DOI 10.20504/opus2026.32.06

CC BY

Geração melódica via processos computacionais: um panorama preliminar e pedagógico

Liduino **Pitombeira**
https://orcid.org/0000-0002-1141-655X
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Resumo: Este trabalho focaliza, ainda de forma preliminar, o aspecto melódico sob uma perspectiva pedagógico-composicional. Partindo de uma definição do conceito de melodia, com base na altura, no ritmo e na ordenação, são propostas diversas abordagens (não exaustivas) de construção melódica, muitas delas com um rico potencial para automatização computacional (algumas são exemplificadas de forma simplificada). Adicionalmente, são apresentados, também em caráter não exaustivo, diversos procedimentos de transformações melódicas (em níveis cromáticos, diatônicos, integrais, mutacionais etc.), as quais, combinadas a procedimentos de derivação harmônica – tomando a melodia como ponto de partida – se constituem em um conjunto de ferramentas úteis ao estudante de composição, ou mesmo ao compositor interessado em manipular estruturas melódicas.

Palavras-chave: Melodia. Transformações melódicas. Modelos computacionais melódicos.

Melodic generation via computational processes: a preliminary and pedagogical overview

Abstract: This article examines melodic organization from a pedagogical and compositional standpoint, adopting an exploratory framework. Melody is initially defined through the interaction of pitch, rhythm, and ordering principles, serving as the basis for the presentation of several approaches to melodic construction. Although not intended to be exhaustive, these approaches highlight procedures with significant potential for computational implementation, some of which are illustrated through simplified examples. The study further outlines a set of melodic transformation techniques operating at different structural levels—such as chromatic, diatonic, integral, and mutational processes. When combined with harmonic derivation strategies that take the melodic line as a generative source, these procedures form a coherent toolkit for compositional practice. The proposed framework is intended both as a pedagogical resource for composition students and as a practical set of methods for composers interested in the systematic manipulation and development of melodic structures.

Keywords: Melody. Melodic transformations. Melodic computational models.

PITOMBEIRA, Liduino. Geração melódica via processos computacionais: um panorama preliminar e pedagógico. *Opus* (Assoc. Nac. Pesqui. Pós-Grad. Música), João Pessoa, v. 32, e263206, p. 1-63, 2026. http://dx.doi.org/10.20504/opus2026.32.06
Recebido em 12/06/2024, aprovado em 17/12/2025, publicado em 23/05/2026.
Editor Responsável: Dr. Vinícius Eufrásio

No capítulo V do livro *A arte da composição musical* (*The Craft of Musical Composition*), intitulado *A melodia*, Paul Hindemith (1855-1963) propõe uma metodologia de análise e construção melódica,[1] observando que na academia esse tópico é subvalorizado, em detrimento dos estudos de harmonia (Hindemith, 1947, p.175).[2] Essa observação continua sendo atual, como corrobora Kaltenecker (2024, p.13), na introdução de uma obra muito recente que trata da experiência melódica no século XX: "a melodia não é um parâmetro musical tão frequentemente abordado quanto a harmonia ou mesmo o ritmo".[3] De fato, nos currículos de composição atuais não há disciplinas sequenciais de estudos da melodia, de maneira similar ao que ocorre com a harmonia. Não é intenção deste trabalho[4] propor reformas curriculares ou mesmo apresentar uma teoria definitiva da melodia, mas apenas examinar tópicos que possam auxiliar o(a) compositor(a) ou o(a) estudante de composição que trabalha com material melódico a construir segmentos melódicos coerentes,[5] incluindo-se aqui a construção a partir de modelos computacionais.

Serão abordados os seguintes tópicos: O conceito de melodia, na Seção 1; abordagens de construção melódica (vertical, horizontal, híbrida, aleatória, gestáltica, markoviana, relacional, serial, SCR, fractal e mapeamento), na Seção 2; isorritmia, na Seção 3; expansão melódica, na Seção 4; e derivação harmônica, na Seção 5. Esses dois últimos tópicos se tornam especialmente relevantes para os (as) estudantes de composição que, uma vez tendo criado uma linha melódica, precisam avançar expandindo essa linha para uma composição de maior porte.

Diversas abordagens adicionais, sobre as quais já existe uma literatura especializada, profunda e atualizada, podem ser utilizadas para a criação de linhas melódicas (bem como outras estruturas musicais – harmonia, ritmo etc.): Gramáticas Formais,[6] Autômatos Celulares,[7] Algoritmos Genéticos,[8]

[1] Nesse capítulo, Hindemith fala da importância da associação harmônica, da progressão de graus melódicos (*degree progression*), enfatizando a posição central do intervalo de segunda na construção melódica, e da progressão passo a passo (*step-progression*).

[2] Ele observa como "é um fato surpreendente que o ensino de composição nunca tenha desenvolvido uma teoria da melodia. Todo aluno aprende harmonia e, a partir da instrução teórica tradicional, pensar-se-ia que o manejo dos materiais tonais dependeria principalmente do conhecimento dos fatos harmônicos. Mas todos sabem que o ritmo e a melodia constituem partes pelo menos igualmente importantes da estrutura musical, e também que são sem dúvida os elementos mais fundamentais." No original: "*It is an astounding fact that instruction in composition has never developed a theory of melody. Every student learns harmony, and from the traditional theoretical instruction one would think that the handling of tonal materials depended mainly on a knowledge of harmonic facts. But everyone knows that rhythm and melody form at least equally important parts of the musical structure, as well as that they are without doubt the more fundamental elements*".

[3] No original: "*La mélodie n'est pas un paramètre musical aussi souvent abordé que ne l'est l'harmonie, voire le rythme*".

[4] Trabalho apresentado, em 14 de novembro de 2023, no Colégio Brasileiro de Altos Estudos, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, a convite do Prof. Jean-Pierre Briot, titular da Cátedra Heitor-Villa-Lobos, a quem publicamente agradeço.

[5] Uma breve reflexão sobre o conceito de coerência em composição musical pode ser encontrada em Pitombeira (2022).

[6] Um panorama sobre gramáticas formais aplicáveis à música pode ser encontrado em Roads e Wieneke (1979).

[7] Os autômatos celulares são modelos matemáticos onde o estado de cada célula em uma grade evolui de acordo com regras definidas. Na música, essas células podem representar notas e suas mudanças ao longo do tempo. Por exemplo, cada célula pode corresponder a uma nota, e as regras determinam como as notas mudam com base nas notas vizinhas. Uma abordagem concisa e didática sobre o assunto pode ser encontrada em Miranda (2004).

[8] Inspirados na teoria da evolução, os algoritmos genéticos usam seleção natural, cruzamento e mutação para evoluir soluções ao longo do tempo. Na música, isso pode envolver a geração e modificação de sequências melódicas. Nesse

Processamento de Linguagem Natural (NLP) e Aprendizagem Profunda com Redes Neurais (*Deep Learning*).[9] Essas abordagens não serão examinadas neste estudo preliminar, que surgiu como material didático para atender ao primeiro módulo da disciplina Elementos de Composição, ministrada por mim na Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro.[10] O objetivo do trabalho é, portanto, predominantemente fornecer subsídios práticos para a criação melódica e a posterior aplicação composicional. Devo enfatizar que, embora este estudo assuma um caráter preliminar, sua metodologia é claramente delimitada pelo contexto de sua concepção: a elaboração de material didático para a composição.

O trabalho articula dois eixos metodológicos complementares. No primeiro, realiza-se um levantamento bibliográfico direcionado aos fundamentos conceituais da melodia – necessário para estabelecer parâmetros teóricos mínimos e situar o tema dentro da literatura especializada. No segundo eixo, que constitui o foco principal do estudo, propõem-se e sistematizam-se ferramentas operacionais de geração melódica, voltadas ao ensino introdutório de composição. Assim, a ênfase metodológica recai não sobre a construção de uma teoria exaustiva da melodia, mas sobre a formalização de procedimentos e sua possível implementação computacional. Nesse sentido, o recorte adotado é deliberado: trata-se de um estudo aplicado, orientado à prática composicional e ao desenvolvimento de materiais didáticos que apoiem a experimentação e o aprendizado, e não de um compêndio teórico definitivo sobre o tema.

1. A melodia

Ernst Toch (1887-1964), em sua obra *As forças formadoras da música* (*The Shaping Forces in Music*), originalmente escrito em 1948, apresenta quatro configurações horizontais (melódicas) de uma sonoridade vertical – um acorde maior com quinta no baixo – que aparece em quatro composições distintas (Fig. 1): 1) No tema do clarinete (B♭), no início do quarto movimento da *Sinfonia N.4*, de Mahler; 2) Em um motivo dos primeiros violinos, no compasso 158, da Abertura da ópera *Die Meistersinger von Nürnberg, WWV 9*, de Richard Wagner, transposto para Sol maior; 3) No início do *Scherzo D593 N.1,* para piano, de Schubert (transposto para Sol maior);[11] e 4) Em um motivo do primeiro violino, no compasso 49 do *Quinteto de Cordas K516*, de Mozart, também transposto para Sol maior. As alturas estão todas no mesmo registro e, portanto, os fatores que distinguem os fragmentos melódicos são o **ritmo** e a **ordem** (que afeta como

caso, sequências melódicas são tratadas como "indivíduos". As mais bem-sucedidas (de acordo com critérios determinados pelo usuário) são selecionadas e combinadas para criar novas gerações.

[9] Sobre técnicas de aprendizagem profunda aplicadas à criação musical ver Briot et al (2020), bem como a página do GitHub de Hernández-Oliván (2023).

[10] Essa disciplina é uma antecâmara ao Bacharelado em Composição e se divide em quatro módulos, um para cada período. No primeiro módulo, o foco é a construção melódica; no segundo, as estruturas harmônicas e as formas musicais; no terceiro, o atonalismo formalizado pela Teoria dos Conjuntos de Classes de Alturas; e no quarto, textura e timbre.

[11] No original de Schubert, as quiálteras são anacrústicas.

consequência o contorno melódico). Esse acorde, enquanto estrutura arquetípica, estática e potencial, pode ser denominado, na terminologia de Guigue (2011), inspirada em Parks (1989) de **forma morfológica**; já as configurações melódicas que dele derivam são quatro de suas possíveis **formas cinéticas**. A forma cinética é, portanto, uma **projeção compositiva** da forma morfológica.

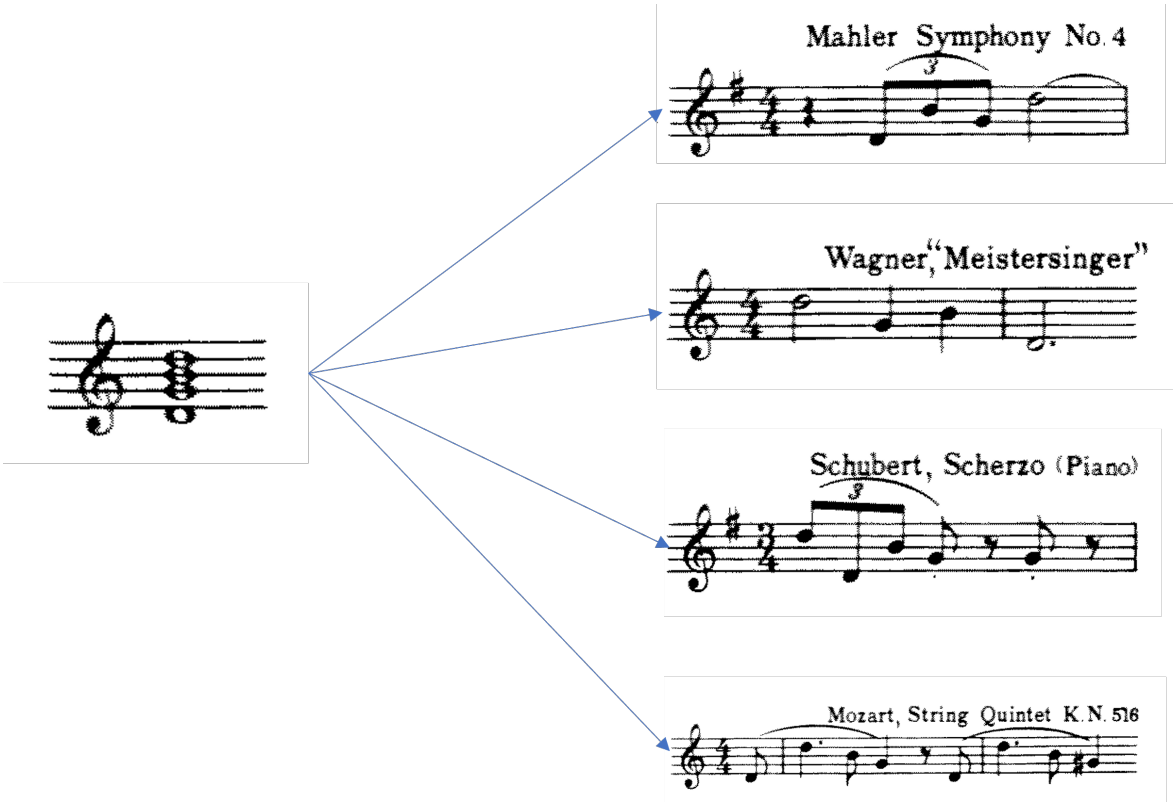

Fig. 1. *Quatro configurações melódicas distintas partindo de uma mesma configuração harmônica (Toch, 1977, p.63)*

Observemos mais detalhadamente a influência do ritmo na construção de uma linha melódica. Tomemos a linha de alturas (sem ritmo) mostrada na Fig. 2.[12] Podemos criar praticamente infinitas linhas melódicas diferenciadas com esse material ao acoplarmos a ele uma estrutura rítmica. As Figuras 3 a 6 mostram quatro dessas possibilidades.[13] No entanto, essa linha de alturas tem sua origem em uma obra bem distinta: a *Sonata para violino e piano Op.24*, de Beethoven (Fig. 7).[14]

[12] Esse exercício de observação é uma sugestão de Toch (1977, p.69)

[13] O foco de observação do(a) leitor(a) deve recair exclusivamente sobre a linha melódica situada no saxofone soprano (linha superior dos exemplos). A harmonização dessas linhas, assim como sua orquestração para quarteto de saxofones, não constitui o objeto analítico central, mas cumpre uma função ilustrativa e pedagógica: demonstrar que os procedimentos apresentados são musicalmente viáveis e passíveis de elaboração expressiva. Nesse sentido, a harmonização busca estimular estudantes de composição, evidenciando que tais recursos podem resultar em discursos musicais coerentes, convincentes e artisticamente relevantes, e não apenas em construções abstratas ou exercícios técnicos.

[14] Os áudios dos exemplos são fornecidos como links em rodapé. Todos os exemplos neste trabalho contemplam sons em altura real.

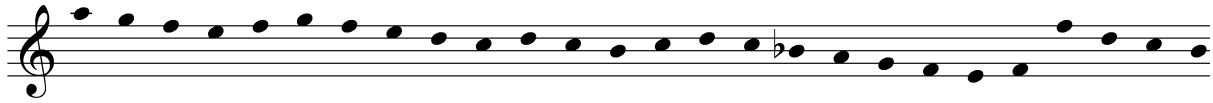

Fig. 2. *Linha de alturas (Toch, 1977, p.63).*[15]

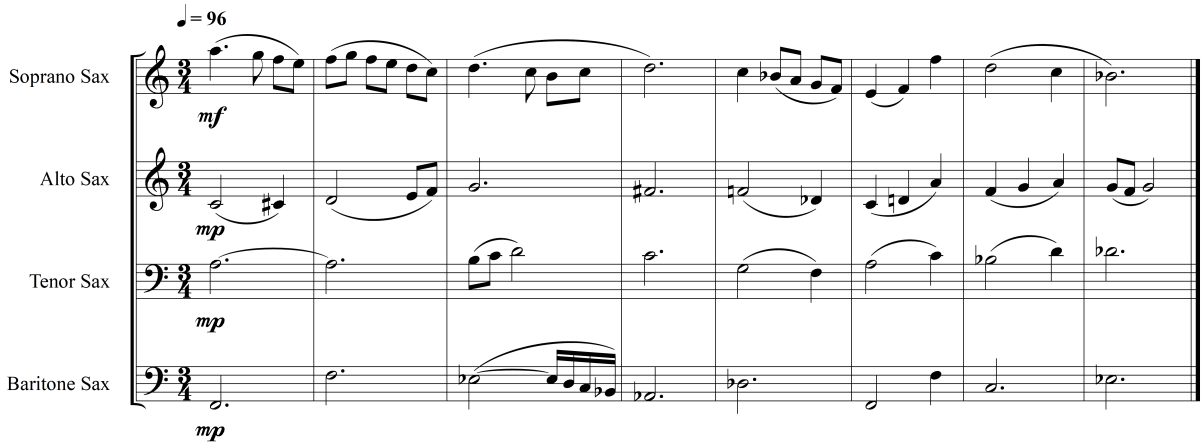

Fig. 3. *Possível linha melódica originada da linha de alturas sem ritmo da Fig.* **2** *e harmonizada livremente.*[16]

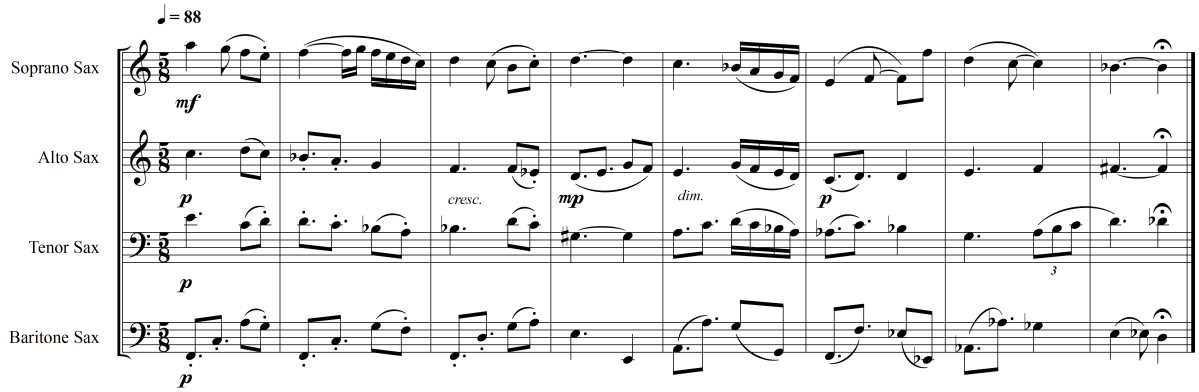

Fig. 4. *Realização próxima da Fig.* **3** *adaptada a uma métrica 5/8.* [17]

[15] https://youtu.be/FpsUgFZcYzY
[16] https://youtu.be/Ft5iQ5MUkGY
[17] https://youtu.be/6MsxReHlwpY

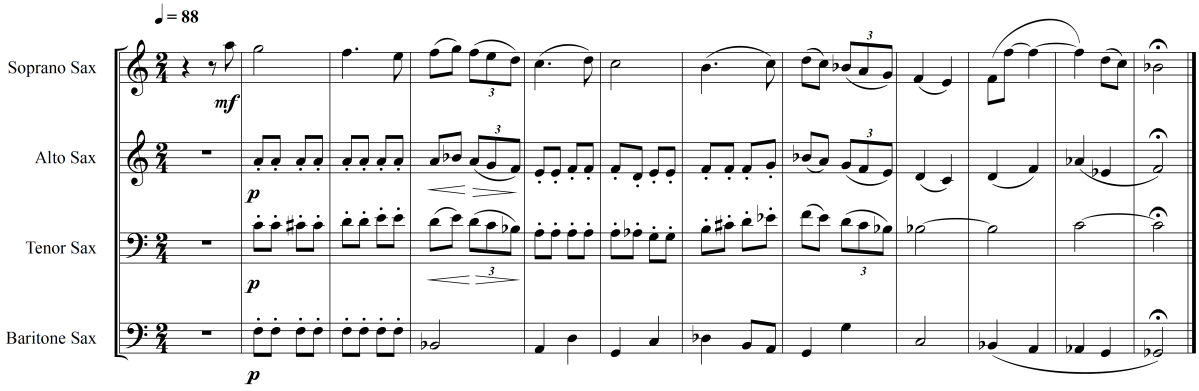

Fig. 5. *Outra construção melódica para a linha de alturas da Fig.* **2**. [18]

