent = a4) and (intvBefore = min6) => Class=p5 (8.0/3.0)
(intvCurrent = min2) and (intvBefore = min3) and (event = line) => Class=t (10.0/4.0)
(intvCurrent = maj7) and (intvBefore = min2) => Class=t (14.0/4.0)
=> Class=pause (2063.0/1635.0)

Number of Rules : 9

```

Fonte: Autor.

Para o quinto modelo se obteve 2 regras conforme possível visualizar na figura 20.

Figura 20 - Regras obtidas a partir do modelo 5

```

=== Classifier model (full training set) ===

JRIP rules:
=====

(cToneBef = p4) and (chordType = maj) => Class=maj3 (4.0/1.0)
=> Class=p5 (321.0/281.0)

Number of Rules : 2

```

Fonte: Autor.

Os significados obtidos a partir destas regras serão objeto de discussão e maior aprofundamento na seção seguinte.

4.3 Discussões

Nesta seção se descreve a análise realizada após a formatação dos dados, transformação de atributos e indução dos modelos e extração de regras.

4.3.1 Análise estatística e avaliação quantitativa dos modelos

A tabela 7 demonstra os valores percentuais de acertos e erros, o coeficiente Kappa e a taxa de falsos e verdadeiros positivos para os modelos em questão.

Tabela 7 - Indicadores para avaliação quantitativa dos modelos

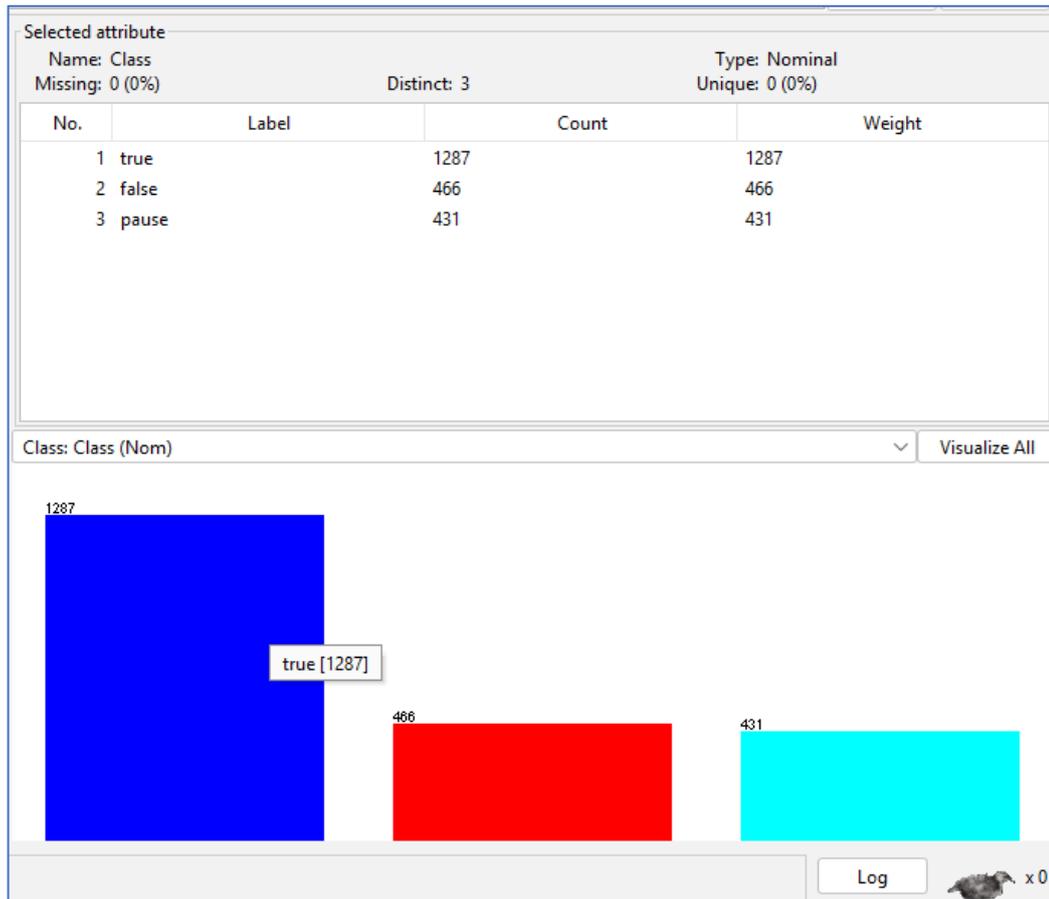
Indicador	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Classif. Correta	29,69%	20,24%	99,44%	21,70%	12,61%
Classif. Incorreta	70,31%	79,76%	0,56%	78,30%	87,38%
Coef. Kappa	0,0466	0,0118	0,9909	0,0325	0,004
Taxa TP	0,297	0,202	0,994	0,217	0,126
Taxa FP	0,255	0,191	0,006	0,187	0,122

Fonte: Autor.

Em termos gerais, no que diz respeito à análise quantitativa dos indicadores de modelos e do conjunto de dados da presente pesquisa, verifica-se que os indicadores de acurácia são, em alguns casos, aquém do que se encontra em outros domínios onde o comportamento das variáveis segue uma maior previsibilidade e objetividade, como por exemplo, o conjunto de dados sobre diagnóstico e prognóstico de câncer de mama da Universidade da Califórnia (1998), onde percentuais corretos de classificação e coeficiente Kappa apresentam, respectivamente, valores acima de 90% e 0.900. Entretanto, mesmo outras aplicações de modelagem no domínio da improvisação jazzística, que se utilizaram de técnicas similares às aplicadas aqui, não apresentam acurácia semelhante a domínios como o citado. No caso da pesquisa de Giraldo e Ramirez (2016, p. 12) as taxas de verdadeiro e falso positivo não ultrapassam 70% e 40% respectivamente para os melhores casos e chegam a 15% e 7% nos piores.