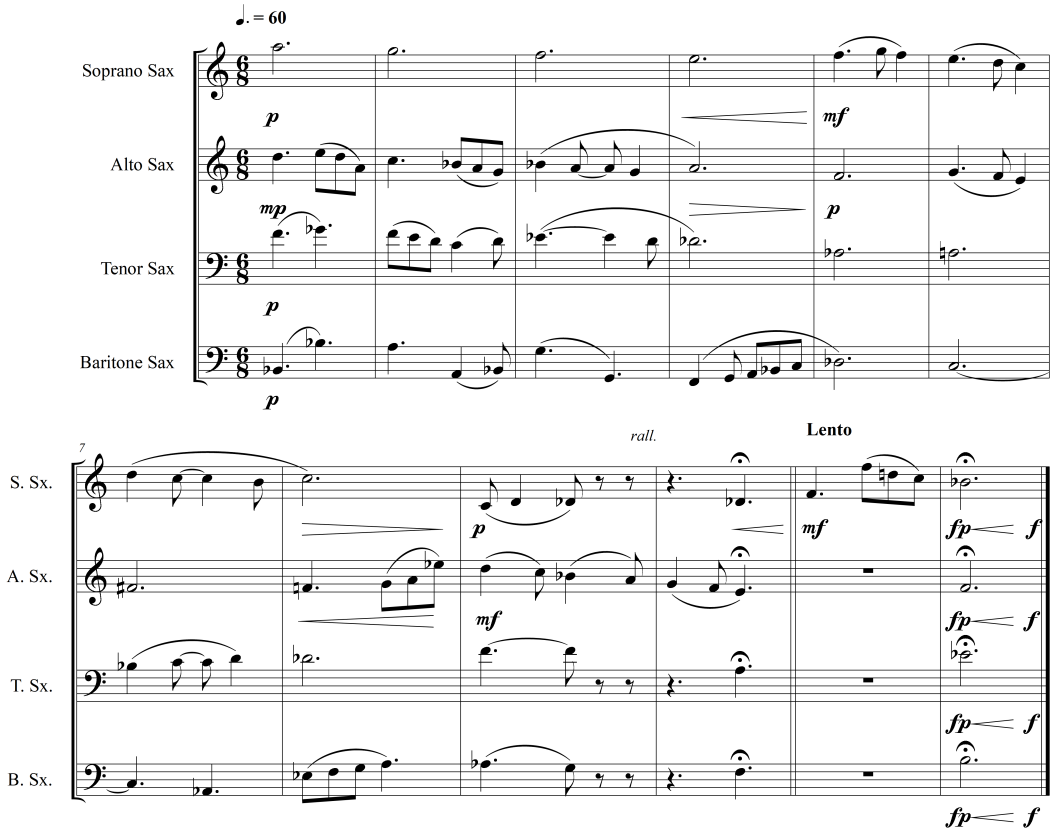

Fig. 6. *Uma quarta realização melódica da linha de alturas sem ritmo da Fig.* **2**.[19]

[18] https://youtu.be/MftA0h7foVg
[19] https://youtu.be/kJtNuOb8S-U

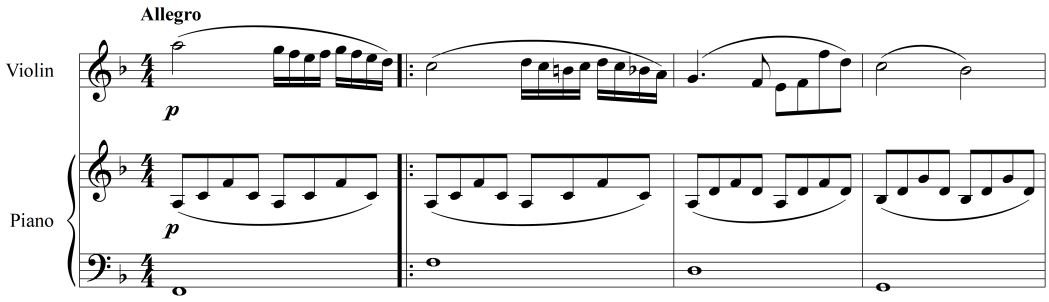

Fig. 7. *Sonata para violino e piano Op. 24, de Beethoven*[20]

Com base nesse exercício, pode-se compreender que uma melodia consiste em uma sucessão ordenada de alturas articuladas por uma sequência específica de valores rítmicos. A partir disso, é possível formalizar o conceito entendendo-a como **uma estrutura sonora gramatical coerente formada por uma sequência de alturas definidas acopladas a uma sequência rítmica**. A própria noção de sequência já implica ordenação, enquanto a coerência interna da melodia se estabelece pela recorrência e transformação de elementos que garantem continuidade perceptiva. Uma estrutura gramatical, por sua vez, envolve quatro aspectos: léxico, sintático, semântico e pragmático.

O aspecto léxico, na perspectiva melódica, é associado ao vocabulário de alturas. Já o sintático tem relação com a lógica de conexão e de ordenação das alturas. Mais complexo é o aspecto semântico. Na literatura, a semântica é associada ao significado, ao sentido das palavras; na computação é associada à linguagem formal que está sendo usada. Por exemplo, na literatura, a palavra "primavera" pode significar a estação do ano ou o tempo de vida de uma pessoa (de maneira metafórica); na computação, um programa está semanticamente correto quando realiza a função para a qual foi desenhado. A semântica musical trata de sentidos culturalmente estabilizados ou semioticamente recorrentes associados a configurações sonoras. No caso específico da melodia, isso aparece quando contornos, intervalos e gestos evocam significados reconhecíveis.

Na perspectiva da semântica musical, determinados gestos melódicos adquirem significados expressivos estabilizados historicamente. Hatten (1994; 2004) identifica o *pianto* – a segunda menor descendente – como signo de lamento e dor, destacando ainda que contornos descendentes prolongados expressam abatimento e resignação emocional, especialmente quando associados ao modo menor. Em contraste, gestos como o *whoop*, salto ascendente de oitava (Monelle, 2006), podem sinalizar energia heroica ou a tópica de caça,[21] dependendo do contexto. As bases cognitivas dessas correlações são discutidas por Meyer (1956, p.138–143), que demonstra como, no interior de normas estilísticas internalizadas, a direção do contorno melódico orienta expectativas afetivas: movimentos ascendentes

[20] https://www.youtube.com/watch?v=DHP9fQvTG7I&list=RDDHP9fQvTG7I&start_radio=1

[21] Em semiótica musical, uma tópica é um conjunto estilisticamente reconhecível de signos musicais, historicamente estabilizado, que evoca contextos culturais, afetivos ou retóricos específicos. Trata-se de uma convenção expressiva compartilhada, por meio da qual determinados gestos, padrões rítmicos, fórmulas melódicas, timbres ou texturas remetem a significados extramusicais. Os textos de Monelle e Hatten, supracitados, são importantes referenciais para o estudo desse conceito.

tendem a projetar continuidade e intensificação da tensão, enquanto movimentos descendentes tendem a produzir relaxamento e fechamento, efeitos não intrínsecos, mas normativamente e contextualmente mediados por parâmetros como registro e dinâmica. Assim, modos, intervalos e contornos não apenas estruturam a melodia, mas funcionam como portadores de significado expressivo reconhecível.

Por fim, o aspecto pragmático incorpora o significado no contexto identificando contradições e expansões terminológicas. Por exemplo, "não existe verdade" é uma expressão que se cancela a si mesma, por ser um paradoxo; na expressão "Você pode abrir a porta?", não se busca avaliar, na maioria dos casos, se a pessoa consegue abrir a porta, mas configurar um pedido ou mesmo uma ordem amenizada. Na perspectiva da pragmática musical, a melodia não é entendida apenas como uma sucessão estruturada de alturas e ritmos, mas como um signo em uso, situado em práticas culturais e em contextos interpretativos específicos. Monelle (2006) observa que a significação musical ultrapassa a sintaxe e a semântica isolada, pois as tópicas funcionam como forças sociais que remetem a visões de mundo historicamente constituídas; nesse sentido, nenhum significado musical é autossuficiente, já que a interpretação depende de como os signos são empregados em contextos culturais concretos. Hatten (2004) desenvolve essa abordagem ao enfatizar que o gesto musical, concebido como formato energético significativo ao longo do tempo, é inseparável de uma competência biológica e cultural que permite compreender ações, intenções e modalidades afetivas implicadas no discurso musical.

A pragmática emerge, então, na negociação contextual desses signos: tópicas ativam associações estilísticas convencionais, correlações mapeiam oposições musicais sobre oposições expressivas, e tropos sintetizam ou chocam significados já estabelecidos, produzindo novas leituras expressivas.[22] Além disso, a noção de agência proposta por Hatten (2004) introduz um nível hermenêutico no qual a melodia pode ser percebida como ação de um agente virtual ou persona musical, cujas escolhas gestuais orientam a trajetória dramática da obra. Assim, a pragmática da melodia consiste precisamente nesse campo em que signos, gestos, tópicos e agências se atualizam no uso, articulando cultura, contexto e discurso musical para gerar significados que não residem apenas nas notas, mas em sua inscrição social e interpretativa.

Para Schoenberg (1967; 1975), a melodia é a unidade estética e estrutural superior do discurso musical: uma ideia musical autônoma e completa em si mesma, dotada de direção, ritmo, acentuação e identidade reconhecível, construída por meio da variação progressiva,[23] processo no qual motivos se transformam mantendo coerência interna. Ela se distingue tanto da linha melódica, que designa apenas o fluxo linear de alturas – um contorno que pode surgir em qualquer voz e que não precisa ser

[22] Para Robert Hatten (1994), gesto, tópica e tropo formam uma gradação hierárquica de significação. O gesto é o nível expressivo mais elementar: um padrão energético no tempo, análogo ao movimento humano, articulando impulsos, tensões e direções que podem ser intuitivamente percebidas sem depender de convenções históricas. A tópica, por sua vez, é uma convenção cultural estabilizada, resultante da repetição estilística de certos gestos, ritmos, texturas ou modos que passam a evocar significados sociais ou afetivos identificáveis (como pastoral, marcha ou lamento). No nível superior, o tropo emerge da fusão retórica entre duas tópicas, ou entre uma tópica e um gesto, produzindo um significado novo e não redutível às partes isoladas. Assim, enquanto gesto e tópica fornecem o material expressivo herdado ou perceptivamente básico, o tropo constitui a síntese interpretativa que gera os sentidos emergentes próprios do discurso da obra.

[23] Sobre variação progressiva (*developing variation*) ver Almada (2009).

esteticamente completo – quanto da parte (instrumental ou vocal), a linha individual que integra a textura polifônica, cuja função primordial é realizar a condução de vozes entre acordes, mesmo que isso reduza seus atributos melódicos. Assim, enquanto a linha melódica descreve a continuidade horizontal básica e a parte cumpre um papel funcional dentro da textura contrapontística, a melodia, em sentido schoenberguiano, representa a realização plena da ideia musical: uma forma coerente, motivicamente organizada, expressivamente satisfatória e dotada de cantabilidade, capaz de existir e ser reconhecida independentemente do tecido contrapontístico que a sustenta.

A melodia ocupa, na estética de Olivier Messiaen, o lugar de fundamento expressivo e elemento primordial do discurso musical. Como declarou o próprio compositor (1956, p.13): "A melodia é o ponto de partida. Que ela permaneça suprema!",[24] insistindo tratar-se do "elemento primeiro" de sua linguagem. Para Messiaen, a harmonia deriva da melodia (Messiaen, 1956, p.31), é tratada de maneira não funcional (quase decorativa) e intimamente associada ao timbre (Johnson, 1989, p.13-18).[25] Em Messiaen, as estruturas melódicas emergem da interação entre ritmo, cor sonora (como harmonia-timbre) e contorno, organizadas em modos de transposição limitada e gestos que redefinem a continuidade musical fora da lógica funcional tonal, gerando um fluxo perceptivo próprio sem desenvolvimento harmônico tradicional. O ritmo é, dessa forma, um fator essencial e inseparável da altura. Suas melodias incorporam ritmos não retrogradáveis, proporções baseadas em números primos e dispositivos simétricos que ampliam a percepção temporal. O canto dos pássaros constitui sua principal fonte estrutural e espiritual: Messiaen via os pássaros como "os maiores músicos do planeta"[26] e transcreveu seus cantos com precisão científica, buscando expressar alegria, eternidade e liberdade. A melodia de Messiaen associa-se à cor por meio dos modos de transposição limitada, concebidos como combinações cromáticas específicas que articulam harmonia e timbre. De forte dimensão teológica, algumas de suas linhas melódicas derivam do canto gregoriano e expressam louvor, contemplação e transcendência. Assim, sua concepção melódica integra natureza, liturgia, ritmo e cromatismo em um gesto sonoro singular voltado à revelação do invisível.

Por outra via, David Epstein (1979), embora não apresente uma definição explícita de melodia, oferece uma contribuição decisiva para a compreensão do movimento melódico dentro de um

[24] "*The melody is the point of departure. May it remain sovereign!*".

[25] Como afirma Robert Johnson (1989, p.13), "para Messiaen, por outro lado, a harmonia é decorativa em vez de funcional, e a tonalidade é absorvida em uma concepção mais ampla de modalidade. Isso confere à sua música um caráter mais estático do que dinâmico (...)". No original: "*for Messiaen, on the other hand, harmony is decorative rather than functional, and tonality becomes absorbed into a broader conception of modality. This lends his music a static rather tha a dynamic quality*, (...)". E acrescenta (p.18): "Tradicionalmente, harmonia e timbre são conceitos bastante distintos, mas o uso da ressonância acrescentada aproxima ambos de tal modo que a harmonia passa a funcionar como timbre. Esse conceito permeia grande parte do pensamento harmônico de Messiaen, particularmente em sua produção tardia. Seus acordes tornam-se "entidades sonoras", completas em si mesmas, e o ouvinte não deve perceber as notas individuais que constituem um acorde". No original: "*Traditionally, harmony and timbre are quite separate concepts, but the use of added resonance brings the two together in a way which enables harmony to function as timbre. This concept pervades much of Messiaen's harmonic thought particularly in his later music. His chords become 'sound entities', complete in themselves, and the listener should not be aware of the individual notes which constitute a chord*".

[26] Segundo Johnson (1989, p.116), Messiaen mencionou em uma entrevista (com Claude Samuel) que "na hierarquia artística, os pássaros são provavelmente os maiores músicos a habitar o nosso planeta.". No original: "*Among the artistic hierarchy, the birds are probably the greatest musicians to inhabit our planet*".

quadro temporal e motivicamente orientado. Em vez de conceituar a melodia como uma entidade autônoma, Epstein concentra-se na maneira como motivos, padrões intervalares e articulações rítmicas se desdobram no tempo real da escuta, enfatizando a duração como um dos elementos mais fundamentais da experiência musical. Sua análise busca correlacionar o comportamento melódico com a *Grundgestalt* schoenberguiana, [27] examinando como uma forma básica pode irradiar consequências estruturais perceptíveis ao longo de uma peça, especialmente no que diz respeito à continuidade, antecipação e inferência formal. Assim, a melodia é tratada por Epstein essencialmente como movimento, ou seja, como um processo dinâmico que emerge da interação entre ritmo, altura e forma, em oposição a uma definição estática ou meramente descritiva. O autor também dedica atenção à identificação de padrões e agrupamentos, articulando relações entre unidades motívicas e estruturas maiores, e incorporando perspectivas oriundas da teoria da informação, da linguística e de modelos sistemáticos de análise. Essa abordagem, ao situar a melodia no domínio das relações temporais e da coerência gerada pelo motivo, desloca o foco do "que é" a melodia para "como ela opera" enquanto fenômeno dinâmico, perceptivo e estrutural. Desse modo, mesmo sem propor um conceito fechado, Epstein contribui de maneira profunda para o entendimento da melodia enquanto fenômeno processual, cuja identidade se forma não por definição isolada, mas por sua função na temporalidade da obra musical.

Outras definições para o conceito de melodia encontradas na literatura são, por exemplo, as de Ringer (2001) – "sons de altura definida organizados em um tempo musical de acordo com determinadas convenções e restrições culturais"[28] – e de Aniruddh D. Patel. A compreensão da melodia em Patel, particularmente em *Music, Language, and the Brain*, parte de uma perspectiva cognitiva que ultrapassa definições puramente físicas ou descritivas. Em vez de concebê-la como mera sucessão de sons, Patel (2008, p.182) a define como "uma sequência organizada de alturas que transmite uma rica variedade de informações a um ouvinte", [29] percebida pelo sistema auditivo como uma rede de padrões interconectados na mente.

Assim, a melodia é resultado de um processo construtivo no qual o cérebro converte a sequência bidimensional de altura e tempo em um conjunto complexo de relações perceptivas. Esse processamento depende da aquisição cultural de categorias de som aprendidas, dentro das quais intervalos deixam de ser simples razões acústicas e passam a operar como entidades psicológicas. Patel destaca os mecanismos cognitivos que organizam a melodia: o contorno melódico, uma das primeiras estruturas discriminadas na infância; as implicações intervalares que moldam expectativas; e as hierarquias tonais, que estruturam estabilidade e tensão. O autor traça ainda paralelos com a linguagem, argumentando que a melodia musical e a entoação da fala compartilham mecanismos cognitivos para o processamento de categorias sonoras, embora a melodia musical seja um objeto estético, muito mais rico em relações perceptuais. Evidências neurofisiológicas, como estudos de *Mismatch Negativity*, mostram que o cérebro

[27] Sobre *Grundgestalt* em Schoenberg ver Mayr e Almada (2015).

[28] No original: "(…) *pitched sounds arranged in musical time in accordance with given cultural conventions and constraints*, (...)".

[29] No original: "(…) *an organized sequence of pitches that conveys a rich variety of information to a listener* (…)".

responde mais fortemente a intervalos culturalmente familiares, reforçando a ideia de que a melodia depende de representações internalizadas e não apenas de propriedades físicas. Para Patel, portanto, a melodia é um fenômeno cognitivo complexo, sustentado por aprendizado cultural, expectativas dinâmicas e redes distribuídas de memória e categorização.

Por fim, é importante mencionar a pesquisa de Martin Kaltenecker em *L'expérience mélodique au XXe siècle* (2024), que constitui uma das mais abrangentes tentativas recentes de repensar o conceito de melodia no contexto da modernidade musical. Partindo da constatação de que a teoria da melodia permaneceu historicamente fragmentada e pouco sistematizada, Kaltenecker propõe um enquadramento tripartido que articula perspectivas sistemáticas, históricas e repertoriais. No plano sistemático, o autor mapeia diversas concepções estruturais de elaboração melódica – da abordagem harmônico-frasal às concepções neumáticas, passando pelo gestaltismo, pela energia do fluxo melódico, pela análise tímica e pela ideia de melodia em camadas – evidenciando a pluralidade de modelos que se consolidaram ao longo do século XX. A perspectiva histórica reconstrói a genealogia da melodia desde sua relação com a voz polifônica medieval até sua problematização na modernidade, enfatizando debates como o "fim das belas melodias" (Kaltenecker, 2024, p.58–61), a dissolução da linha melódica e a emergência de novas formas de linearidade em repertórios atonal, serial, espectral e experimental. Por fim, a extensa seção dedicada ao percurso analítico percorre obras de Debussy, Schoenberg, Messiaen, Boulez, Stockhausen, Cage, Nono, compositores pós-modernos e práticas contemporâneas como o *loop* e a música eletroacústica, mostrando que a melodia, longe de desaparecer, transforma-se continuamente em resposta a estéticas, tecnologias e políticas culturais. O livro revela que a experiência melódica do século XX é múltipla, estratificada e profundamente reinventada, situando a melodia não como um vestígio de tradições passadas, mas como uma categoria viva que atravessa e reconfigura a escuta moderna.

2. Abordagens de construção melódica

A construção melódica ocorre predominantemente de forma livre e intuitiva, como resultado de uma prática vocal/instrumental ou da imersão em um ambiente cultural em que a criação melódica seja um fenômeno natural oriundo de uma prática de tradição oral. Aqui, no entanto, trataremos de procedimentos racionais/formais que podem ser utilizados como metodologia de construção melódica, incluindo os processos auxiliados por computador. Nesta seção, traçamos um panorama não exaustivo de diversas possibilidades de abordagens que concorrem para a construção melódica.

2.1 Abordagem vertical

Nesse tipo de abordagem, a melodia surge a partir de indicações harmônicas, ou seja, uma harmonia é inicialmente proposta e, partindo-se dessa informação, uma linha melódica é construída. Nessa construção, pode-se priorizar um contorno melódico bem definido, com um único clímax e um único nadir

(ponto mais baixo) e decidir que estrutura rítmica será empregada: a) padrões rítmicos que se repetem periodicamente; b) segmentos rítmicos distintos. Nessa abordagem é importante a inclusão de notas ornamentais (notas de passagem, bordaduras etc.) para evitar uma linha melódica construída unicamente por arpejos de acordes, embora se possa utilizar essa estratégia (uso de arpejos) para a criação de uma estrutura inicial à qual serão adicionadas as notas ornamentais. Na Fig. **8**, uma progressão harmônica executada pelo violão é a base para a construção da melodia da flauta. Do compasso 1 ao 7, essa melodia foi construída unicamente a partir de arpejos dos acordes sugeridos pelo violão. Do compasso 8 ao 14, notas ornamentais foram inseridas nessa mesma melodia, enriquecendo o fluxo melódico.

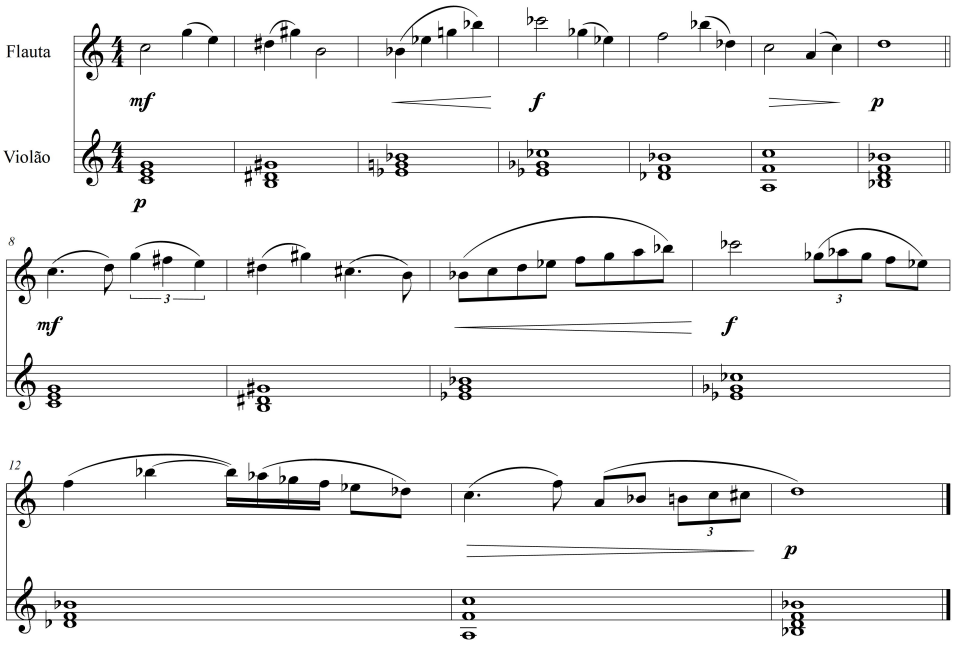

Fig. 8. *Melodia construída com base em uma progressão harmônica.* [30]

Essa abordagem pode ser automatizada computacionalmente, pelo menos, nas suas duas fases iniciais: escolha dos acordes e escolha das notas (alturas e durações). No fluxograma da Fig. **9** o usuário insere acordes de sua preferência ou permite que o programa (Apêndice 1) realize um sorteio desse material partindo de um repositório. Esse repositório pode consistir em alturas (ou classes de alturas), a partir das quais se formam acordes (de qualquer cardinalidade), ou em acordes pré-configurados, organizados em listas e armazenados em um banco de dados. O segundo passo consiste em um sorteio da métrica dentro da qual opera cada acorde selecionado na fase anterior. No terceiro passo, as notas, em termos de suas alturas e durações, são sorteadas gerando uma linha melódica. Na fase seguinte essa melodia é acoplada aos acordes previamente determinados.

[30] https://youtu.be/J68UEoD5GDQ

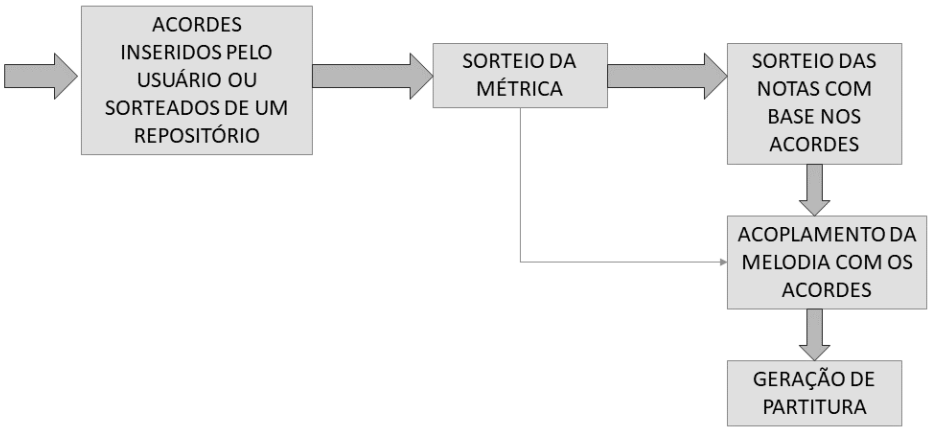

Fig. 9. *Fluxo algorítmico para a abordagem vertical de construção melódica*

Por último, essas duas linhas – melodia e acordes – são traduzidas para notação musical ocidental (Fig. **10**). No caso específico deste trabalho, utilizamos a biblioteca *music21* e a linguagem *Python*. A fase final – inserção de notas ornamentais, ajustes métricos e orquestração – foi realizada sem mediação computacional (Fig. 11), mas uma linha melódica com esse nível de detalhamento pode ser implementada com gramática estocástica (Rader, 1974; Perchy e Sarria, 2009),[31] cadeias de Markov prescritivas (como veremos na seção 3.6) e redes neurais.

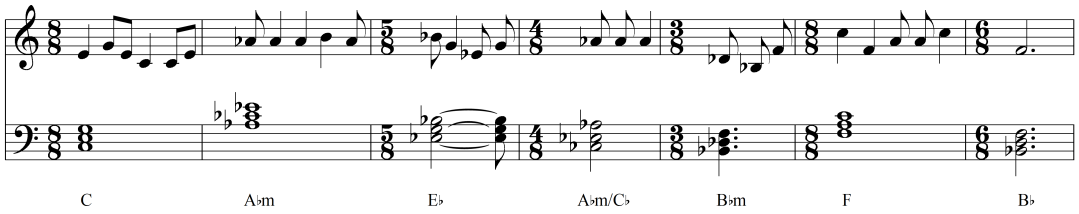

Fig. 10. *Linha melódica e métrica gerados computacionalmente, e acordes selecionados pelo usuário*[32]

[31] Donya Quick e Paul Hudak (2013, p.59) mencionam algumas limitações das gramáticas convencionais utilizadas para automatização de composições musicais: 1) São incapazes de capturar o compartilhamento de frases idênticas (algo necessário em formas ABA, por exemplo); 2) Não consideram fatores probabilísticos; 3) Não capturam aspectos temporais.

[32] Neste exemplo, os acordes em notação musical apenas ilustram a cifragem alfanumérica, ou seja, não se conectam através de procedimentos de condução de vozes da harmonia tradicional de prática comum. Link: https://youtu.be/Ka2s81Xs2fw.

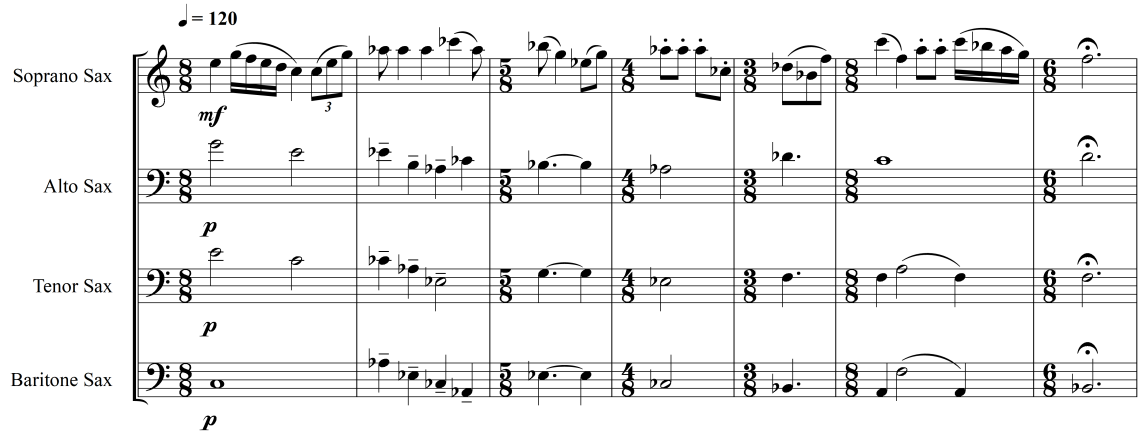

Fig. 11. *Linha melódica e acordes da Fig.* **10** *com ornamentação e orquestração para quarteto de saxofones*[33]

2.2 Abordagem horizontal

Diferentemente da abordagem anterior, essa abordagem foca unicamente na construção melódica sem a preocupação explícita com uma harmonia subjacente que lhe defina os caminhos. Pode-se pensar aqui 1) nas diretrizes para a construção de *cantus firmi* propostas por Fux (1971) ou Jeppesen (1992), no âmbito dos estudos de contraponto modal/tonal, 2) nas regras de Paul Hindemith (1947) para a construção de melodias, ou, dentro da mesma linha, 3) no *Melos* de Guerra-Peixe (1988). Aqui, proporemos a construção melódica a partir da concatenação de células pré-compostas de três ou quatro alturas e suas transformações canônicas (inversão, retrogradação, inversão da retrogradação e transposição). A concatenação dessas células não segue necessariamente as regras propostas por Guerra-Peixe, embora utilize algumas de suas estratégias de construção.[34]

Sugerimos uma metodologia em quatro fases. Na primeira (Linha 1 da Fig. **12**), duas células de alturas são propostas. Observe que essas células não são associadas a configurações rítmicas, nem possuem acidentes, ou seja, são baseadas na escala diatônica de Dó. Na segunda fase, concatenam-se diversas versões das células (Linha 2) produzidas a partir da aplicação de operações como Transposição diatônica (D), Inversão diatônica (J) e Retrogradação (R). As transposições e inversões são realizadas em

[33] https://youtu.be/Y4pjeuo8XOg

[34] César Guerra-Peixe em *Melos e Harmonia Acústica* (1988) constitui uma metodologia rigorosa de construção melódica cujas raízes remontam a dois vetores decisivos de sua formação: (1) seus estudos dodecafônicos com Hans Joachim Koellreutter em 1944 e (2) o modelo de linearidade intervalar de Paul Hindemith em *The Craft of Musical Composition* (1937). Embora Guerra-Peixe tenha posteriormente rejeitado sua "fase estrepitosa" dodecafônica, os princípios técnicos adquiridos nesse período foram retrabalhados em um sistema didático orientado à coesão, à independência do material melódico e à supressão de qualquer sugestão de funcionalidade tonal. O *melos* organiza-se em torno de regras estritas: a primazia da relação de segundas como lei universal de boa condução melódica; a eliminação de centros tonais por meio da proibição de arpejos, acordes implícitos e alterações cromáticas; o controle da linearidade mediante limites de movimento e compensação de saltos; e uma concepção de tensão–afrouxamento articulada pela definição de clímax e proporções estruturais. A exclusão inicial do ritmo — retomada apenas na etapa melorrítmica — reforça o caráter analítico do método, que trata altura e duração de forma separada, à semelhança de Hindemith. No conjunto, o *melos* configura uma ética de escrita em que a melodia é construída de modo objetivo, com forte ênfase no acabamento linear, na simetria e no distanciamento deliberado da harmonia funcional, revelando a tentativa de Guerra-Peixe de conciliar a disciplina técnica da vanguarda com uma pedagogia prática de composição. Uma reflexão aprofundada sobre essa metodologia é descrita em Hartmann (2013).

termos de intervalos diatônicos. Por exemplo, a transposição do intervalo ascendente Dó-Ré uma terça acima resulta em Mi-Fá; a inversão desse mesmo intervalo resulta no intervalo descendente Dó-Si. Cuida-se também para que só haja um nadir (ponto mais baixo) e um clímax (ponto mais alto). Na terceira fase, inserem-se acidentes livremente (Linha 3). Na quarta e última fase, são aplicadas as configurações rítmicas, as dinâmicas, articulações, andamento e timbre (Linha 4). Nessa abordagem não há preocupação com uma harmonia subjacente, como na abordagem anterior.

O desenvolvimento computacional dessa abordagem envolve inicialmente a inserção de duas células geradoras (A e B, no exemplo da Fig. 12) e de um ciclo de operações a ser executado. O programa (Apêndice 2), cujo fluxo de trabalho é mostrado na Fig. 13, realiza as operações, insere aleatoriamente acidentes e concatena os resultados, produzindo uma saída de alturas (Fig. 14). Os ritmos, as dinâmicas, as articulações, o andamento e o timbre são definidos manualmente (Fig. 15), bem como a harmonização e a orquestração (Fig. 16).

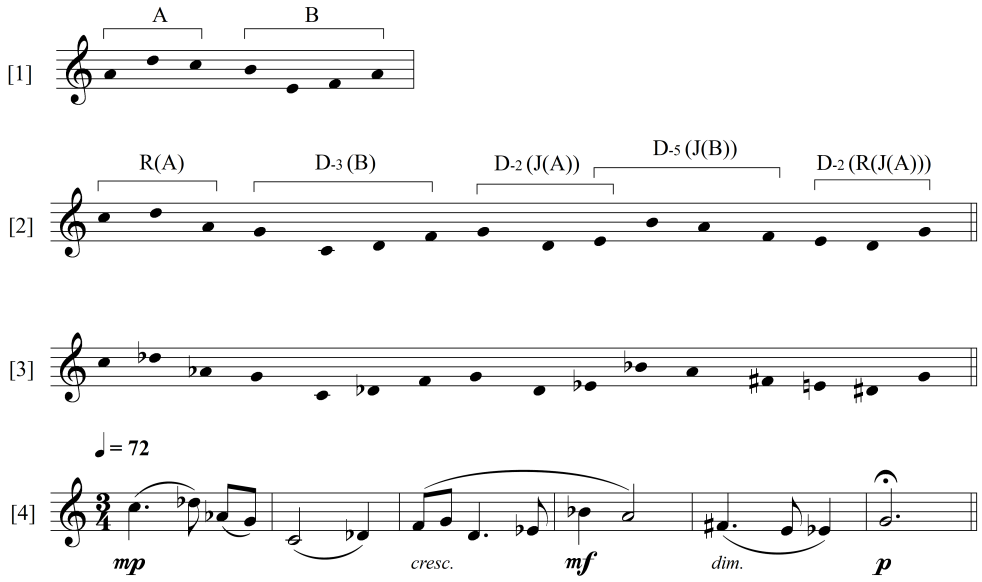

Fig. 12. *Melodia construída pela concatenação de células pré-compostas.*[35]

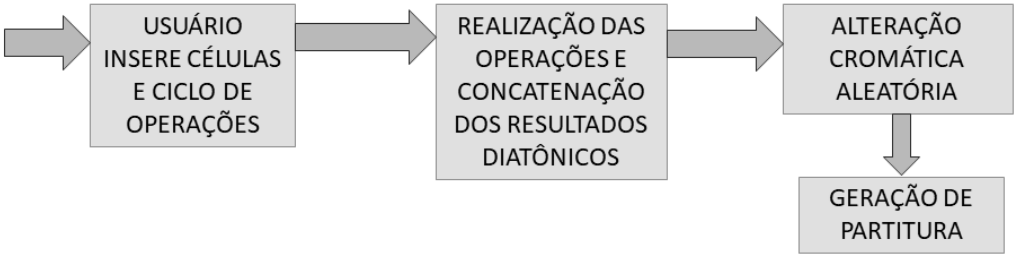

Fig. 13. Fluxo algorítmico para a abordagem horizontal de construção melódica

[35] https://youtu.be/ZeUFv58nV1M

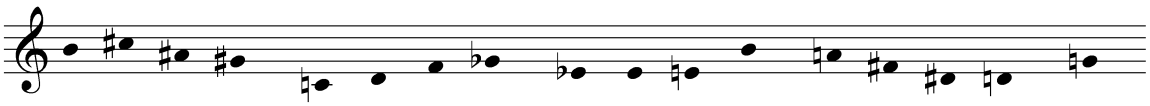

Fig. 14. Linha de alturas construída computacionalmente a partir de células geradoras e ciclos de operações fornecidos pelo usuário

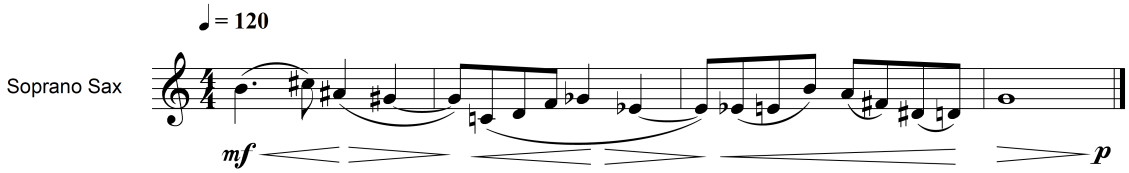

Fig. 15. Inclusão de ritmo, dinâmicas, articulações, andamento e timbre na linha de alturas da Fig. **14**.[36]

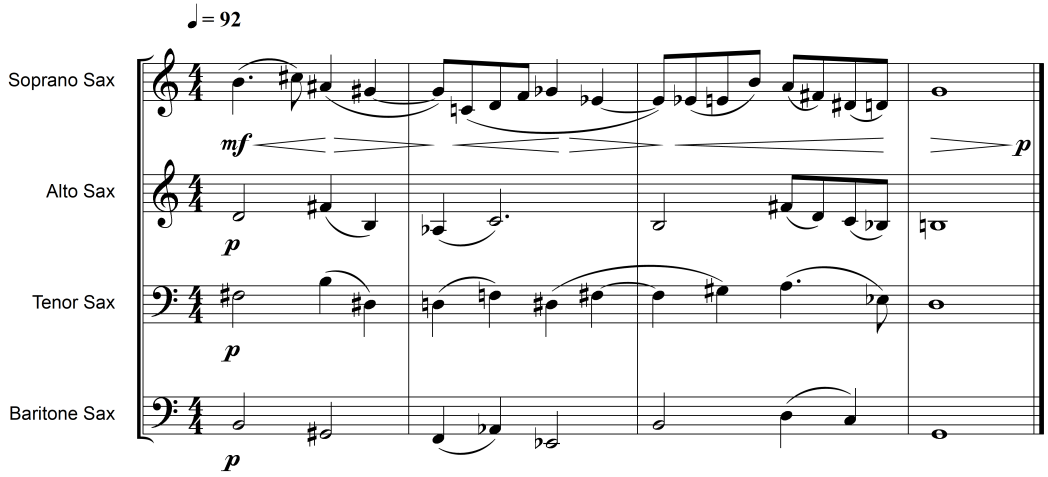

Fig. 16. Harmonização e orquestração para quarteto de saxofones da linha melódica da Fig. **15**.[37]

2.3 Abordagem híbrida

Nessa abordagem, utiliza-se tanto uma harmonia subjacente quanto células pré-compostas. No exemplo da Figura 17, utilizamos a mesma linha melódica da terceira fase da abordagem anterior (Figura 12) adaptada a uma nova harmonia.