Voltando à presente pesquisa, é possível visualizar que dentre os modelos induzidos, o modelo 3 é o que mais se destaca em termos de acurácia, fato que terá um maior foco na seção seguinte, com discussão dos prováveis motivos para tal. No que concerne aos demais modelos, é possível afirmar que eles apresentariam dificuldades em prever ou mesmo em apresentar resultados consistentes em aplicações generativas. A complexidade da tarefa de classificação demonstra tendência de crescimento à medida que o *corpus* aumenta, fato que se comprova ao se comparar os modelos 1 e 2, onde os atributos permanecem e se acrescentam 3 solos do mesmo tema.

À esta altura, fica evidente nos modelos a ausência de atributos ou descritores que possam indicar a intencionalidade e aleatoriedade presentes em um solo de jazz, de forma a amarrar consistentemente as variáveis que se desdobram em escolhas melódicas dos artistas.

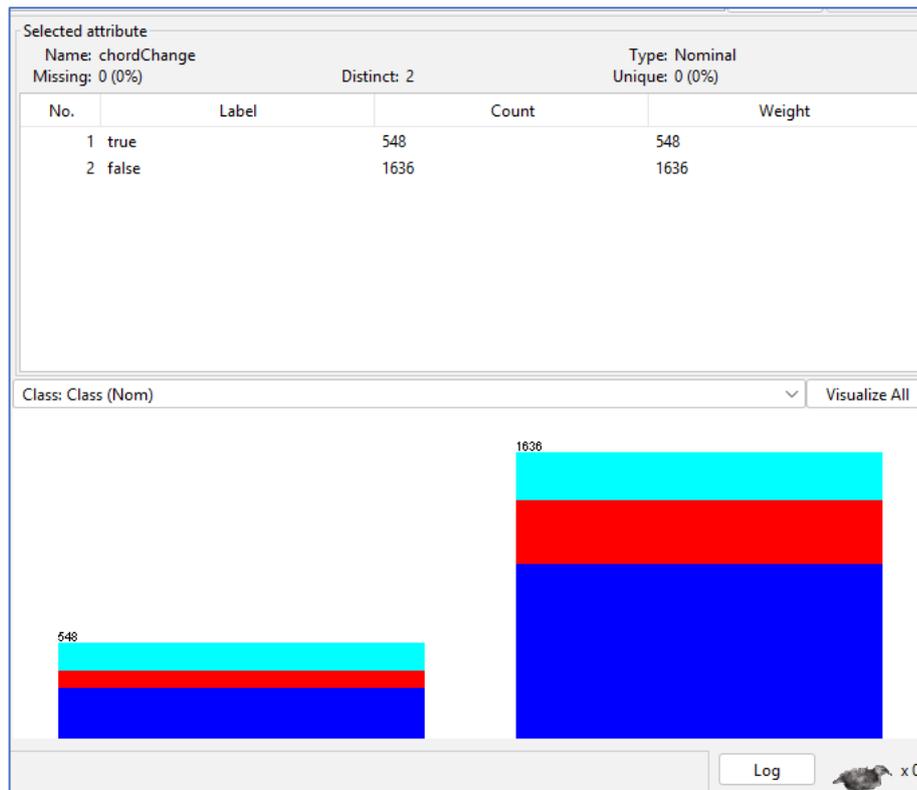
Figura 21 - Ocorrência de notas de acorde para o *corpus* utilizado

Fonte: Autor

Em outras palavras, algumas escolhas melódicas dos improvisadores seriam complexas o suficiente para escapar da classificação realizada. Entretanto, isso não significa que as regras que foram por meio dos modelos obtidas não possuam valor semântico e concordância com o que se verifica na literatura, conforme visto nos livros-texto. Por exemplo, de forma sucinta e até simplória, a técnica de *voice-leading* poderia hipoteticamente ser descrita por apenas dois atributos, *chordChange* (valores possíveis: *true*, *false*) e *chordTone* (valores possíveis: *true*, *false*, *pause*). Pode-se argumentar que para verificar a efetividade de um modelo induzido com tais atributos não seria necessária a aplicação de um algoritmo complexo, o que faz sentido, porém, o experimento foi realizado na plataforma WEKA, para fins de comparação quantitativa com os modelos induzidos. Um conjunto de dados com poucos atributos apresenta uma visualização de fácil compreensão, conforme figura 21. Foi utilizado o mesmo *corpus* que o utilizado para o modelo 2. É possível verificar que

quantitativamente, a utilização de notas de acorde é maior que a soma da ocorrência de notas fora do acorde e pausas, independentemente dos momentos em que ocorrem mudanças de acorde. A figura 22 demonstra que esta proporção se mantém com pouca variação, mesmo ao relacionar a ocorrência de notas de acorde com as mudanças de acorde.

Figura 22 - Ocorrência de notas relacionadas com mudanças de acordes



Fonte: Autor

A regra derivada deste conjunto de dados indicará que uma boa escolha estatisticamente falando seria a utilização de notas de acorde, independentemente da mudança de acordes, afirmação que encontra fundamento na literatura pedagógica da improvisação jazzística.

4.3.2 Regras obtidas e avaliação qualitativa dos modelos

Em detrimento à exclusiva avaliação quantitativa dos modelos, a utilização do algoritmo JRip tem valor por demonstrar as regras obtidas de forma estruturada, construindo assim sentido de forma quase instantânea para quem as analisa. Assim,

Figura 26 - Ocorrência da regra 2 do modelo 2 no solo de Chris Potter

Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Na mesma situação Fats Navarro se utiliza por vezes de uma melodia que se inicia na sexta menor e passa pela sexta maior (compassos 5, 29, 45 e 61). Estas evidências parecem demonstrar que, para a maior parte dos improvisadores, este ponto do tema demandou uma melodia recorrente, conforme a regra explicitou. A regra 3 do modelo 2 explicita uma escolha recorrente na sequência da mesma cadência, quando a harmonia passa do 4º grau maior para o seu 4º grau dominante, tanto Art Pepper quanto Chris Potter executam uma passagem cromática da terceira maior para a quarta justa.

Figura 27 - Ocorrências da regra 3 do modelo 2 no corpus analisado

Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Outra escolha recorrente é a passagem de terceira menor para quarta justa, tônica do acorde seguinte, durante o primeiro tempo do segundo grau na cadência II-V-I que resolve no primeiro grau da peça. Esta escolha foi encontrada em todos os quatro solos conforme figura 28.

Figura 28 - Ocorrências da regra 4 do modelo 2 no *corpus* analisado

The figure displays four musical staves, each representing a different occurrence of Rule 4 in Model 2. Each staff shows a sequence of chords: B \flat , G $^{-7}$, C $^{-7}$, and F 7 . The C $^{-7}$ chord is highlighted in yellow in all staves. The staves are labeled A.P., C.P., D.G., and F.N. from top to bottom. The C $^{-7}$ chord is consistently highlighted in yellow across all four staves.

Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Adicionalmente, regras derivadas destes modelos não evidenciam saltos melódicos distantes, pelo contrário, os saltos descritos pelas regras são em boa parte entre intervalos próximos, o que poderia indicar a elaboração de melodias que possam fazer sentido sequencial e serem mais bem absorvidas pela audiência, além de satisfazer um importante critério da técnica *voice-leading*, que é o de utilizar o mínimo de movimento, evitando saltos grandes (DOS SANTOS, 2017, p. 253), como indicado nos tópicos relevantes das obras descritos anteriormente.

O modelo 3 foi o que apresentou maior acurácia, quantitativamente falando, dentre os modelos induzidos. Interessante notar que as regras obtidas por este modelo não descrevem estratégias utilizadas para aplicação ou não de notas de acorde e diferentemente dos primeiros modelos, não evidenciam nenhum comportamento recorrente em pontos específicos de passagens ou cadências harmônicas. Entretanto, explicita conhecimento sobre a relação acorde-escala e com isso sua taxa de acerto é muito mais alta que as dos demais modelos, onde a ligação entre as variáveis não é tão semanticamente intrínseca como o é neste; a regra aqui é muito mais bem definida e amarrada. Assim, o modelo 3 explicou em termos intervalares, para cada caso encontrado no *corpus* utilizado, o que se encontra de forma generalizada na literatura.

Por sua vez, o modelo 4 evidenciou um atributo que relaciona o início e fim da ocorrência de eventos (expressões, frases e outros) com as escolhas melódicas dos improvisadores. Neste sentido, a ocorrência de eventos não se apresentou como um atributo definitivo para descrever estas escolhas, porém as regras explicitaram ao menos duas linhas melódicas recorrentes durante a execução dos solos. Uma delas é exibida na figura 29.

Figura 29 - Ocorrências da regra 5 do modelo 4 no *corpus* analisado

The figure displays four staves of musical notation in treble clef, each representing a different improviser's solo. The key signature is B-flat major (two flats). The staves are labeled with measure numbers and initials: 102 (A.P.), 34 (C.P.), 17 (D.G.), and 55 (F.N.).

Chord symbols are placed above the staves: Eb⁷, Ab⁷, D⁻⁷, G⁷, C⁻⁷, F⁷, Bb⁶, G⁷, C⁻⁷, F⁷, Bb⁶, G⁻⁷, C⁻⁷, F⁷, F⁻⁷, Bb⁷, Eb⁷, Ab⁷, D⁷, G⁷, F⁷, Bb^{maj7}, G⁷, C⁻⁷, F⁷.

Yellow boxes highlight specific melodic phrases on each staff, often marked with a '3' indicating a triplet. The first staff (A.P.) has a triplet of eighth notes (G4, A4, Bb4). The second staff (C.P.) has a triplet of eighth notes (G4, A4, Bb4). The third staff (D.G.) has a triplet of eighth notes (G4, A4, Bb4). The fourth staff (F.N.) has a triplet of eighth notes (G4, A4, Bb4).

Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Por fim, o modelo 5 explicitou apenas duas regras, mas de conteúdo semântico bastante significativo e relacionável com indicações encontradas na literatura. A primeira indica o movimento melódico da quarta justa para a terça maior durante a mudança de determinado acorde, geralmente dominante em uma cadência II-V-I, para um acorde maior, que é um movimento característico da técnica *voice-leading* e a segunda indica a quinta justa como, dentre as diversas possibilidades, uma tonalidade de resolução muito utilizada. É possível fazer uma referência direta desta regra a um trecho de Crook (1991, p. 37) conforme citado no tópico anterior.

4.3.3 Limitações da base de dados digital

Durante a indução de modelos e análise das regras, identificou-se algumas limitações das transcrições conforme foram convertidas e se encontram na base de dados de jazz de Weimar, que serão descritas aqui.

Em pontos onde há mudança de compasso com uma nota ligada, ou seja, onde a última nota de dado compasso é ligada a primeira nota do compasso seguinte, identificou-se situações em que a melodia que se segue possui a mesma indicação de uma pausa. A figura 30 demonstra a transição dos compassos 48 e 49 na improvisação do tema *Anthropology* por Art Pepper (*melid* = 1) e a figura 31 ilustra a transcrição realizada para notação musical, onde nota-se que a nota Sol é executada posteriormente a nota ligada Mi.

Figura 30 - Ligadura na transição do compasso 48 para 49 do solo de Art Pepper



Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Na base de dados digital esta anotação foi feita conforme indicado da figura 31, onde 64 e 67 se referem as notas Mi e Sol respectivamente e ambas estão relacionadas com os acordes que as acompanham nos respectivos compassos. Neste caso, como não há indicação do *tatum* 1 do *beat* 1 no compasso 49, subentende-se que a nota executada no compasso anterior permanece até a execução da próxima ocorrência.