[36] https://youtu.be/7lSVh7Mg4GM
[37] https://youtu.be/QMubf-RrqCk

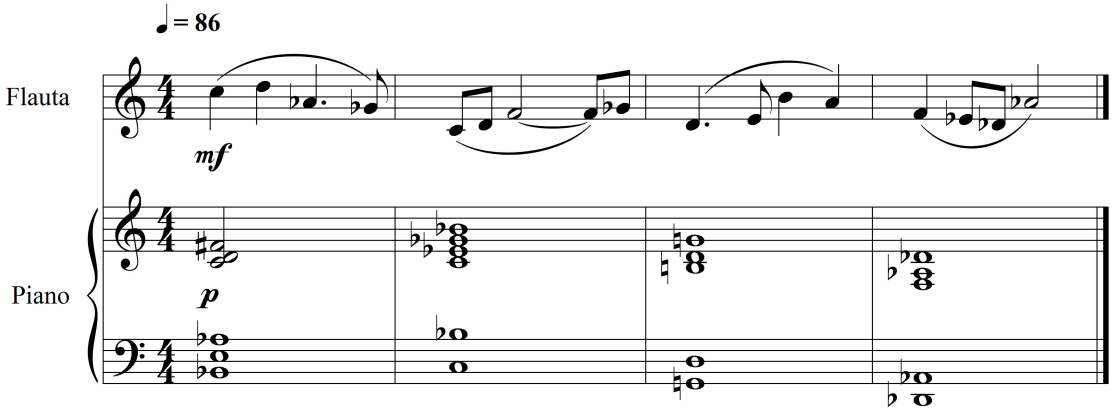

Fig. 17. *Abordagem híbrida: melodia construída pela concatenação de células pré-compostas (abordagem horizontal) que se adaptam a uma harmonia subjacente (abordagem vertical).*[38]

2.4 Abordagem aleatória

Nessa abordagem, as alturas e/ou as durações resultam de um procedimento aleatório, como um sorteio de dados, uma rotina computacional etc. Podem-se estabelecer regras e filtros que conduzam o resultado por alguns caminhos, eliminando outros. O trecho da Fig. 18 foi gerado a partir de um pequeno programa em *Python* (Apêndice 3) que sorteia 20 classes de alturas sem nenhuma regra ou critério de filtragem inicial. A essas notas foram incorporados outros parâmetros – ritmos, articulações, dinâmicas, andamento e timbre – resultando no fragmento da Fig. 19, que foi posteriormente harmonizado e orquestrado para quarteto de saxofones (Fig. 20).

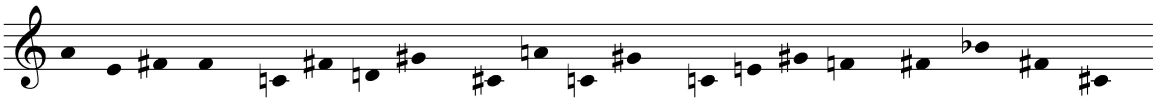

Fig. 18. *Classes de alturas produzidas aleatoriamente por um programa escrito em Python.*[39]

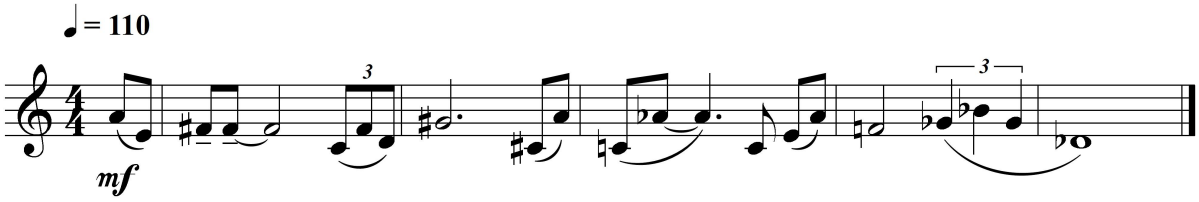

Fig. 19. *Aplicação de ritmos, articulações, dinâmicas, andamento e timbre no trecho da Fig.* **18**.[40]

[38] https://youtu.be/-TX2z0NAE8U
[39] https://youtu.be/dxwLEXSlRog
[40] https://youtu.be/dxwLEXSlRog?si=BRBttX-CgbeOZ3dh&t=12

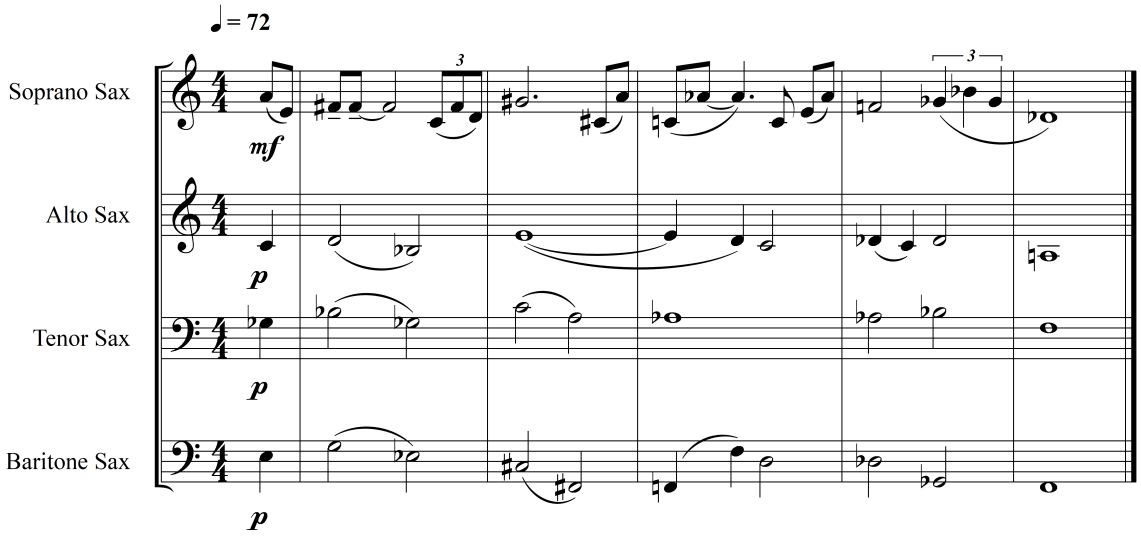

Fig. 20. *Harmonização e orquestração da linha melódica da Fig.* **19**.[41]

2.5 Abordagem gestáltica

James Tenney e Larry Polansky (1980, p.207)[42] compreendem o tecido musical, de alguns repertórios, como a interação de unidades gestálticas temporais hierarquizadas. O Elemento é a menor unidade indivisível. Elementos se agrupam para formar *Clangs*,[43] os quais se agrupam para formar Sequências. Essas, por sua vez, se agrupam para formar Segmentos. Um conjunto de segmentos determina as Seções, as quais se reúnem para formar uma Peça.

O exemplo da Fig. **21** ilustra o procedimento de cálculo para a delimitação de *Clangs*. Inicialmente as alturas são identificadas por um número que corresponde ao número MIDI subtraído de 12 (considerando-se que o Dó central do piano vale 60). Partindo-se desses valores, os intervalos entre as alturas são calculados. Em seguida, calculam os intervalos entre duas durações, tomando-se como referência a semínima, com valor 1. Os intervalos entre as alturas e os intervalos entre as durações são somados, produzindo um valor que se denomina Distância Média. As distâncias médias, cujos valores são maiores do que os antecedentes e os consequentes delimitam a fronteira entre dois *Clangs*.

[41] https://youtu.be/dxwLEXSlRog?si=-g-CEy64gdQ3wKya&t=26
[42] Ver também Tenney (1988).
[43] Segundo Tenney (1988, p.87), o *clang* é "um som ou uma configuração sonora percebida como uma unidade musical primária ou uma *gestalt* auditiva". No original: "A sound or sound-configuration which is perceived as a primary musical unit or aural gestalt".

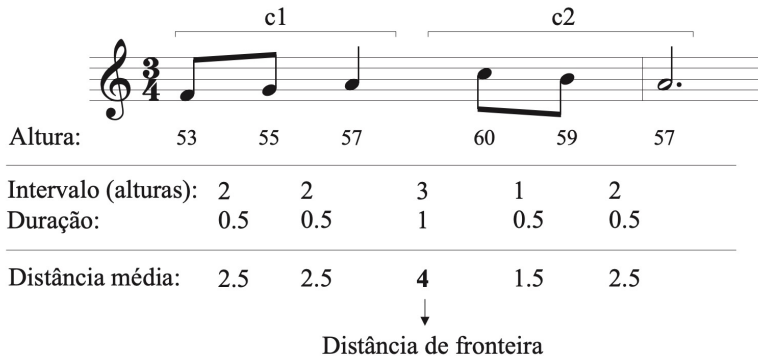

Fig. 21. *Procedimento para delimitação de Clangs (Oliveira, 2020, p. 95)*

A delimitação do próximo nível hierárquico é um pouco mais complexa, segundo o procedimento de cálculo sugerido por Tenney e Polansky (1980). O primeiro passo consiste em calcular o valor médio entre as alturas de cada *Clang*. Na Fig. 22, que é um excerto de um trecho maior, o valor médio das alturas do *Clang* c5 é $(49 + 42)/2 = 45{,}5$. Esse cálculo determina a Altura Média. Em seguida, calcula-se o intervalo entre as alturas médias. Por exemplo, o intervalo entre as duas primeiras alturas médias é $45{,}5 - 32{,}66 = 12{,}84$. O segundo passo consiste em calcular a duração total dentro do mesmo *Clang*: $0{,}75 + 0{,}75 = 1{,}5$. Esses dois valores – duração total e altura média – se somam produzindo o valor da Distância: $12{,}84 + 1{,}5 = 14{,}34$. Esse valor é por fim adicionado à distância do *Clang* para produzir a Disjunção: $10{,}75 + 14{,}34 = 25{,}09$. As disjunções são comparadas. Aquela que tiver um valor maior que seu antecedente e seu consequente delimita uma sequência.

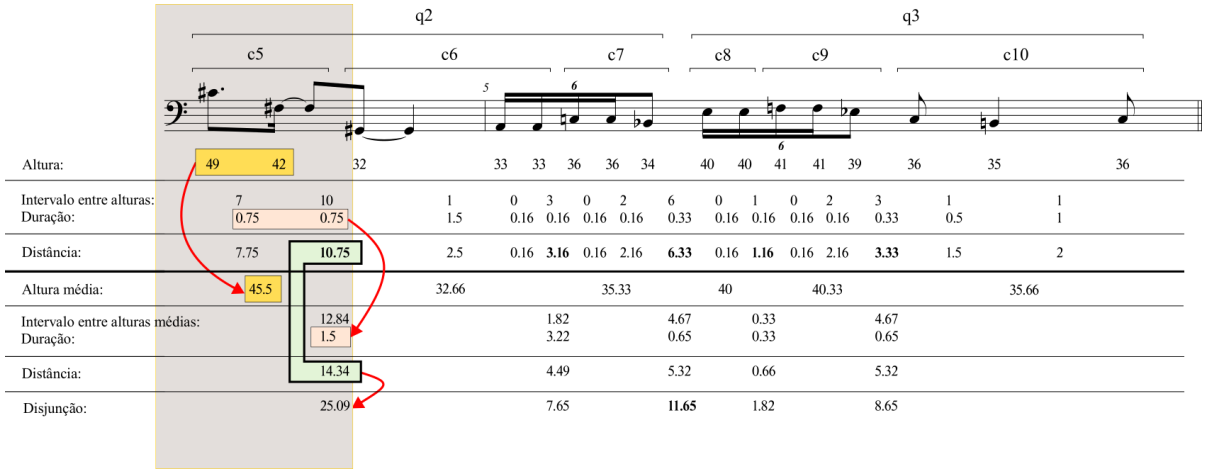

Fig. 22. *Procedimento para delimitação de Sequências (Oliveira, 2020, p. 95-96)*

É fácil verificar que esse procedimento de cálculo é tedioso, repetitivo e susceptível a erros – características ideais para uma automatização computacional. Nessa perspectiva, Raphael Sousa Santos, pesquisador independente que contribui ativamente para o Grupo de Estudos em Sistemas Composicionais, um ramo do Grupo de Pesquisas MusMat, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), criou o *CAGE* (Fig. 23), *Computer Assisted Gestalt Environment*, para ser utilizado na tese de doutorado de Helder Alves

de Oliveira, orientada por mim, no Programa de Pós-Graduação em Música (PPGM), da UFRJ. O *CAGE* lida exclusivamente com a dimensão melódica (mesmo a pesquisa de Tenney e Polansky se restringe a essa dimensão).

Esse programa, que pode rodar em qualquer navegador (uma vez que foi escrito em Javascript) opera tanto no modo analítico como composicional. No modo analítico é necessário traduzir o trecho para uma linguagem própria do programa, similar ao Lilypond.[44] No modo composicional, denominado RANDOM no programa, ele gera uma série de notas, cuja quantidade é especificada no campo NUMBER. O resultado é produzido em Lilypond e apresenta a segmentação das unidades gestálticas temporais. O resultado dessa segmentação pode ser ajustado conferindo maior peso ao intervalo ou à duração. A Fig. 24 apresenta um trecho de uma saída do CAGE no modo composicional (RANDOM), com as indicações de *Clang* (c), sequência (q), segmento (g) e seção (s). Essa melodia foi harmonizada e orquestrada manualmente para quarteto de saxofones (Fig. 25).[45]

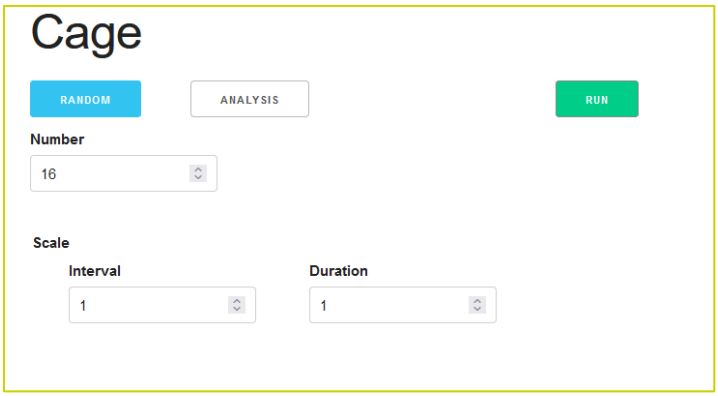

Fig. 23. *Interface gráfica de usuário do CAGE – Computer Assisted Gestalt Environment (Santos, 2023) no modo composição (Random).*

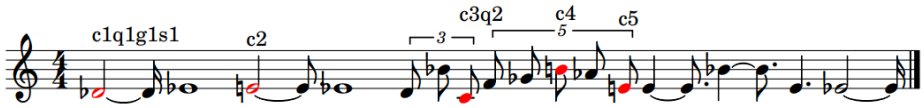

Fig. 24. *Trecho de uma saída do CAGE no modo composicional (RANDOM), com as indicações de Clang (c), sequência (q), segmento (g) e seção (s).*[46]

[44] Uma explicação detalhada dessa linguagem, com exemplos, pode ser encontrada em Oliveira (2020, p. 97-98). Um exemplo de uso dessa linguagem é mostrado no Apêndice 0.
[45] A métrica indicada no início da melodia gerada pelo CAGE é meramente uma sugestão inicial, mas o resultado deve ser remetrificado pelo(a) compositor(a).
[46] https://youtu.be/5HRha8lGQ9Y

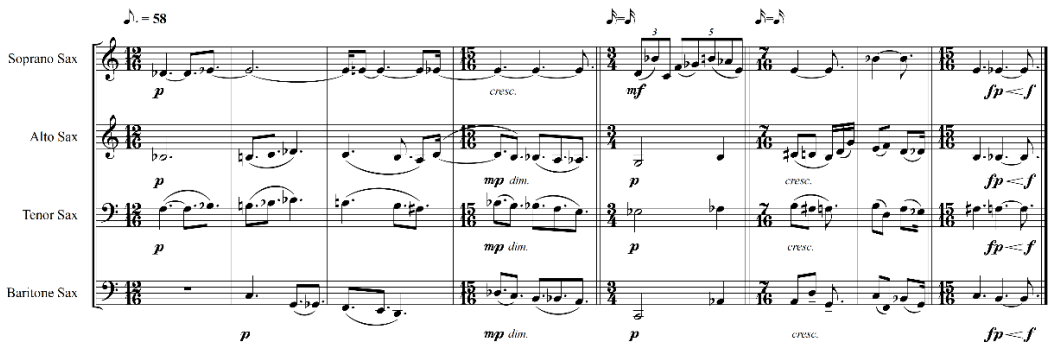

Fig. 25. *Harmonização e orquestração da melodia da Fig.* **24** *gerada pelo CAGE.*[47]

2.6 Abordagem gestáltica

Em termos probabilísticos, um **processo markoviano** se refere a um tipo de processo em que o estado atual depende exclusivamente do estado imediatamente anterior, sem que haja qualquer relação causal com os demais estados anteriores (Papoulis, 2002, p. 695). Esses processos, por sua vez, podem ser classificados como discretos ou contínuos no tempo. No contexto específico da pesquisa musical, as cadeias de Markov discretas no tempo vêm sendo amplamente aplicadas no âmbito da análise e da composição musical. Por meio de um estudo prático, apresentamos aqui uma breve reflexão sobre o uso das **cadeias de Markov** na geração de novas obras musicais em termos melódicos, a partir de duas perspectivas: 1) Descritiva e 2) Prescritiva. Essa metodologia pode ser evidentemente expandida para outros parâmetros e outras dimensões paramétricas: harmonia, ritmo etc.

2.6.1 Abordagem markoviana descritiva

Inicialmente tomemos a linha melódica da voz de uma obra de José Maurício Nunes Garcia e façamos um inventário dos movimentos melódicos. Transcrevemos aqui a melodia com as indicações do valor MIDI[48] abaixo de cada nota (Fig. **26**). Com base nessa figura, contamos a quantidade de vezes que uma determinada nota vai para outra nota. Por exemplo, o Dó mais grave do trecho, valor MIDI 48, se move uma única vez em direção ao 53; já o Dó mais agudo (60) se move duas vezes para 58 e uma vez para 60. Esse inventário de movimento melódico pode ser registrado em uma matriz de contagem, produzindo a Tab. **1**, ou em um grafo (Fig. **27**). Observe que somente o parâmetro altura está sendo considerado nesse momento.

[47] https://youtu.be/5HRha8lGQ9Y?si=BV1deXEP59lTa14m&t=34

[48] O valor MIDI é uma convenção que permite a conversão dos valores associados aos parâmetros musicais (altura, duração etc.) em números inteiros.