Figura 31 – Transição digital do compasso 48 para o 49 do solo de Art Pepper

	beatsMelid	beatsBar	beatsBeat	tatum	chord	pitch
33	1	44	3	2	F7	61
34	1	44	4	1		57
35	1	44	4	2		60
36	1	48	1	NULL	Bb6	NULL
37	1	48	2	NULL		NULL
38	1	48	3	NULL		NULL
39	1	48	4	2		64
40	1	49	1	2	D7	67
41	1	49	2	NULL		NULL
42	1	49	3	NULL		NULL
43	1	49	4	4		66

Fonte: Autor.

Já no exemplo da transição dos compassos 28 e 29, ilustrada na figura 32, a nota Si ocupa todo o compasso que se inicia com a ligadura.

Figura 32 - Ligadura na transição do compasso 28 para 29 do solo de Art Pepper



Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

Neste caso, a notação no banco de dados digital ficou como indicado na figura 33, análogo a casos em que há ocorrência de pausa.

Figura 33 - Transição digital do compasso 28 para o 29 do solo de Art Pepper

	beatsMelid	beatsBar	beatsBeat	tatum	chord	pitch
12	1	28	1	1	C-7	63
13	1	28	2	1		70
14	1	28	3	1	F7	64
15	1	28	4	1		70
16	1	29	1	NULL	F-7	NULL
17	1	29	2	NULL		NULL
18	1	29	3	NULL	Bb7	NULL
19	1	29	4	NULL		NULL

Fonte: Autor.

Na transição do compasso 43 para o 44, conforme indica a figura 34, há exclusivamente a ocorrência de pausas.

Figura 34 - Pausas na transição do compasso 43 para 44 do solo de Art Pepper



Fonte: Base de dados de Jazz de Weimar.

A notação na base de dados digital não deixa claro se as primeiras notas do compasso 44 (beatsBar = 44; beatsBeat = 1; tatum = 1 e 2) são ligadas as últimas notas do compasso anterior ou se trata-se de pausas.

Figura 35 - Transição digital do compasso 43 para o 44 do solo de Art Pepper

	beatsMelid	beatsBar	beatsBeat	tatum	chord	pitch
25	1	43	1	NULL	Bb	NULL
26	1	43	2	NULL		NULL
27	1	43	3	NULL	G-7	NULL
28	1	43	4	NULL		NULL
29	1	44	1	3	C-7	53
30	1	44	1	4	C-7	51
31	1	44	2	2		55
32	1	44	2	3		58
33	1	44	3	2	F7	61
34	1	44	4	1		57
35	1	44	4	2		60

Fonte: Autor

Ou seja, verificou-se que a tratativa de ligadura como pausa ocorre em casos em que o valor da nota ligada, no compasso que se inicia com a ligadura, preenche todos os tempos ou, quando nele, todas as ocorrências seguintes à ligada são pausas.

Para que a análise não fosse prejudicada, mesmo porque foi recorrente a indução de modelos que focam nos momentos de mudança de acordes e coincidem com mudanças de compassos, as ocorrências de ligaduras foram tratadas como a ocorrências de pausas nas mudanças de acordes, o que pode contribuir com falta de acurácia na extração de regras durante a indução dos modelos.

5 CONCLUSÃO

Recordando, uma extensa trajetória foi percorrida até aqui, cuja linha condutora se iniciou na investigação de como as instituições tratam a pedagogia da improvisação idiomática, passando pelo levantamento dos materiais que são adotados nestas práticas e análise comparativa de seu conteúdo, partindo para a indução de modelos que pudessem avaliar como a semântica contida neste conteúdo se relaciona com a prática da improvisação, assim como transcritas digitalmente a partir de gravações de solos. Levando em conta a complexidade de cada um destes assuntos, há de se convir que uma abordagem em perspectivas múltiplas, como a adotada, não permite um aprofundamento sistemático que comporte a agenda proposta. Assim, verifica-se que cada uma destas fases pode ainda ser foco de maior aprofundamento.

Isto posto, passa-se a discussão dos resultados obtidos, iniciando pela análise das práticas pedagógicas no âmbito da improvisação idiomática. Durante o levantamento bibliográfico verificou-se que a utilização de ferramentas que lançam mão de técnicas de inteligência digital, aprendizado de máquina, ou mesmo mineração de dados, é relativamente pouco difundida nas pesquisas e *práticas pedagógicas* neste domínio. Pouco se encontrou sobre a utilização de materiais como os disponibilizados pela base de dados de jazz de Weimar em práticas pedagógicas, ou mesmo iniciativas que busquem criar ferramentas facilitadoras a partir de tal base. Conforme foi exposto nos capítulos introdutórios, este tipo de material tem sido comumente utilizado em aplicações performáticas. O panorama parece ainda mais escasso ao se comparar com o cenário brasileiro, seja observando pelo ângulo da infraestrutura de ensino de música, ou sobre a aplicação de ferramentas, como as utilizadas em MIR, para tanto. Apesar da institucionalização do ensino de improvisação musical no decorrer dos anos, há um longo caminho a ser percorrido no que diz respeito à provisão de acessibilidade aos cursos oferecidos e, no caso do Brasil, sua popularização. Observou-se ainda que há uma grande variedade de livros didáticos que abordam a improvisação, principalmente a idiomática, e que sua indicação de utilização é flexível em cursos superiores na América do Norte, sendo raros os casos em que se encontra indicação explícita de determinado autor para determinada classe.

No que concerne à estrutura dos três livros-texto analisados, há uma relativa semelhança em volume, abordagem e granularidade das obras. A exploração de modelos representacionais nelas é escassa, haja vista a quantidade de ilustrações que estas obras apresentam, sendo suas páginas povoadas quase que exclusivamente por pentagramas. Existe um relativo equilíbrio de volume em diferentes objetivos de aprendizado, distribuído principalmente em tópicos que focam em estratégias *versus* tópicos que abordam assuntos puramente técnicos, sejam eles de nível básico ou complexo. Sobre os tópicos relevantes encontrados na literatura, verificou-se também uma hegemonia de abordagem, bem como uma preocupação com as questões idiomáticas da improvisação, sendo os conceitos derivados das relações entre acordes e escalas tema central nas obras analisadas.

Ao tentar relacionar estes conceitos sobre relações entre acordes e escalas dos livros-texto com os modelos digitais de classificação e as regras as quais por eles se obtém, há, de antemão, dificuldade de se determinar uma metodologia para levantamento e obtenção de atributos de forma sistemática devido, principalmente, a diferentes granularidades das informações. Diferentemente de aplicações que se valem dos modelos de inteligência digital para processamento de texto exclusivamente, há uma camada semântica diferente no domínio da improvisação idiomática, que mais a aproxima dos problemas de classificação em domínios discretos e que demandam uma transformação prévia. Assim, se no domínio da literatura se encontra um *corpus* que exige alto nível de abstração e que, por exemplo, trata intervalos entre notas em termos genéricos, o banco de dados digital apresenta as transcrições assim como se observa nos pentagramas; à exceção feita a algumas indicações de nível intermediário descrevendo elementos como frases e padrões, regra geral não se explicita conhecimento sobre improvisação musical nas tabelas da base de dados utilizada. Daí se apreende que o maior esforço em iniciativas que busquem trabalhar com estes dados com baixa abstração reside na escolha e transformação de características, ou seja, quanto de conhecimento há de se agregar ao conjunto de dados. No caso em questão, lançou-se mão de processamento algorítmico para agregar significado relevante à base de dados, sendo os conceitos encontrados nos livros-texto bases para esta atividade.

Fazendo isso, observou-se que as regras obtidas pela indução de modelos refletiram conceitos presentes nos livros-texto, sendo possível afirmar que a improvisação idiomática, conforme se encontra nos solos transcritos, se utiliza de

conhecimentos e constructos apresentados em materiais pedagógicos da improvisação. A afirmação anterior não necessariamente despertará surpresa, porém, é interessante notar que os indicadores de acurácia dos modelos induzidos podem apontar que esta mesma camada semântica presente nos livros, carregados de conceitos sobre relações entre acordes e escalas, bem como movimentos e resoluções, podem não ser suficientes para *descrever* as regras que porventura direcionam a improvisação, mesmo idiomática, de forma satisfatória. Quanto às aplicações performáticas, ou generativas, que podem executar improvisação em nível relativamente satisfatório, não são suficientes para explicitar conhecimento sobre improvisação: há um componente randômico nestas aplicações que escapa a estas tentativas de explicar *motivação*. Até por isso, quase todas as regras dos modelos aqui induzidos apresentam a pausa como uma escolha “melódica” de segurança. Estatisticamente, a pausa aparece mais do que qualquer outro intervalo, e nas improvisações, mesmo desconsiderando-a, percebe-se uma grande variação de escolhas intervalares, somada a recursos complexos para a modelagem digital, como dilatações e retrações temporais dos compassos, para que ocorra a sensação de, por exemplo, uma resolução harmônica tardia ou antecipada. Em uma obra em que se repete a estrutura harmônica diversas vezes, não se encontra atributos – tendo exclusivamente como descritores as relações harmônicas – que possam explicar as estratégias ou motivações que fazem com que um determinado artista resolva uma frase na terça do acorde na primeira passagem, e na sétima do acorde no mesmo trecho da passagem seguinte. De certa forma, seria possível relacionar este comportamento criativo com a seguinte instrução:

[...] as regras são um tanto restritivas, com intenção de serem aplicadas conscientemente quando se pratica em detrimento de quando se performa. É importante reconhecer que estes princípios têm provido a fundação para construir melodias líricas por centenas de anos e por isso deveriam ser consideradas como fundamentais para a arte, [...] a regra deveria ser aprendida antes de ser quebrada. (CROOK, 1991, p. 43).

Os experimentos conduzidos apresentam limitações, seja pelo escopo ou por questões com as quais se deparou na trajetória da pesquisa, como, por exemplo, a falta de distinção nas notações entre pausas e ligaduras, como fora apresentado nas discussões anteriores. Há também de se observar que todos os conceitos foram

construídos sobre as transcrições digitais da base de dados de jazz de Weimar, a qual, por si só, pode apresentar limitações representacionais e perdas ao se comparar com a performance dos solos propriamente dita. Não menos importante é lembrar que a improvisação é muito mais do que apenas um fluxo de sequências melódicas, que foi o objeto de experimento aqui. Uma performance de improvisação, assim como outras manifestações musicais, recorre a uma miríade de aspectos tão ou mais importantes como timbres, dinâmica e mesmo outras dimensões melódico-harmônicas, como a vertical, além de seu componente horizontal. Adicionalmente, há de se considerar diversos outros aspectos não tão diretamente relacionáveis com o domínio musical, e que também compõem a complexa trama através da qual se compartilha a experiência, como os aspectos sociais, dramáticos e sensoriais. As “limitações” do ser humano, como a do sistema sensório-motor, que em um sistema puramente representacional podem ser tratadas como aleatoriedade, também são fatores que poderiam ser considerados como parâmetros de escolhas melódicas.