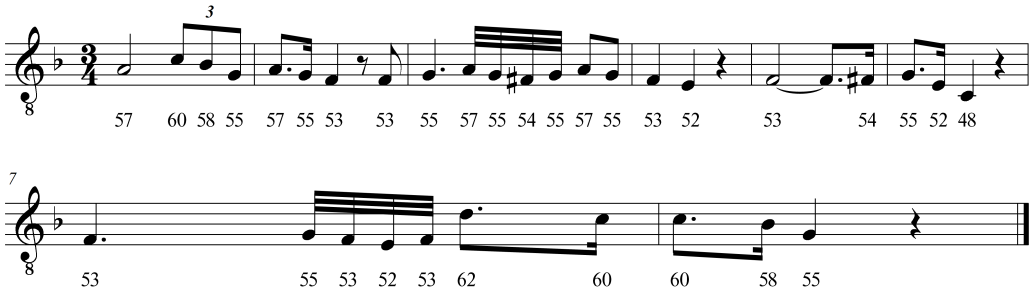

Fig. 26. *Linha melódica de Beijo a mão que me condena, de José Maurício Nunes Garcia, com indicação dos valores MIDI para cada nota.*[49]

Tab. 1. *Matriz de contagem dos movimentos entre notas na linha melódica de Beijo a mão que me condena, de José Maurício Nunes Garcia.*

	48	52	53	54	55	57	58	60	62
48	0	0	1	0	0	0	0	0	0
52	1	0	2	0	0	0	0	0	0
53	0	2	1	1	2	0	0	0	1
54	0	0	0	0	2	0	0	0	0
55	0	1	3	1	0	3	0	0	0
57	0	0	0	0	3	0	0	1	0
58	0	0	0	0	2	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	2	1	0
62	0	0	0	0	0	0	0	1	0

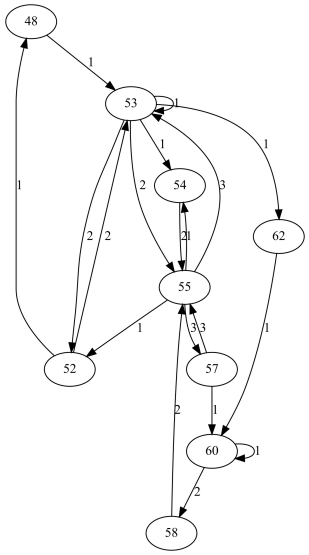

Fig. 27. *Grafo dos movimentos melódicos de Beijo a mão que me condena, de José Maurício Nunes Garcia, com base na* ***Tab.*** **1**.

[49] https://www.youtube.com/watch?v=eLcUhTBzNZQ&list=RDeLcUhTBzNZQ&start_radio=1

Os valores correspondentes aos movimentos das notas (exclusivamente com respeito ao parâmetro altura) podem ser **normalizados**, isto é, representados tomando a unidade como referência de tal forma que a soma das quantidades em cada linha seja 1. Esse procedimento gera o que se denomina **matriz de probabilidades de transição** (Tab. *2*)**.** Com base nessa matriz, que fornece um peso para cada situação de movimento, é possível sortear qualquer quantidade de notas para formar uma nova linha melódica, partindo de qualquer valor inicial escolhido entre os valores já disponíveis. Essa nova linha, embora seja diferenciada em termos de tamanho, ritmo e contorno, guarda a memória de movimento interno da melodia original, ou seja, sua sintaxe melódica.

Através de um programa em Python (Apêndice 4), sorteamos uma nova linha melódica. O programa sorteou a nota inicial 57 e, em seguida, uma lista com trinta valores de altura para a nova linha melódica: [57, 55, 57, 60, 58, 55, 53, 52, 48, 53, 53, 53, 52, 53, 55, 53, 62, 60, 60, 58, 55, 53, 52, 48, 53, 52, 53, 55, 52, 48]. As durações, por sua vez, foram sorteadas partindo de uma lista arbitrariamente definida, contendo somente três valores possíveis: colcheia (0,5), semínima (1) e mínima (2). Foi implantada uma diretriz no programa para que a última nota tenha sempre uma duração de mínima, o que confere um senso de finalização. O resultado é mostrado na Fig. **28**. Uma possível harmonização e orquestração dessa melodia para quarteto de saxofones é mostrada na Fig. **29**.

Tab. 2. *Matriz de probabilidades de transição para a linha melódica de Beijo a mão que me condena, de José Maurício Nunes Garcia.*

	48	**52**	**53**	**54**	**55**	**57**	**58**	**60**	**62**
48	0	0	1	0	0	0	0	0	0
52	0,33	0	0,67	0	0	0	0	0	0
53	0	0,29	0,14	0,14	0,29	0	0	0	0,14
54	0	0	0	0	1	0	0	0	0
55	0	0,12	0,38	0,12	0	0,38	0	0	0
57	0	0	0	0	0,75	0	0	0,25	0
58	0	0	0	0	1	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0,67	0,33	0
62	0	0	0	0	0	0	0	1	0

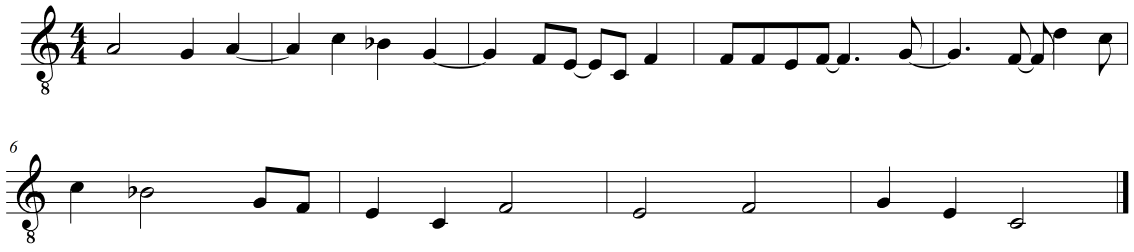

Fig. 28. *Nova melodia gerada a partir da matriz de probabilidades de transição de Beijo a mão que me condena, de José Maurício Nunes Garcia.*[50]

[50] https://youtu.be/GRYRlOvlHFA

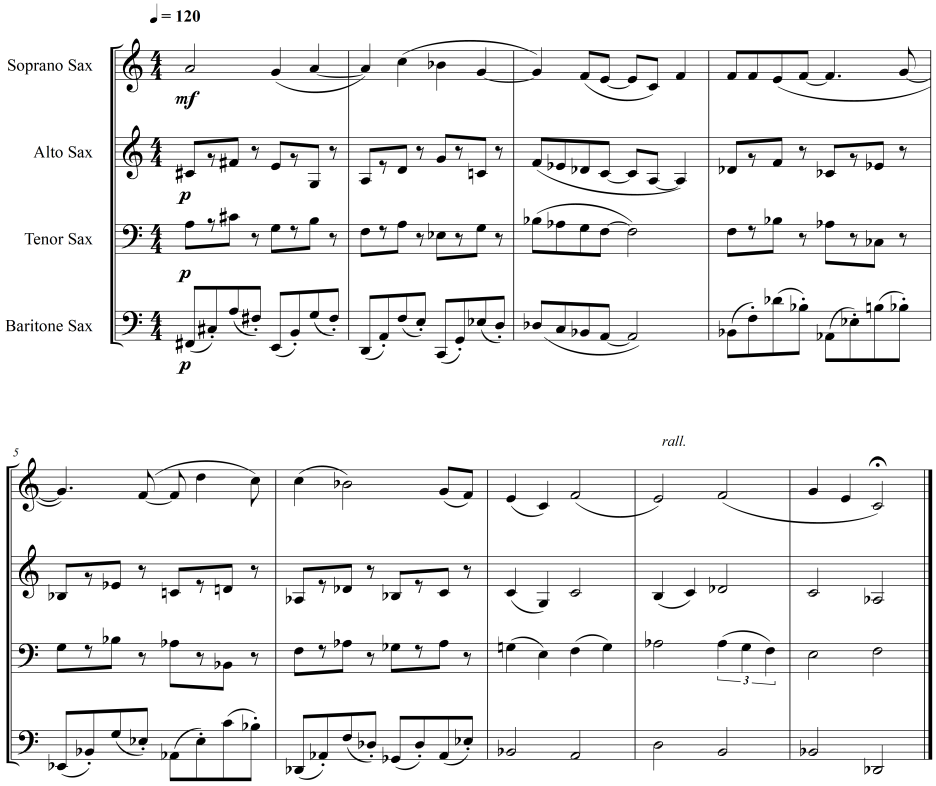

Fig. 29. *Melodia da Fig.* **28** *harmonizada e orquestrada para quarteto de saxofones.*[51]

2.6.2 Abordagem markoviana prescritiva

Quando a matriz de contagem (ou de probabilidades) é determinada pelo compositor temos uma abordagem markoviana prescritiva. Um exemplo clássico na literatura composicional é o do compositor Iannis Xenakis (1990), ao determinar de forma prescritiva (capítulo III) a sintaxe de conexão entre telas de grãos sonoros.

Como aplicação de uma abordagem markoviana prescritiva, tomemos a matriz de contagem mostrada na Tab. **1** e alteremos os valores arbitrariamente produzindo uma nova matriz de contagem (Tab. *3*). Essa matriz (no formato *excel* ou similar) ao ser inserida no programa listado no Apêndice 5 gera a matriz de probabilidades e sorteia através dessa matriz uma quantidade de notas determinada pelo usuário, conferindo-lhes aleatoriamente uma estrutura rítmica a partir de uma lista de durações. O resultado é a linha melódica mostrada na Fig. **30**. Analogamente ao que foi realizado nos exemplos anteriores, essa melodia pode ser harmonizada e orquestrada para quarteto de saxofones (Fig. **31**).

[51] https://youtu.be/GRYRlOvlHFA?si=XBaK7WNNeiEbjrTm&t=20

Tab. 3. *Nova matriz de contagem criada arbitrariamente.*

	48	52	53	54	55	57	58	60	62
48	0	0	1	0	2	0	1	0	0
52	1	0	2	0	0	1	0	0	0
53	0	1	1	1	2	0	1	0	1
54	0	1	0	0	2	0	2	0	0
55	0	1	3	1	2	3	0	0	0
57	1	0	2	0	3	0	0	1	0
58	0	2	0	1	2	0	0	0	0
60	0	1	0	2	0	0	2	1	0
62	1	0	1	0	2	0	0	1	0

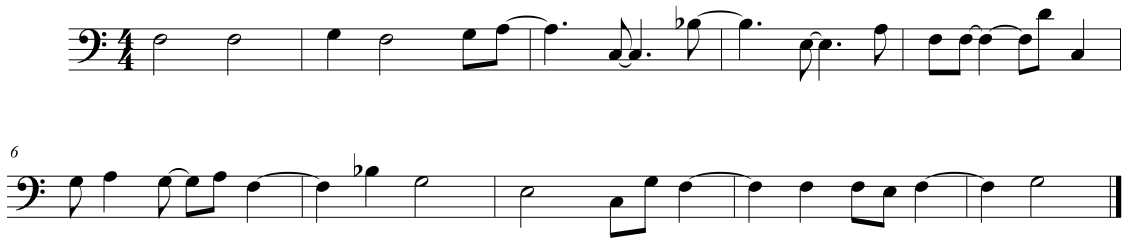

Fig. 30. *Nova melodia gerada a partir da matriz de contagem da Tab. 3, inserida em um programa que faz o sorteio ponderado.*[52]

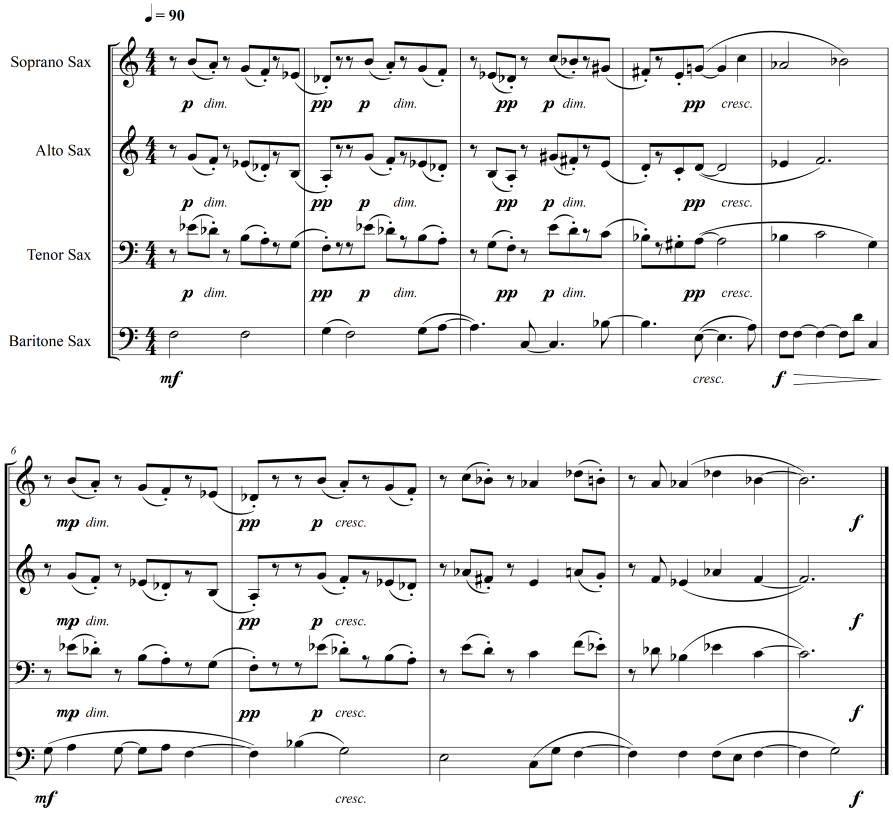

Fig. 31. *Melodia da Fig.* **30** *harmonizada e orquestrada para quarteto de saxofones.*[53]

[52] https://youtu.be/KBDp2batNJc
[53] https://youtu.be/KBDp2batNJc?si=FTEPcMOaJfUXepzC&t=21

2.7 Abordagem relacional

Uma relação, do ponto de vista matemático, é um subconjunto de um produto cartesiano (Weisstein, 1998, p. 1542). Embora as relações possam ter várias dimensões, neste trabalho me limitarei às relações binárias. Além disso, me restringirei às endorrelações, isto é, aos pares ordenados que são subconjuntos do produto cartesiano $A \times A$ (Müller, 2015, p. 20-21). Assim, o domínio (conjunto de partida) é o mesmo que o contradomínio (conjunto de chegada).

As relações podem ter vários formatos de especificação: 1) tabelas de correspondência, 2) listagem de pares ordenados, ou tuplas (*roster form*), 3) regra de construção (*set-builder form*),[54] 4) grafo direcional, 5) diagrama de setas, 6) matriz de incidência (booleana), 7) gráfico no plano cartesiano etc.[55]

Tomo como exemplo um conjunto M é constituído pelas classes de alturas Dó, Dó♯, Ré♯, Mi, Fá♯, Sol, Lá, Si♭. Uma relação R é especificada por uma tabela de correspondência (Tab. ***4***) entre os elementos desse conjunto. A partir dessa tabela é possível observar que Dó se relaciona com Mi♭, Dó♯ se relaciona com Mi, Fá♯ se relaciona com Lá, e Sol se relaciona com Si♭. Esses relacionamentos formam, então, pares ordenados de classes de alturas que podem ser listados da seguinte maneira: R = {(Dó, Mi♭), (Dó♯, Mi), (Fá♯, Lá), (Sol, Si♭)}. Essa é uma das maneiras mais comuns de se representar uma relação (*roster form*). É possível inferir facilmente uma regra de construção para a relação: $R = \{(x,y) \mid y = T_3(x) \wedge x = T_9(y)\ ,\ onde\ (x,y) \in M \times M\}$. Podemos descrever essa relação de uma maneira mais simples e informal, pensando nela como operações (transposições com fatores 3 e 9). As relações são frequentemente especificadas como operações. Essa abordagem é eficaz e prática para expressar relações entre elementos musicais, pois ela nos permite entender claramente como uma obra musical funciona, o que, em última instância, é o objetivo da análise musical. A relação R, e os objetos de M são mostrados como grafo direcional na Fig. ***32*** , como matriz de incidência na Fig. ***33***, e como gráfico cartesiano na Fig. ***34***.

Tab. 4. *Relação R especificada como uma tabela de correspondências*

Domínio	Contradomínio
Dó	Mi♭
Dó♯	Mi
Fá♯	Lá
Sol	Si♭

[54] Os termos *roster form* and *set-builder form* são usados na representação de conjuntos (Kirk, 2023, p. 6).
[55] Richard Johnsonbaugh (2015) demonstra algumas dessas maneiras.

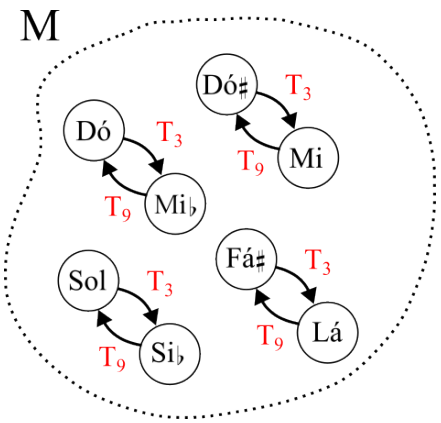

Fig. 32. *Grafo mostrando os elementos de M e a relação R, especificada como a operação T_3.*

	Dó	Dó♯	Mi♭	Mi	Fá♯	Sol	Lá	Si♭
Dó	0	0	1	0	0	0	0	0
Dó♯	0	0	0	1	0	0	0	0
Mi♭	1	0	0	0	0	0	0	0
Mi	0	1	0	0	0	0	0	0
Fá♯	0	0	0	0	0	0	1	0
Sol	0	0	0	0	0	0	0	1
Lá	0	0	0	0	1	0	0	0
Si♭	0	0	0	0	0	1	0	0

Fig. 33. *Matriz de incidência mostrando os elementos de M que se relacionam entre si.*

O fragmento musical da Fig. **36** foi construído partindo dos objetos do conjunto M e da relação R que se estabelece entre alguns desses objetos. Adicionalmente, foi estipulada uma regra de agrupamento dos pares ordenados: a primeira nota de um par deve ter o dobro da duração da segunda.

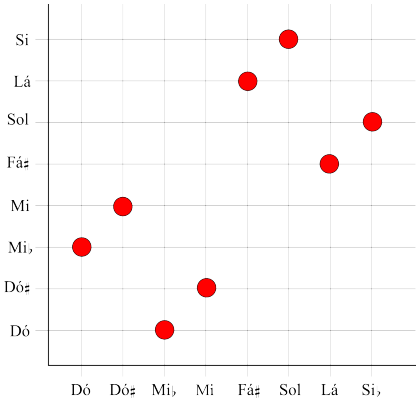

Fig. 34. *Gráfico cartesiano mostrando os elementos de M que se relacionam entre si.*

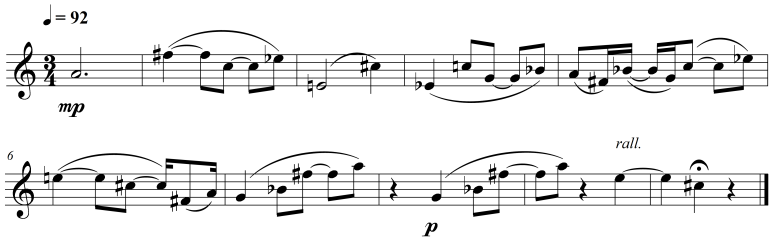

Fig. 35. *Pequeno fragmento melódico produzido a partir da relação R*[56]

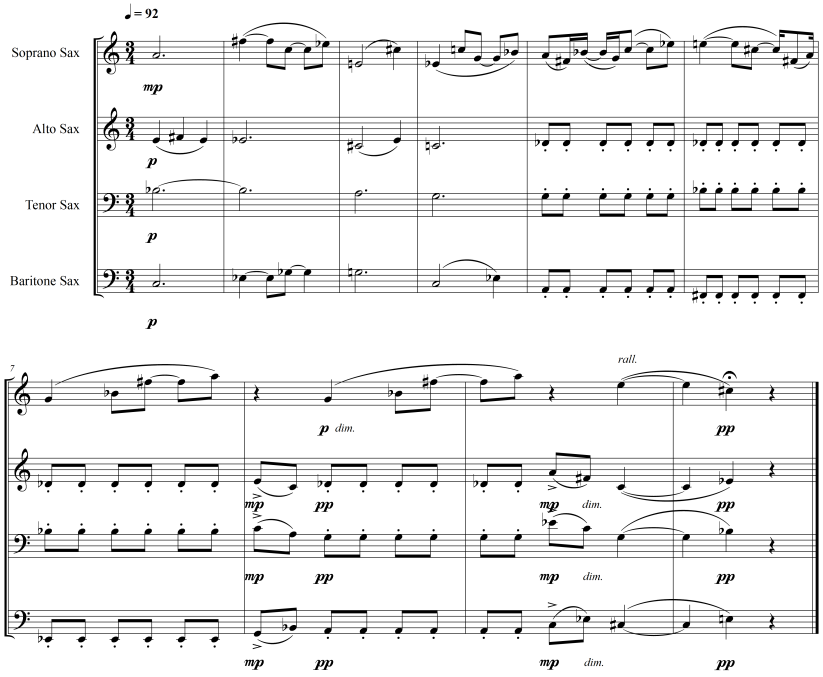

Fig. 36. *Pequeno fragmento para quarteto de saxofones, no qual as alturas são distribuídas com base na relação R.*[57]

2.8 Abordagem serial

A abordagem serial se inspira no serialismo clássico introduzido pela Segunda Escola de Viena, no início do século XX, mas não adota necessariamente as restrições intervalares associadas à estética do Expressionismo. Essa abordagem é implementada simplesmente pela criação de uma série de classes de alturas, de qualquer cardinalidade, sem a repetição de seus elementos constituintes. A criação de uma matriz dodecafônica é importante para que se possa obter uma linha melódica de grande porte, obtida pela concatenação das formas canônicas da série (transposição, inversão, retrogradação e retrogradação da inversão).

O programa do Apêndice 7 produz randomicamente uma série de doze notas. Em seguida, partindo de um conjunto de diretrizes estabelecidas pelo compositor gera uma melodia pela concatenação

[56] https://youtu.be/ZCl9Ca70RM8
[57] https://youtu.be/ZCl9Ca70RM8?si=Y0Y94zAMFYf4TMzl&t=23

de diferentes formas canônicas dessa série. Por exemplo, com a Série = $\langle 6, 4, 2, 3, 5, 8, 11, 0, 9, 7, 10, 1\rangle$ e a regra $INV(serie) + serie + TRANS(serie) + RET(serie) + RET(INV(serie))$, foi gerada a melodia mostrada na Fig. *37*, a qual foi harmonizada e orquestrada para quarteto de saxofones (Fig. *38*).

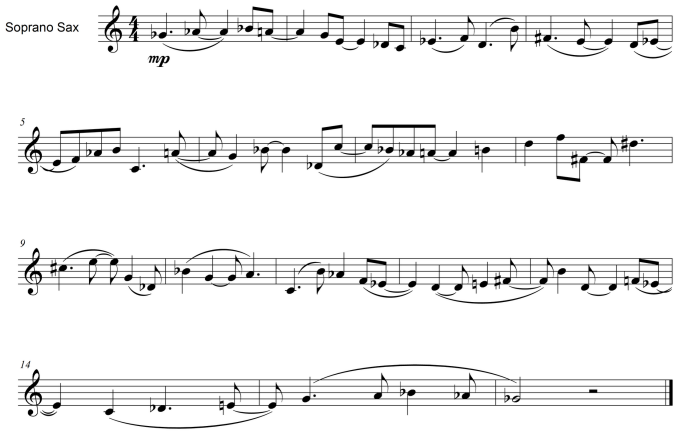

Fig. 37. *Melodia gerada pela abordagem serial.*[58]

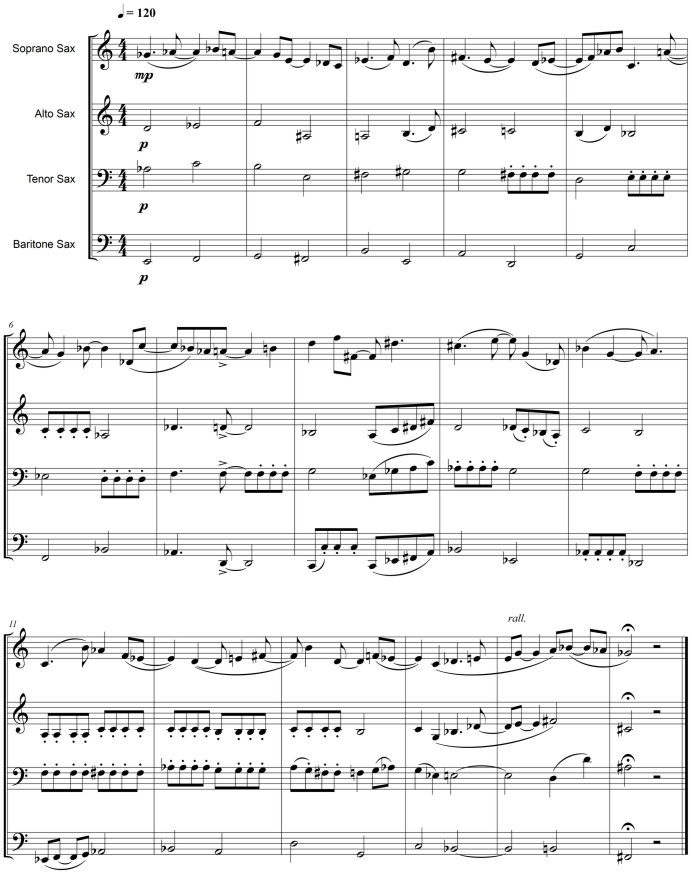

Fig. 38. *Harmonização e orquestração da melodia da Fig.* **37**.[59]

[58] https://youtu.be/eciLZvavUaM
[59] https://youtu.be/eciLZvavUaM?si=72umoj_fFvUOaiZ1&t=36

2.9 Abordagem SCR

Essa abordagem parte do princípio de que existem três tipos de movimentos ou operações melódicas: [60]

i. **Salto (S)** – movimento com intervalo igual ou superior a uma terça menor.
ii. **Grau conjunto (C)** – movimento que se limita a um intervalo de segunda maior ou menor.
iii. **Repetição** (R) – a nota, pelo menos com relação ao parâmetro altura, é imediatamente repetida.

Trataremos aqui de uma aplicação desse modelo tanto de forma descritiva (descreve – ou seja, modela – os movimentos melódicos de uma obra pré-existente) como prescritiva (determina os movimentos melódicos de uma nova obra).

2.9.1 Abordagem SCR descritiva[61]

Analisemos um pequeno trecho extraído do *Minueto em Sol maior* de Christian Petzold (1677-1733), anteriormente atribuído a J. S. Bach (1685-1750). Para essa análise, foram considerados os seguintes critérios:

1. As operações SCR. Cada operação é rotulada com uma letra e um número que indica a quantidade de ocorrências dessa operação. As operações podem ser combinadas, gerando um complexo de operações, por exemplo, S^1C^4.

2. Uma linha tracejada significa que uma altura foi prolongada, ou seja, permaneceu a mesma.

3. Uma linha cheia com uma seta indica que uma altura se move para outra por meio de alguma operação.

4. O círculo significa uma sobreposição e é usado quando uma altura é tanto o fim quanto o início de um grupo operacional.

5. Podem ser indicados os graus da escala em que o trecho original está composto.

A melodia original aparece no topo da Fig. **39**. No nível 1 consideram-se somente as alturas; no nível 2 procede-se a análise propriamente tida, ou seja, a identificação dos movimentos; e, finalmente, no nível 3 desconsideram-se as alturas da obra original permanecendo somente o modelo SCR. A metodologia de se chegar a um modelo através da generalização dos objetos originais e da manutenção exclusiva das relações entre os objetos de uma obra musical é o que se chama de Modelagem Sistêmica, sobre a qual vasta literatura tem sido produzida desde 2010.[62] Essa metodologia é desenvolvida em três fases: 1)

[60] Esse método analítico é inspirado em Kraft (1990, p.15). Uma metodologia mais profunda para análise melódica é encontrada em Gentil-Nunes (2009). Como exemplo de uma obra composta com essa metodologia de Gentil-Nunes, veja Pitombeira et al (2020b).
[61] Partes desta subseção foram originalmente publicadas em inglês (Pitombeira, 2018)
[62] https://ufrj.academia.edu/LiduinoPitombeira

Seleção Paramétrica – na qual um parâmetro, ou um conjunto de parâmetros, é selecionado para a construção do modelo; 2) **Análise** – na qual as relações entre os objetos são identificadas; 3) **Generalização Paramétrica** – na qual os objetos são tornados genéricos e somente as relações entre eles são mantidas. Esse modelo sistêmico, que se revela na terceira fase da modelagem (generalização paramétrica), é um sistema composicional (hipotético) da obra analisada. Isso significa que ele apresenta somente relações (ou operações) aplicadas a objetos genéricos.

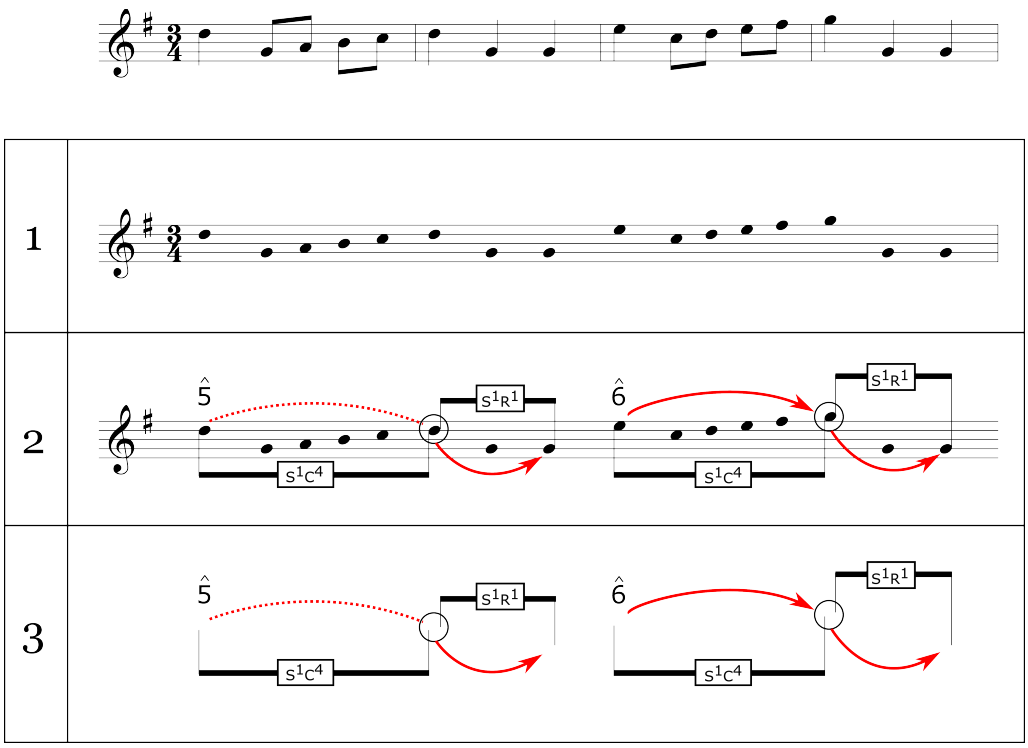

Fig. 39. *Análise SCR de um trecho do Minueto em Sol Maior, de J. S. Bach. A melodia original aparece no topo. No nível 1 consideram-se somente as alturas, no nível 2 procede-se a análise, e no nível 3 permanece somente o modelo SCR (Pitombeira, 2017, p. 45).*[63]

A partir deste modelo, pode-se planejar e compor um novo fragmento, que utiliza as mesmas relações originais, mas alturas diferentes. O planejamento composicional é uma metodologia também trifásica. Na primeira fase (**particularização**), definimos uma escala, ou seja, o espaço de classes de alturas no qual o novo trecho será concebido: o terceiro modo de transposição limitada de Messiaen[64] (Dó, Ré, Mi♭, Mi, Sol♭, Sol, Lá♭, Si♭, Si). Os graus quinto e sexto dessa escala nessa transposição são, respectivamente, Sol♭ e Sol. Podemos observar que, uma vez que o modelo não especifica a direção do salto (S), o contorno do novo fragmento pode diferir do contorno de Bach. Em seguida, na fase denominada **aplicação**, definimos ou ajustamos os registros específicos das classes de alturas na superfície musical. Por último, na fase de **complementação**, adicionamos os parâmetros não declarados no modelo. A métrica

[63] https://youtu.be/62v_A7Q-Tzk
[64] Sobre modos de transposição limitada ver Messiaen (1956).

escolhida foi 5/8; a estrutura rítmica e as articulações foram adicionadas sem mediação computacional. Para o tempo, designamos uma semínima igual a 72, e a instrumentação escolhida foi clarinete solo. A Fig. 40 resume o ciclo de planejamento composicional.

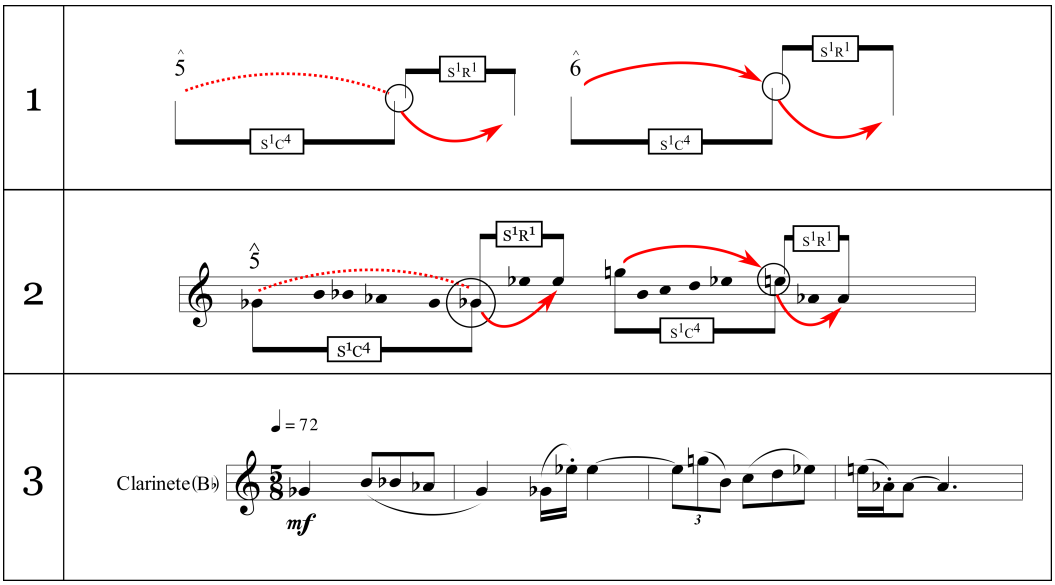

Fig. 40. Geração de um novo trecho a partir do modelo SCR da Fig. **39** (Pitombeira, 2017, p.46).[65]

2.9.2 Abordagem SCR prescritiva

A abordagem SCR prescritiva parte de um sistema composicional,[66] que define regras de movimento melódico. O sistema composicional mostrado no Qua. *1* apresenta um conjunto de regras para a composição de fragmentos melódicos utilizando a abordagem SCR. Esse é um modelo prescritivo, uma vez que não parte da modelagem sistêmica (descritiva) de nenhuma obra anterior.

Qua. 1. *Sistema composicional SCR definindo as regras para a construção de dois fragmentos melódicos*

DEFINIÇÃO 1	Esse sistema indica as regras de movimento melódico para dois fragmentos, que podem ser posteriormente utilizados na composição de uma obra musical.
DEFINIÇÃO 2	O primeiro fragmento é construído a partir do seguinte modelo de movimento melódico: $[SC^2R]^n$. O valor de n é determinado durante o planejamento composicional.
DEFINIÇÃO 3	O modelo de movimento melódico do segundo fragmento: $[RS^2C^2]^m$. O valor de m é determinado durante o planejamento composicional.
DEFINIÇÃO 4	A harmonia, o ritmo, as dinâmicas, articulações etc. são determinados durante o planejamento composicional

O processo de geração das linhas melódicas foi automatizado utilizando o programa mostrado no Apêndice 8. Apliquei o ciclo SCCR quatro vezes ($n = 4$), em várias rodadas, obtendo diversos fragmentos. O fragmento selecionado é mostrado na Fig. 41. Da mesma forma, apliquei o ciclo RSSCC, cinco

[65] https://youtu.be/62v_A7Q-Tzk?si=U6aDGmo_xv6A17Mm&t=8
[66] Para maiores informações sobre a Teoria dos Sistemas Composicionais ver Pitombeira (2020a).

vezes ($m = 5$), em várias rodadas, até obter o fragmento mostrado na Fig. 42. A estrutura rítmica, conforme permite a Definição 4 do sistema, foi determinada aleatoriamente pelo programa, que sorteou valores de colcheias e semínimas. O trecho então precisou ser remetrificado para se ajustar a uma métrica quaternária. Os dois fragmentos foram literalmente concatenados. Harmonia, dinâmicas, articulações, andamento e timbre foram determinados durante o planejamento (cujo detalhamento não é mostrado aqui). O resultado é o trecho para quarteto de saxofones mostrado na Figura 43.