Como sugestão de trabalhos futuros, indica-se a exploração do *corpus* de transcrições digitais com outras ferramentas de aprendizado de máquina mais indicadas para aplicação em domínios com características que demandem maior natureza exploratória, menos esforço em engenharia de características e que possam classificar e etiquetar os dados para que possíveis padrões, que escapem à literatura que se ocupa de explicar a improvisação em termos tradicionais. O conjunto da base de dados de Weimar pode ser objeto de estudo, principalmente no que diz respeito à avaliação estruturada e sistemática de qualidade e dimensionalidade. Também se verificou um campo bastante amplo para pesquisas que visem trabalhar com conjunto de dados a partir de música brasileira: conforme posto antes, é um terreno ainda não explorado, principalmente pelo viés didático. Por fim, indica-se o aprofundamento na utilização das regras obtidas em modelos como os induzidos no presente trabalho em aplicações que possam assistir e facilitar o aprendizado da improvisação, indicando caminhos em um contexto construtivista que considere não apenas as estruturas de conhecimento e conceito, mas também a estrutura sensório-motora, e que o façam, principalmente, em tempo real e de forma interativa, alavancando os potenciais tecnológicos disponíveis.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Bilal; PAVLU, Virgil. Decision Trees. In: CS160: MACHINE LEARNING LECTURES, 1., 2015, Boston, MA. [Notas]. Disponível em: https://www.ccs.neu.edu/home/vip/teach/MLcourse/1_intro_DT_RULES_REG/lecture_notes/ectureNotes_DecisionTree_Spring15.pdf. Acesso em 15 mar. 2023.
- AMSEN, Eva. Three women who used technology to compose music. *Forbes*, Jersey City, NJ, out. 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/evaamsen/2019/10/08/three-women-who-used-technology-to-compose-music/?sh=2ed386103f23>. Acesso em: 29 maio 2022.
- ANGELOV, Plamen; GU, Xiaowei. *Empirical approach to machine learning*. Cham: Springer, 2019.
- ARTIFICIA AI MUSIC SESSIONS. Musical improvisation with AI. [S. l.: s. n.], 2021. 1 vídeo (1 h 36 min). Publicado pelo canal Artificia. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=NnBnCj_LSV8. Acesso em: 15 set. 2021.
- BAKER, David. *Jazz improvisation: A comprehensive method for all musicians*. 2. Ed. Van Nuys, CA: Alfred Publishing, 2005.
- BAKER, David. *Jazz pedagogy: A comprehensive method of jazz education for teacher and student*. Van Nuys, CA: Alfred Publishing, 1988.
- BALKE, Stefan et al. Bridging the gap: Enriching youtube videos with jazz music annotations. *Frontiers in Digital Humanities*, Lausanne, v. 5, p. 1-11, 20 fev. 2018.
- BANERJI, Ritwik. Maxine's Turing test: A player-program as co-ethnographer of socio-aesthetic interaction in improvised music. In: THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR INTERACTIVE DIGITAL ENTERTAINMENT CONFERENCE, 8, 2012, Palo Alto, CA. *Proceedings [...]*, Palo Alto, CA: AAAI Press, 2012, p. 2-7.
- BASBAUM, Sergio. Tudo isso é do baralho: Tecnoestese e infocognição (da ordem e dos predicados dos acoplamentos na circunstância contemporânea). *Texto Digital*, Florianópolis, v. 14, n. 1, p. 6-25, jan.-jun. 2018.
- BEATY, Roger. The neuroscience of musical improvisation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Amsterdam, v. 51, p. 108-117, abr. 2015.
- BEATY, Roger et al. Spontaneous melodic productions of expert musicians contain sequencing biases seen in language production. *Journal of Experimental Psychology: General*, Washington, DC, v. 151, n. 5, p. 912-920, 1 abr. 2022.
- BERLINER, Paul. *Thinking in jazz: The infinite art of improvisation*. Chicago, IL: The University of Chicago Press, 1994.
- BERNAL, Hortencia. Three surveys on adult ESOL pronunciation: Teachers, students, textbooks. 2002. 113 f. Tese (Mestrado em Artes) – Department of Foreign Languages and Literatures, College of Arts and Sciences, University of Central Florida, Orlando.

- BILES, John. GenJam: A genetic algorithm for generating jazz solos. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 20, 1994, Aarhus. *Proceedings [...]* Aarhus: Michigan Publishing, 1994, p. 131-137.
- CHASE, Mildred. *Improvisation: Music from the inside out*. New York, NY: Creative Arts Book, 1988.
- CHOI, Kyong; PARK, Hye-Jin. A comparative analysis of geometry education on curriculum standards, textbook Structure, and textbook items between the U.S. and Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, Eastbourne, v. 9, n. 4, p. 379-391, 20 nov. 2013.
- COHEN, William. Fast effective rule induction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 12., 1995, Tahoe City, CA. *Proceedings [...]* Amsterdam: Elsevier, 1995, p. 115-123.
- CÔRTEZ, Almir. Improvisação idiomática em música brasileira: Relato da implementação de uma disciplina no ensino superior. *Música Popular em Revista*, Campinas, ano 6, v. 1, p. 109-141, jan.-jul. 2019.
- COSTA, Rogério; SCHAUB, Stéphan. Expanding the concepts of knowledge base and referent in the context of collective free improvisation. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA, 23., 2013, Natal. *Anais [...]* Disponível em: <https://anppom.org.br/congressos/anais/v23/>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- CREECH, Andrea; GAUNT, Helena. The changing face of individual instrumental tuition: Value, purpose and potential. In: MCPHERSON, Gary; WELCH, Graham (org.). *The Oxford Handbook of Music Education*, New York, NY: Oxford University Press, v. 1, 2012, p. 694-711.
- CRAYENCOUR, Hèlène et al. The jazz ontology: A semantic model and large-scale RDF repositories for jazz. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Amsterdam, v. 74, p. 1-16, 30 jun. 2022.
- CROOK, Hal. *How to improvise: An approach to practicing improvisation*. Mainz: Advance Music, 1991.
- CUNNINGSWORTH, Alan. *Choosing your coursebook*. London: Macmillan Education, 1995.
- DATTERI, Edoardo; HOSNI, Hykel; TAMBURRINI, Guglielmo. Machine learning from examples: A non-inductivist analysis. *Logic & Philosophy of Science*, Trieste, v. 3, n. 1, 2005
- DITTMAR, Christian et al. A swingogram representation for tracking micro-rhythmic variation in jazz performances. *Journal of New Music Research*, London, v. 47, n. 2, p. 97-113, 30 ago. 2017.
- DOS SANTOS, Gabriela. *Glossário bilíngue português-inglês de colocações especializadas de harmonia musical, baseado em corpus*. 2017. 390 f. Dissertação (Mestrado em Letras) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

DOWNBEAT. Elmhurst, IL: Maher, v. 87, n. 10, out. 2020, 132 p.

DOWNIE, Stephen. Music information retrieval. *Annual Review of Information Science and Technology*, Medford, NJ, v. 37, p. 295-340, 2003.

ELLIS, Rod. The empirical evaluation of language teaching materials. *ELT Journal*, New York, NY, v. 51, n. 1, p. 36-42, Jan. 1997.

FRANZ, David. Markov chains as tools for jazz improvisation analysis. 1998. 84 f. Tese (Mestrado em Ciências) – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

FRIELER, Klaus. Constructing jazz lines: Taxonomy, vocabulary, grammar. In: PFLEIDERER, Martin; ZADDACH, Wolf-Georg (org.). *Jazzforschung heute: Themen, Methoden, Perspektiven*. Berlin: Emwas, 2019, p. 103-132.

FRIELER, Klaus et al. Mid-level analysis of monophonic jazz solos: A new approach to the study of improvisation. *Musicae Scientiae*, London, v. 20, n. 2, p. 143-162, 2016.

FRIELER, Klaus et al. "Telling a story": On the dramaturgy of monophonic jazz solos. *Empirical Musicology Review*, Columbus, OH, v. 11, n. 1, p. 68-82, 2016.

FRIELER, Klaus; HÖGER, Frank; PFLEIDERER, Martin. Anatomy of a lick: Structure & variants, history & transmission. In: DIGITAL HUMANITIES CONFERENCE, 2019, Utrecht. *Book of Abstracts [...]*, Utrecht: [s. n.], 2019, p. 1-9.

GERE, Charlie. *Digital culture*. 2. Ed. London: Reaktion Books, 2008.

GIFFORD, Toby et al. Computational systems for music improvisation. *Digital Creativity*, London, v. 29, n. 1, p. 19-36, 22 fev. 2018.

GIOIA, Ted. *Music: A subversive history*. New York, NY: Basic Books, 2019.

GIOIA, Ted. *The history of jazz*. 2. Ed. New York, NY: Oxford University Press, 2011.

GIRALDO, Sergio et al. Automatic assessment of tone quality in violin music performance. *Frontiers in Psychology*, Lausanne, v. 10, p. 1-12, 14 mar. 2019.

GIRALDO, Sergio; RAMIREZ, Rafael. A machine learning approach to discover rules for expressive performance action in jazz guitar music. *Frontiers in Psychology*, Lausanne, v. 7, p. 1-13, 20 dez. 2016.

GOLDMAN, Jonathan. The shape of jazz education to come: How jazz musicians develop a unique voice within academia. 2010. 128 f. Tese (Mestrado em Artes) – Department of Music Research, Music Education, McGill University, Montreal.

HAKIMI, Shunit; BHONKER, Nadav; EL-YANIV, Ran. BebopNet: Deep neural models for personalized jazz improvisations. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR MUSIC INFORMATION RETRIEVAL CONFERENCE, 21, 2020, Montréal. *Proceedings [...]*, Montréal: International Society for Music Information Retrieval, 2020, p. 828-836.

- HALL, Mark et al. The WEKA data mining software. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, New York, NY, v. 11, n. 1, p. 10-18, jun. 2009.
- HERZIG, Monika. The ABCs of jazz education: Rethinking jazz pedagogy. In: PFLEIDERER, Martin; ZADDACH, Wolf-Georg (org.). *Jazzforschung heute: Themen, Methoden, Perspektiven*. Berlin: Emwas, 2019, p. 180-197.
- HICKEY, Maud. Can improvisation be 'taught'? A call for free improvisation in our schools. *International Journal of Music Education*, Newbury Park, CA, v. 27, n. 4, p. 285-299, 4 nov. 2009.
- HUANG, Ronghuai et al. A comprehensive framework for comparing textbooks: Insights from the literature and experts. *Sustainability*, Basel, v. 14, n. 11, p. 1-19, 6 jun. 2022.
- HUOVINEN, Erkki; TENKANEN, Atte. Dramaturgical and music-theoretical approaches to improvisation pedagogy. *International Journal of Music Education*, Newbury Park, CA, v. 29, n. 1, p. 82-100, 22 fev. 2011.
- JIN, Rong; GHAHRAMANI, Zoubin. Learning with multiple labels. In: BECKER, Suzanna; THRUN, Sebastian; OBERMAYER, Klaus (org.). *Advances in Neural Information Processing Systems 15*, Cambridge, MA: MIT Press, 2003, p. 897-904.
- JOHNSON-LAIRD, Phillip. How jazz musicians improvise. *Music Perception*, Berkeley, CA, v. 19, n. 3, p. 415-442, 2002.
- KELLER, Robert et al. Blues for Gary: Design abstractions for a jazz improvisation assistant. In: FESTSCHRIFT [...], 2007, Salt Lake City, UT. *Electronic Notes [...]*, Amsterdam: Elsevier, 2007, p. 47-60.
- KHOURY, Stephanie. *Improvise: Research-creation of a framework and software prototype for creative music learning with technology*. 2017. 295 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – Department of Music Research, Music Education, McGill University, Montreal.
- KUGEL, Peter. Myhill's thesis: There's more than computing in musical thinking. *Computer Music Journal*, Boston, MA, v. 14, n. 3, p. 12-25, 1990.
- LASKE, Otto. Introduction to cognitive musicology. *Computer Music Journal*, Boston, MA, v. 11, n. 1, p. 43-57, 1988.
- LEMAN, Marc. The role of embodiment in the perception of music. *Empirical Musicology Review*, Columbus, OH, v. 9, n. 3-4, p. 236-246, 2014.
- LEVINE, Mark. *The jazz theory book*. Petaluma, CA: Sher Music, 1995.