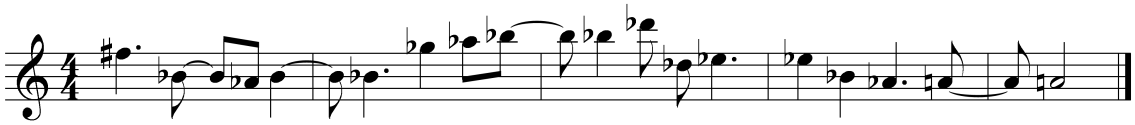

Fig. 41. *Geração de um fragmento melódico a partir do ciclo SCCR aplicado 4 vezes.*[67]

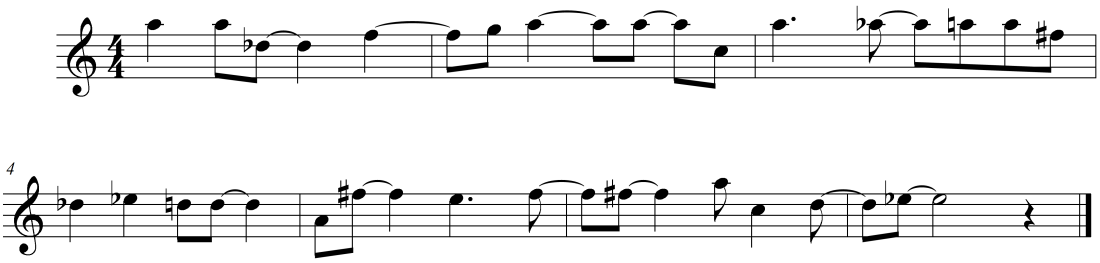

Fig. 42. *Geração de um fragmento melódico a partir do ciclo RSSCC aplicado 5 vezes.*[68]

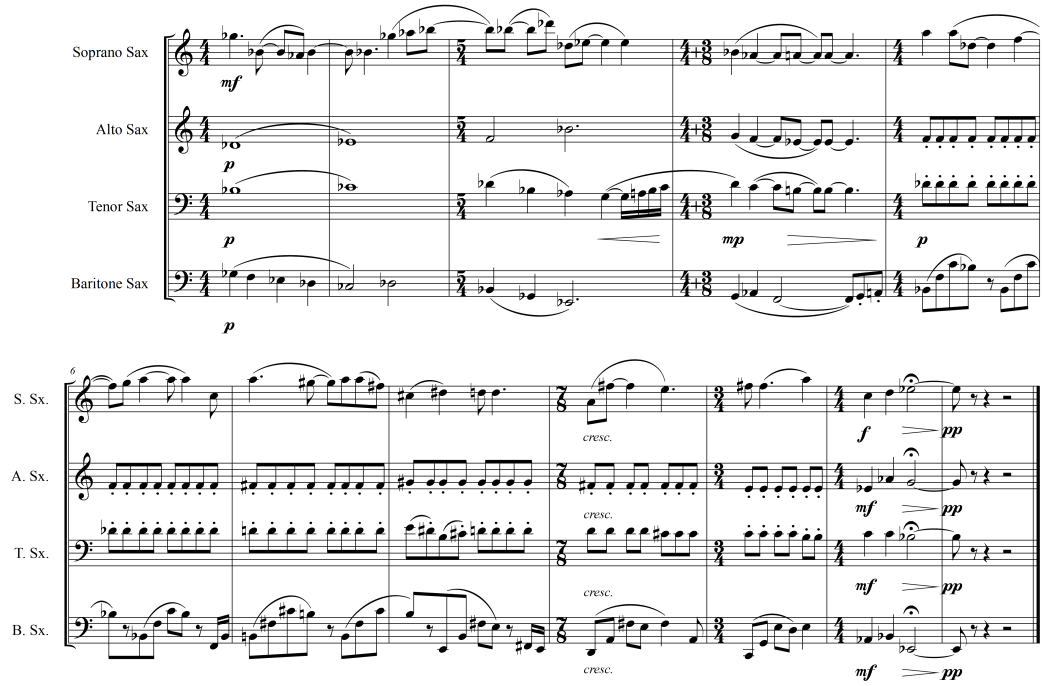

Fig. 43. *Fragmentos gerados pelo Sistema SCR concatenados, harmonizados e orquestrados para quarteto de saxofones.*[69]

[67] https://youtu.be/sXn2jkWfyXc
[68] https://youtu.be/sXn2jkWfyXc?si=M-GnD1HF-F3cdVQ5&t=10
[69] https://youtu.be/sXn2jkWfyXc?si=oz8s-0jsbnw9JdZk&t=24

2.10 Abordagem fractal

Segundo McDonough e Herczynski (2023), "atualmente não existe um consenso amplamente aceito sobre o que constitui um padrão fractal na música".[70] Do ponto de vista geométrico, a dimensão fractal se revela quando um padrão exibe autossimilaridade progressiva à medida em que ele é observado em escalas menores. Em termos musicais, não basta haver recorrência de um motivo (como vimos na Abordagem horizontal – Seção 3.2) para que isso se configure como uma autossimilaridade. É preciso que um padrão se revele em diferentes níveis (ou camadas) estruturais.

Na parte superior da Fig. **44**, uma célula geradora formada pelas alturas Dó$_5$, Ré$_5$ e Si$_4$ (indicada dentro de um quadrado salmão) é expandida horizontalmente pelo padrão intervalar, com algumas elisões nas alturas finais. Os inícios das células transformadas são indicados com a altura em cor vermelha. Essa mesma célula também ocorre em larga escala (notas conectadas com um travessão vermelho) e cada uma de suas alturas também se expandem horizontalmente pelo mesmo padrão intervalar. Essa estrutura autossimilar pode ser acoplada a uma estrutura rítmica independente, dando origem a uma linha melódica (parte inferior da Fig. **44**), a qual pode ser harmonizada e orquestrada (Fig. **45**).

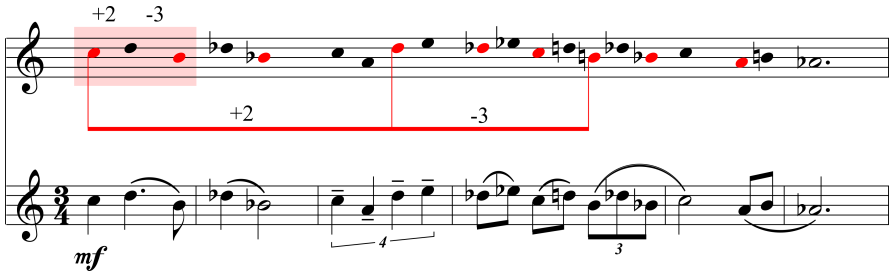

Fig. 44. *Melodia gerada a partir de projeção da célula geradora (três alturas iniciais inserida em um quadrado salmão) em diversas camadas, produzindo autossimilaridade.*[71]

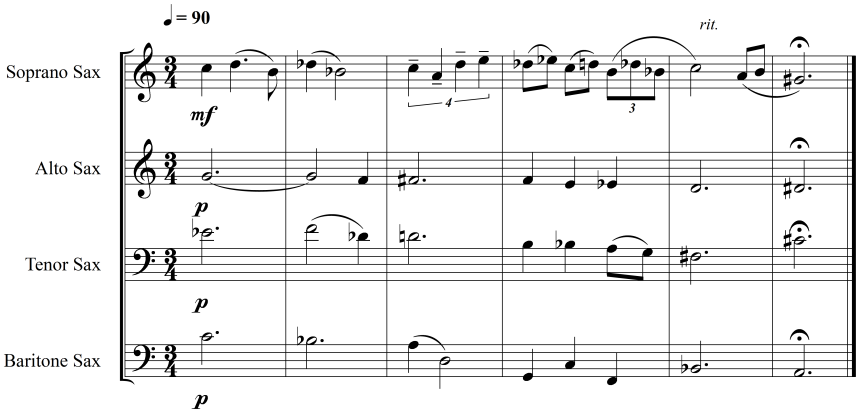

Fig. 45. *Harmonização e orquestração para quarteto de saxofones da melodia da Fig.* **44**.[72]

[70] No original: "*There is currently no broadly accepted consensus on what constitutes a fractal pattern in music*".
[71] https://youtu.be/BB8BLW6WHVg
[72] https://youtu.be/BB8BLW6WHVg?si=bssP_e1MrVBk3YgT&t=11

As configurações geométricas fractais são matematicamente associadas aos sistemas dinâmicos não lineares (caos determinístico). Por exemplo, o conjunto de Mandelbrot é um fractal formado pelo conjunto de pontos c no plano complexo $\mathbb{C}$ para o qual a sequência $c, c^2 + c, (c^2 + c)^2, \ldots$ não tende ao infinito, quando sua cardinalidade tende ao infinito (Branner, 1989, p.75). Esse fractal é produzido computacionalmente pela iteração da função $z_{n+1} = z_n^2 + c$, com $z_0 = 0$, gerando a configuração geométrica bidimensional mostrada na Fig. **46**.

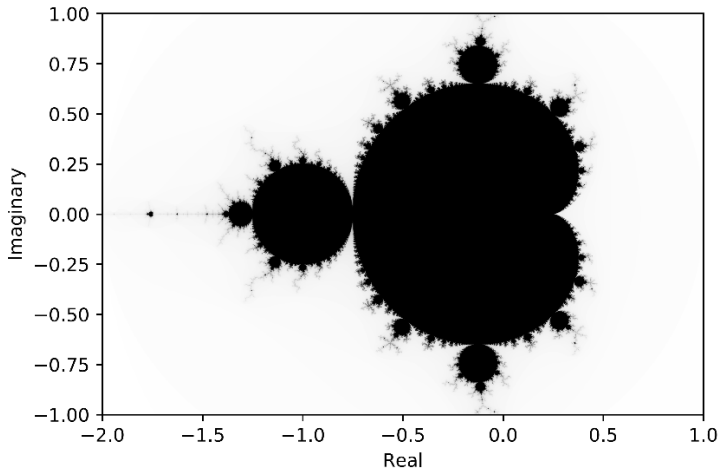

Fig. 46. *Conjunto de Mandelbrot (Pitombeira, 2020a).*

A geometria fractal é um fenômeno espacial, de sorte que, como enfatiza Miranda (2004, p. 95), "a totalidade da figura pode ser apreendida de uma única vez. Música é, por excelência, uma arte temporal e como tal requer estratégias perceptivas completamente diferentes do que uma figura estática requer para apreciação".[73] Miranda ainda sugere que um fractal é melhor representado musicalmente pela aplicação de uma regra iterativa a um motivo inicial, similar ao que se processa em grupos simétricos, como realizei no início desta seção (Fig. **44**).

No entanto, um experimento realizado com auxílio do programa mostrado no Apêndice 9, parece revelar algum tipo de simetria, mesmo que apenas na representação visual (e, portanto, espacial) da partitura. Dependendo da dimensão do trecho, a percepção humana pode capturar a simetria também auditivamente. O programa que foi utilizado, além de produzir graficamente o conjunto de Mandelbrot mostrado na Fig. **46**, associa as duas dimensões desse fractal (real e imaginária) a dois parâmetros musicais de superfície: alturas e durações. O resultado é mostrado na Fig. **47**, na qual se pode facilmente visualizar uma simetria palindrômica, com respeito aos compassos, considerados como blocos (Qua. ***2***). Há, inclusive, alguma semelhança mesmo que distante do conjunto de Mandelbrot graficamente representado e a distribuição das classes de alturas do Qua. ***2***.

[73] No original: "(...) *the whole figure can be seen at once. Music is, par excellence, a time-based art form and as such it requires completely different perceptual strategies than a static figure requires for appreciation*".

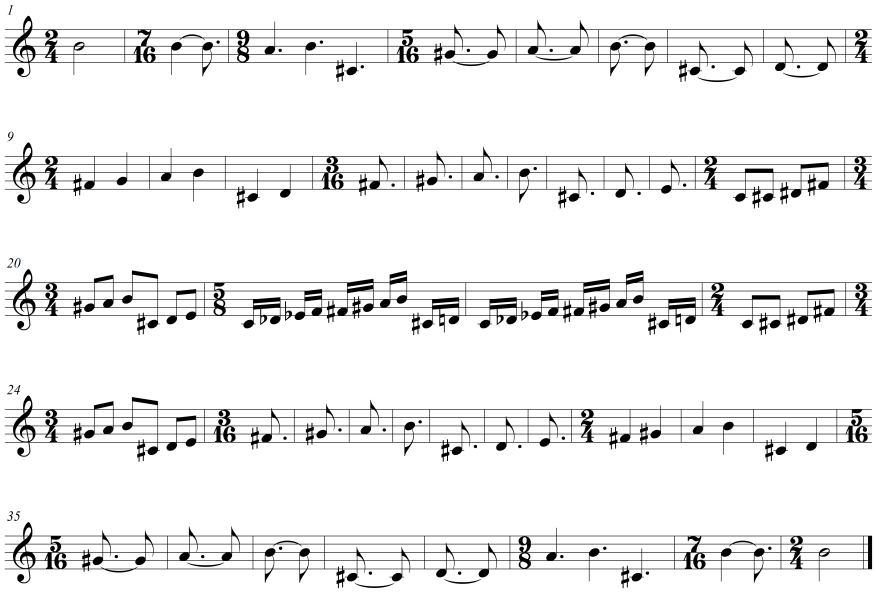

Fig. 47. *Linha melódica produzida a partir do Conjunto de Mandelbrot (Pitombeira, 2020a).*

Qua. 2. *Simetria palindrômica no conjunto de Mandelbrot interpretado musicalmente. Na primeira coluna são indicados os compassos. Nas demais colunas as classes de alturas correspondentes à partitura da Fig.* ***47***.

1								11			
2								11			
3							9	11	1		
4-8						8	9	11	1	2	
9-11					6	7	9	11	1	2	
12-18					6	8	9	11	1	2	4
19-20	0	1		3	6	8	9	11	1	2	4
21	0	1	3	5	6	8	9	11	1	2	
22	0	1	3	5	6	8	9	11	1	2	
23-24	0	1		3	6	8	9	11	1	2	4
25-31					6	8	9	11	1	2	4
32-34					6	7	9	11	1	2	
35-39						8	9	11	1	2	
40							9	11	1		
41								11			
42								11			

2.11 Mapeamento

O mapeamento é uma das mais antigas técnicas formais de geração melódica. Na literatura matemática, a concepção de mapeamento refere-se a uma função que vincula os elementos de um conjunto (domínio) a outro conjunto (contradomínio). Todavia, neste trabalho, a noção de mapeamento é delimitada à criação de correspondências entre elementos de conjuntos distintos, prescindindo das restrições de bijetividade que são tradicionalmente inerentes às funções matemáticas. Sob uma perspectiva composicional, o mapeamento revela-se uma ferramenta de aplicabilidade significativa em sistemas que estabelecem interconexões entre universos discerníveis. O exemplo paradigmático do sistema concebido por Guido d'Arezzo (Loy, 2006, p. 285-287), que engendra uma correlação entre vogais e notas musicais

em uma escala, ilustra de maneira exemplar tal emprego. Uma instância elucidativa dessa dinâmica é observada nos sobrenomes dos eminentes compositores J. S. Bach e John Cage, os quais, por uma feliz coincidência, abrigam, cada um, os nomes de quatro notas musicais no sistema de notação alemão e anglo-saxônico, respectivamente: B, A, C, H (Si♭, Lá, Dó, Si) e C, A, G, E (Dó, Lá, Sol, Mi). Desse modo, é viável proceder ao mapeamento dessas letras em classes de alturas, constituindo uma aplicação concreta dessa abordagem (Qua. 3).

Qua. 3. *Mapeamento entre classes de notas e letras do alfabeto português*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Y	Z										

Esse procedimento pode ser automatizado em um simples programa em Python. Quando o texto de entrada for, por exemplo, "Colégio Brasileiro de Altos Estudos",[74] as classes de alturas geradas serão: [[2, 2, 11, 4, 6, 8, 2], [1, 5, 0, 6, 8, 11, 4, 8, 5, 2], [3, 4], [0, 11, 7, 2, 6], [4, 6, 7, 8, 3, 2, 6]], que podem ser representadas musicalmente (Fig. 48), com um ritmo atribuído randomicamente. A melodia resultante pode ser harmonizada e orquestrada para quarteto de saxofones (Fig. 49).

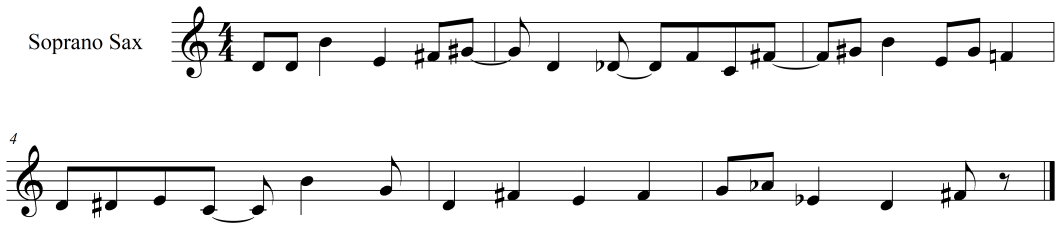

Fig. 48. *Melodia gerada a partir do mapeamento entre as letras da frase Colégio Brasileiro de Altos Estudos e as classes de alturas.*[75]

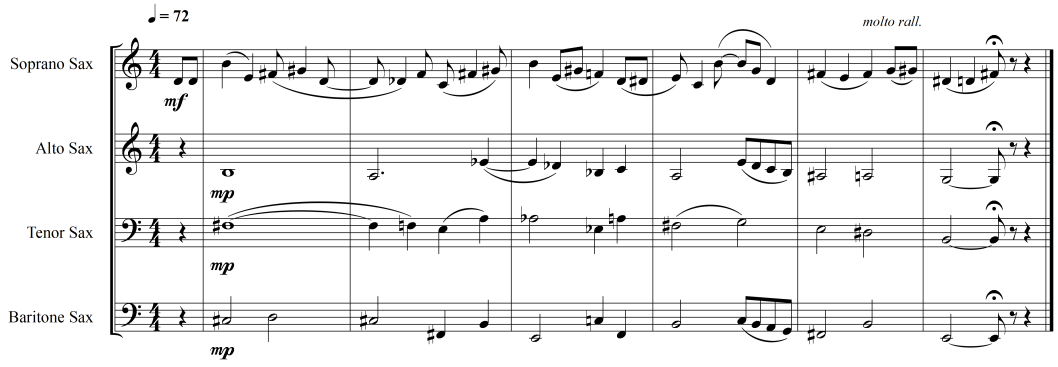

Fig. 49. *Harmonização e orquestração para quarteto de saxofones da melodia da Fig*. **48**.[76]

[74] Como uma homenagem à instituição que deu origem a este trabalho.
[75] https://youtu.be/-XnZsja2i5U
[76] https://youtu.be/-XnZsja2i5U?si=muvHFTaPEzWcg_db&t=13

3. Isorritmia

A isorritmia é uma técnica que consiste na

> repetição de um padrão rítmico ao longo de uma parte vocal. O recurso é encontrado em motetos do século XIV e início do século XV e, ocasionalmente, pode ser encontrado em outros gêneros também. Mais frequentemente, o tenor de tal peça é isorrítmico, às vezes também o contratenor e, com menos frequência, as vozes superiores. Uma voz isorrítmica normalmente contém dois padrões que são repetidos, um padrão rítmico ou *talea* e um padrão melódico ou *color*. No entanto, os dois padrões não precisam ter o mesmo comprimento, resultando em repetições sucessivas do padrão rítmico ocorrendo com diferentes alturas (Randel, 1996, p. 407)

Essa técnica de acoplamento rítmico a uma estrutura melódica é útil quando o modelo composicional consiste unicamente de alturas e precisa, portanto, de um arcabouço rítmico para se tornar uma linha melódica. Consideremos as alturas do *Minueto em Sol Maior* (Fig. **39**) como um padrão melódico, uma *color*. Em seguida, apliquemos esse padrão a um padrão rítmico, ou *talea*, livremente criado (Fig. **50**). O resultado é mostrado na Fig. **51**.

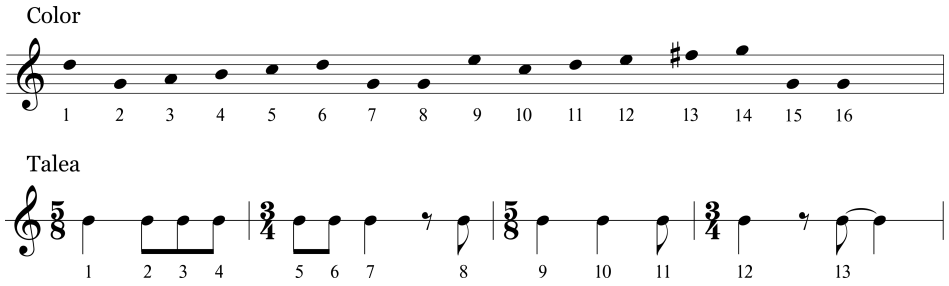

Fig. 50. *Color (extraída do Minueto em Sol Maior) e talea (livremente criada).*

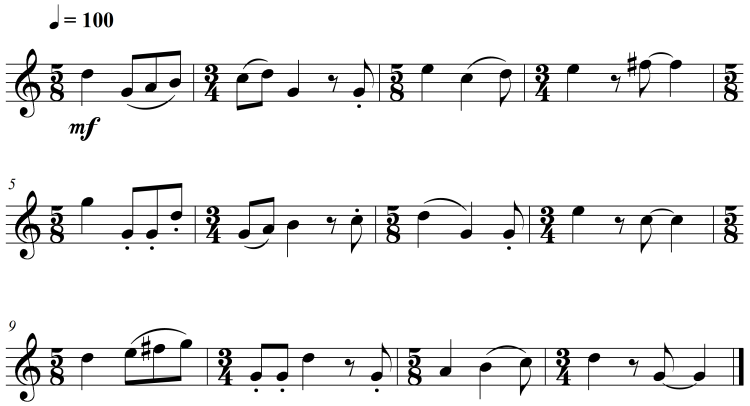

Fig. 51. *Junção da color e talea propostas na Fig.* **50**.