- LUCKIN, Rosemary; CUKUROVA, Mutlu. Designing educational technologies in the age of AI: A learning sciences driven approach. *British Journal of Education Technology*, Hoboken, NJ, v. 50, n. 6, p. 2824-2838, 2019.
- MELO, Ingrid et al. Avaliação do desempenho do algoritmo JRip na classificação do diagnóstico de doenças cardíacas. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO

EM CIÊNCIAS, 4, 2019, Campina Grande. *Anais [...]*, Campina Grande: Realize Eventos Científicos, 2019.

MENDONÇA, David; WALLACE, William. Cognition in jazz improvisation: An exploratory study. In: ANNUAL MEETING OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 26, 2004, Chicago, IL. *Proceedings [...]*, Chicago, IL: Psychology Press, 2005, p. 956-961.

MOHR, Felix; WEVER, Marcel; HÜLLERMEIER, Eyke. MI-plan: Automated machine learning via hierarchical planning. *Machine Learning*, Cham, v. 107, n. 8, p. 1495-1515, 2018.

MYHILL, John. Some philosophical implications of mathematical logic: Three classes of ideas. *Review of Metaphysics*, Washington, VA, v. 6, n. 2, p. 165-198, 1952.

NEWEN, Albert et al. *4E cognition: Historical roots, key concepts, and central issues*. New York, NY: Oxford University Press, 2018.

NORGAARD, Martin. How jazz musicians improvise: The central role of auditory and motor patterns. *Music Perception*, Berkeley, CA, v. 31, n. 3, p. 271-287, 2014.

PFLEIDERER, Martin. *Inside the jazzomat: New perspectives for jazz research*. Mainz: Schott Campus, 2017.

PIKE, Alfred. A phenomenology of jazz. *Journal of Jazz Studies*, New Brunswick, NJ, v. 2, n. 1, p. 88-93, 1974.

PRESSING, Jeff. Improvisation: Methods and models. In: SLOBODA, John (org.). *Generative Processes in Music: The psychology of performance, improvisation, and composition*. New York, NY: Oxford University Press, 2001, p. 129-156.

PROUTY, Kenneth. The history of jazz education: A critical reassessment. *Journal of Historical Research in Musical Education*, Washington, DC, v. 26, n. 2, p. 79-100, 2005.

SANTAELLA, Lucia. *Comunicação e pesquisa: Projetos para mestrado e doutorado*. 2. Ed. São José do Rio Preto: Bluecom, 2010.

SNYDER, Hannah. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, Amsterdam, v. 104, p. 333-339, 1 ago. 2019.

TOIVIANEN, Petri. Modeling the target note approach technique of bebop-style jazz improvisation: An artificial neural network approach. *Music Perception*, Oakland, CA, v. 12, n. 4, p. 399-413, 1995.

TOMLINSON, Brian. *Materials development in language teaching*. Cambridge: Cambridge University, 1998.

TUURI, Kai; KOSKELA, Oskari. Understanding human–technology relations within technologization and application of musicality. *Frontiers in Psychology*, Lausanne, v. 11, p. 1-10, 21 abr. 2020.

TWEED, Rebekah. Will artificial intelligence replace human musicians? *Consequence*, [s. l.], fev. 2020. Disponível em: <https://consequence.net/2020/02/will-artificial-intelligence-replace-human-musicians/>, Acesso em: 15 set. 2021.

UNIVERSIDADE DA CALIFORNIA, Irvine, CA, 1998. *Machine Learning Repository*. Disponível em: <https://archive.ics.uci.edu/>. Acesso em: 11 jul. 2023.

VASSILAKIS, Dimitrios; GEORGAKI, Anastasia; ANAGNOSTOPOULOU, Christina. "Jazz Mapping" an analytical and computational approach to jazz improvisation. In: SOUND AND MUSIC COMPUTING CONFERENCE, 16, 2019, Málaga. *Proceedings* [...], Málaga: SMC, 2019, p. 476-482.

VIEIRA, Suzana; SOUSA, João; KAYMAK, Uzay. Cohen's kappa coefficient as a performance measure for feature selection. In: WCCI 2010 IEEE WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, 2010, Barcelona. *Proceedings* [...]. New York, NY: IEEE, 2010.

WADDELL, George et al. The evaluation simulator: A new approach to training music performance assessment. *Frontiers in Psychology*, Lausanne, v. 10, p. 1-17, 9 abr. 2019.

WADDELL, George; WILLIAMON, Aaron. Technologies use and attitudes in music learning. *Frontiers in ICT*, Lausanne, v. 6, p. 1-14, 31 maio 2019.

WATSON, Kevin. A comparative analysis of method books for class jazz instruction. *Update: Applications of research in music education*, Reston, VA, v. 36, n. 1, p. 5-11, 16 fev. 2017.

WHYTON, Tony. Birth of school: Discursive methodologies in jazz education. *Music Education Research*, Abingdon, v. 8, n. 1, p. 65-81, 1 mar. 2006.

WIGGINS, Geraint; PEARCE, Marcus; MÜLLENSIEFEN, Daniel. Computational modeling of music cognition and musical creativity. In: DEAN, Roger. *The Oxford Handbook of Computer Music*, New York, NY: Oxford University Press, 2012, p. 1-25.

WOLF, Jared. Why new AI will never replace humans in music. *Sustainable Review*, [s. l.], out. 2020. Disponível em: <https://sustainablereview.com/ai-music/>. Acesso em: 15 set. 2021.

YANG, Yiming; PEDERSEN, Jan. A comparative study on feature selection in text categorization. In: CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 14., 1997, San Francisco, CA. *Proceedings* [...], San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1997, p. 412-420.

ZHANG, Min-Ling; ZHOU, Zhi-Zhou. ML-KNN: A lazy learning approach to multi-label learning. *Pattern Recognition*, Amsterdam, v. 40, n. 7, p. 2038–2048, 2007.