4. Expansão melódica

Uma vez criada uma linha melódica, podemos utilizar diversas ferramentas para variá-la, produzindo, como consequência, um repositório de materiais que poderão ser empregados na construção de uma obra coesa. Apresentamos, a seguir, uma lista não exaustiva de ferramentas que alteram a identidade de um fragmento melódico. Algumas alterações são superficiais e suaves, como a transposição, por exemplo, permitindo um rápido reconhecimento do fragmento original; outras, no entanto, são radicais, comprometendo significativamente o reconhecimento imediato da fonte. É importante observar que essas ferramentas podem ser combinadas em cadeia produzindo deformações significativas nos fragmentos.

4.1. Transposição

A transposição altera a altura original de uma determinada nota ou conjunto de notas, conservando os atributos rítmicos (pontos de ataque e duração). Pode ser cromática ou diatônica, total ou parcial.[77] Na pauta superior da Fig. **52**, temos um fragmento (X), com o seguinte padrão intervalar: $(-3, +2, +3, -2)$. Esse fragmento, em sua integralidade, é transposto cromaticamente três semitons abaixo, conservando o mesmo padrão intervalar. O resultado dessa operação, representada por $T_{-3}(X)$, é mostrado na pauta imediatamente inferior. Se optarmos, no entanto, por manter a integridade diatônica, a estrutura intervalar será alterada, por conta das assimetrias intrínsecas à escala diatônica. Assim, ao transpormos diatonicamente o mesmo fragmento uma segunda acima, o resultado dessa operação, representada por $D_2(X)$, é mostrada na terceira pauta de baixo para cima. Nesse tipo de transposição mantém-se o contorno e a estrutura rítmica, mas as relações intervalares sofrem alterações pontuais. Finalmente, a transposição pode ser parcial, ou mutacional. Nesse caso, o contorno sofre alterações. Uma transposição cromática, de três semitons abaixo, somente da terceira e quarta notas, $T_{-3}(X, (3,4))$, produz o resultado mostrado na última pauta.

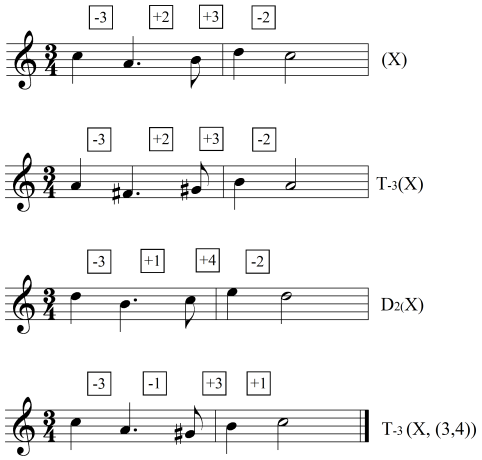

Fig. 52. *Transposição cromática, diatônica e parcial cromática do fragmento X.*

[77] A transposição parcial é também denominada de mutacional, na Análise Derivativa de Carlos Almada (2023).

4.2. Inversão

A inversão altera a direção de movimento entre as notas e, portanto, altera o contorno. Assim como a transposição, a inversão pode ser cromática ou diatônica, total ou parcial.[78] A inversão cromática total $I(X)$ inverte o contorno do fragmento X, como pode ser observado pela alteração dos sinais de direção intervalares na segunda pauta de cima para baixo da Fig. **53**. Já a inversão diatônica, $J(X)$, inverte o fragmento X considerando as restrições da escala diatônica de Dó maior. A inversão cromática parcial, $I(X,(3,4))$, aplica a inversão da terceira e quarta notas com relação à nota anterior.

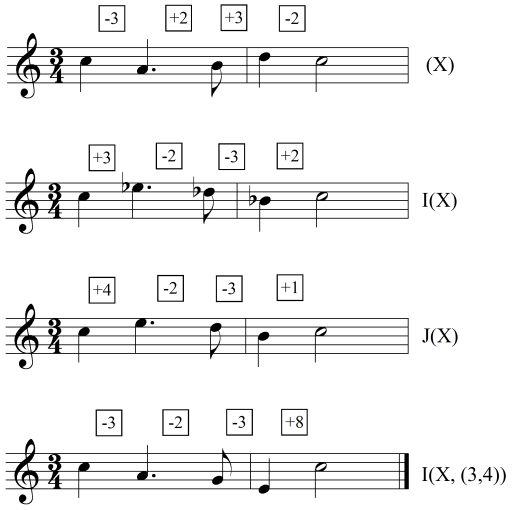

Fig. 53. *Inversão cromática, diatônica e parcial cromática do fragmento X.*

4.2.1. Retrogradação

A retrogradação reescreve um fragmento invertendo a ordem do movimento, ou seja, a primeira nota será substituída pela última, a segunda pela penúltima, e assim sucessivamente. Essa operação pode ser aplicada nas notas integralmente ou parcialmente em seus parâmetros altura ou duração. A aplicação integral altera o contorno e o ritmo. A operação somente nas alturas mantém o ritmo e altera o contorno, enquanto a operação parcial no ritmo altera o ritmo e mantém o contorno. O grau de reconhecimento do fragmento original é tanto menor quanto maior for o fragmento. A aplicação integral caracteriza essa transformação como radical.

[78] Em Elementos III o aluno tomará contato com um tipo de inversão realizada em torno de uma classe de alturas referencial. Aqui utilizamos como referência de inversão a nota inicial. Nos casos de inversão parcial consideramos a nota imediatamente anterior como referencial.

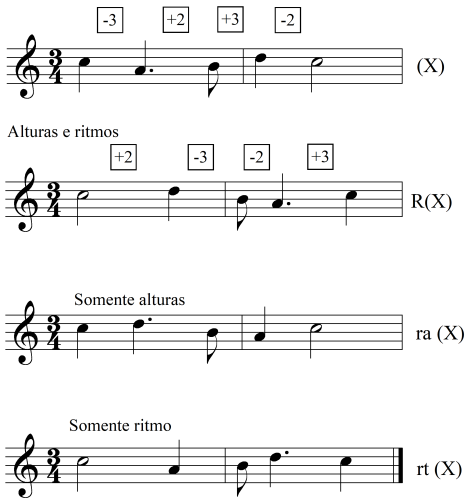

Fig. 54. *Retrogradação total e parcial do fragmento X.*

4.3. Expansão/Contração duracional

Essas duas transformações equivalem à aumentação e à diminuição utilizadas tradicionalmente no contraponto. Na Fig. **55** temos o fragmento X e logo abaixo sua expansão duracional por um fator 2, ou seja, cada duração é dobrada. Na última pauta dessa mesma figura temos uma contração duracional por um fator 0.5, em que cada duração foi reduzida pela metade.

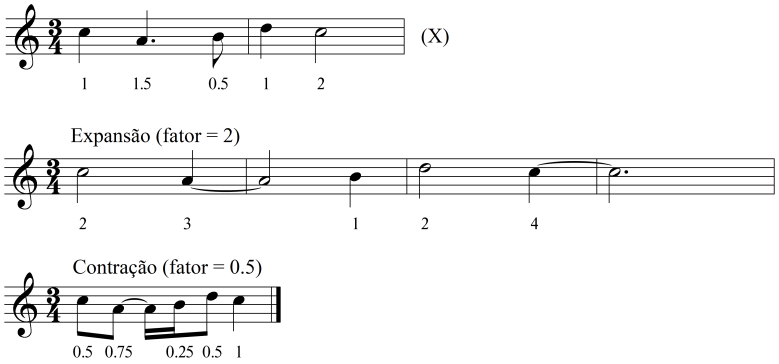

Fig. 55. *Expansão e contração duracional do fragmento X*

4.4. Expansão/Contração Intervalar

A expansão/contração intervalar opera, como o próprio nome indica, na alteração dos intervalos de determinado fragmento. Pode-se implementar essa alteração estabelecendo um único fator de alteração ou diversos fatores. A operação pode atuar integral ou parcialmente. Na Fig. **56** temos na pauta superior o fragmento original X e nas duas pautas inferiores uma expansão intervalar, com fator $+1$ aplicado a todos os intervalos, seguida de uma contração intervalar integral com fator -1.

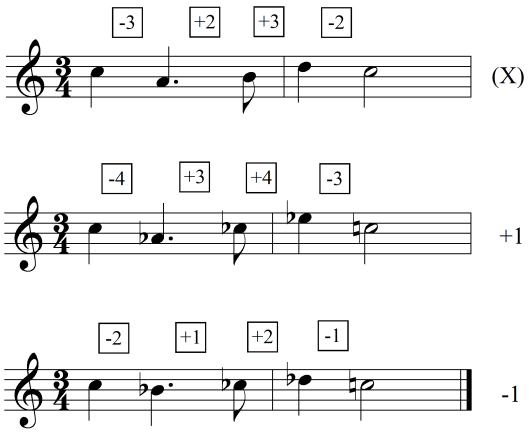

Fig. 56. E*xpansão e contração intervalar do fragmento X.*

4.5. Simplificação/Complexificação

A simplificação de um fragmento consiste na redução de suas notas mantendo, contudo, o mesmo sentido estrutural. Para que isso seja viabilizado é importante manter, tanto quanto possível, os pontos de ataque originais. A complexificação é uma transformação inversa que consiste em acrescentar notas ornamentais. Essa operação pode ser feita em diversos níveis, ou seja, pode-se acrescentar uma primeira camada ornamental e, em seguida, adicionar a ela novas ornamentações. Na Fig. **57** temos a simplificação e a complexificação do fragmento X.

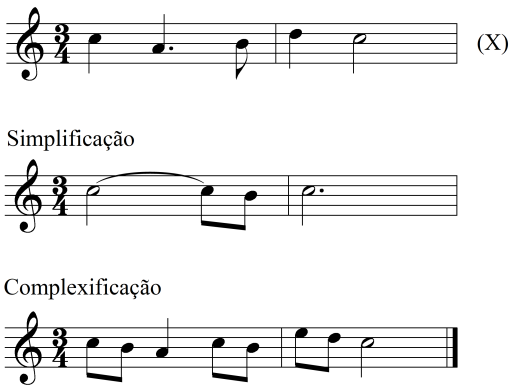

Fig. 57. *Simplificação e complexificação do fragmento X.*

4.6. Permutação

A permutação consiste na reordenação dos segmentos de um determinado fragmento produzindo uma deformação radical. O fragmento foi livremente segmentado em três partes: **a**, **b**, **c** (Fig. **58**). A permutação dos segmentos **a** e **b** produz um novo fragmento totalmente distinto do original.

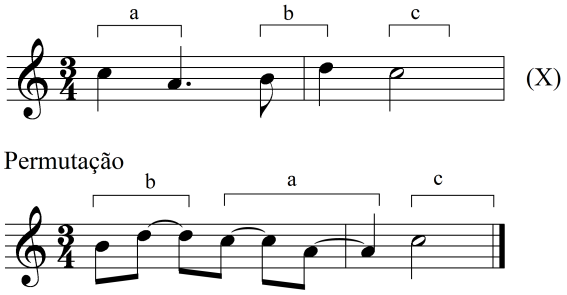

Fig. 58. *Permutação dos segmentos a e b do fragmento X.*

4.7. Fragmentação

A fragmentação deriva da permutação e consiste em manipular livremente os segmentos, aplicando-lhes outras transformações (transposição, inversão etc.) e distribuindo-os linearmente para formar um fragmento de maior porte e coeso. Na Fig. **59**, observa-se como transposições e inversões dos segmentos formadores do fragmento X foram concatenados para formar um segundo fragmento.

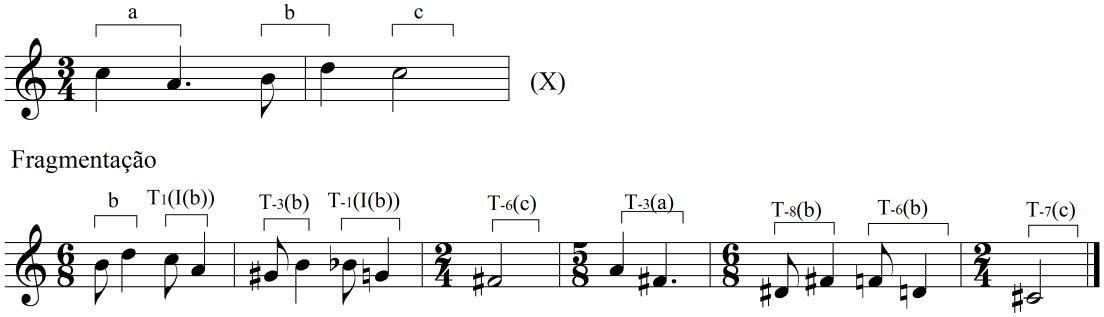

Fig. 59. *Fragmentação dos segmentos a, b e c do fragmento X.*

4.8. Filtragem

A filtragem consiste na seleção de informação a partir de um critério específico. Esse critério é determinado por um filtro, ou seja, um conjunto que especifica as classes de notas que permanecem no texto musical, sendo as demais transformadas em pausas. Na Fig. **60**, o filtro [B,C,D] indica que somente essas classes de alturas permanecem no fragmento transformado. As demais classes de alturas são transformadas em pausas.

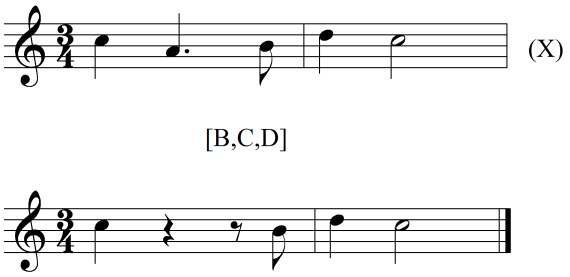

Fig. 60. *Filtragem do fragmento X a partir do filtro [B,C,D].*

4.9. Conversão

A conversão é um tipo de filtragem que altera as classes de alturas não pertencentes ao filtro de tal sorte que passam a pertencer. O critério é a proximidade. A classe de alturas Lá (Fig. **61**) é convertida para a nota Si, que é a classe de alturas mais próxima pertencente ao filtro.

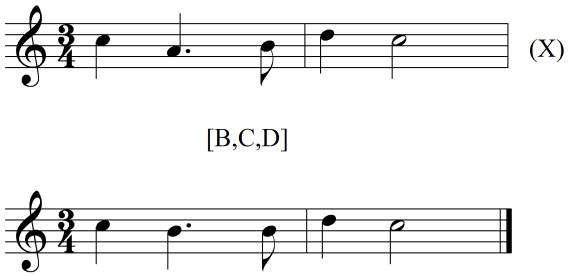

Fig. 61. *Conversão do fragmento X a partir do filtro [B,C,D].*

5. Derivação harmônica

Quando diversas transformações são aplicadas a um fragmento melódico, gera-se um repositório de materiais que poderão ser justapostos, sobrepostos e duplicados para formar uma obra musical. É possível também extrair harmonia desses fragmentos. Propomos que um fragmento melódico qualquer pode suscitar a formação de uma estrutura harmônica de acordo com a seguinte tipologia, exemplificada na Fig. **62**:

1. **Harmonia endógena** – as classes de alturas do fragmento melódico estão presentes na harmonia. Essa presença pode ser integral ou parcial.
    a. **Harmonia endógena integral** – todas as classes de altura do fragmento melódico concorrem para a formação da harmonia.
    b. **Harmonia endógena parcial** – é formada por três subtipos:
        i. **Incompleta** – somente uma parte das notas melódicas formam a harmonia.

ii. **Expandida** – notas estranhas ao fragmento melódico formam a harmonia.

iii. **Incompleta e expandida** – além de ter somente parte das notas melódicas na formação da harmonia, notas estranhas são acrescentadas.

2. **Harmonia complementar** – é efetivada pela utilização de material complementar ao material melódico proposto. Essa complementaridade se dá em relação a um conjunto mais amplo definido livremente pelo compositor.
3. **Harmonia disjunta** – emprega, na mesma janela temporal, classes de alturas diferentes das classes de alturas presentes na melodia para construir a harmonia.[79]
4. **Harmonia exógena** – trata-se de uma técnica cujo léxico e cuja sintaxe de conexão operam independentemente do material melódico. A harmonia exógena funciona como uma camada autônoma em relação à melodia, sendo construída separadamente e posteriormente acoplada a ela. Como consequência, podem ocorrer coincidências ocasionais de classes de alturas ou, ao contrário, total distinção entre os conjuntos empregados. O politonalismo figura entre as possíveis resultantes desse procedimento, dada a autonomia estrutural entre as camadas harmônica e melódica.

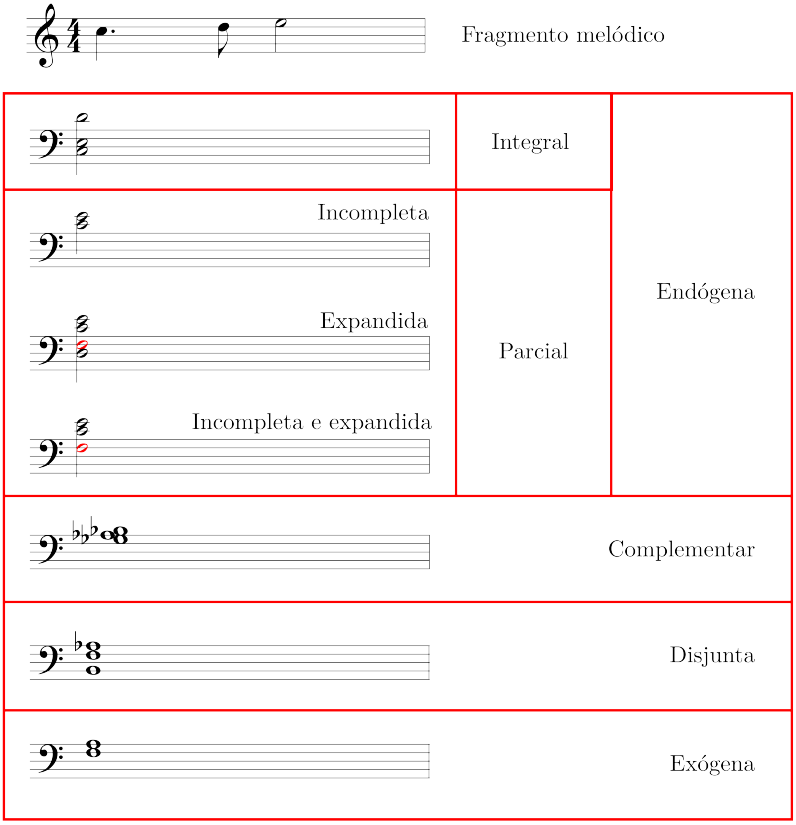

Fig. 62. *Tipos de harmonia extraída de um fragmento melódico*

[79] Esse tipo de derivação harmônica foi proposto pelo compositor Lourenço Dias de Vasconcellos durante a disciplina *Tópicos Especiais em Processos Criativos II – Planejamento composicional a partir de perspectivas melódicas* - MUD825, ministrada por mim no Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no segundo semestre de 2024.

O fragmento proposto no início da Seção 4 com suas dez transformações, juntamente com as possibilidades de derivação harmônica estudadas nesta Seção, podem ser utilizados para produzir um trecho para quarteto de saxofones, cuja organicidade é garantida pela onipresença da semente geradora. Na Fig. **63**, as transformações estão devidamente rotuladas, bem como a modalidade de derivação harmônica empregada.

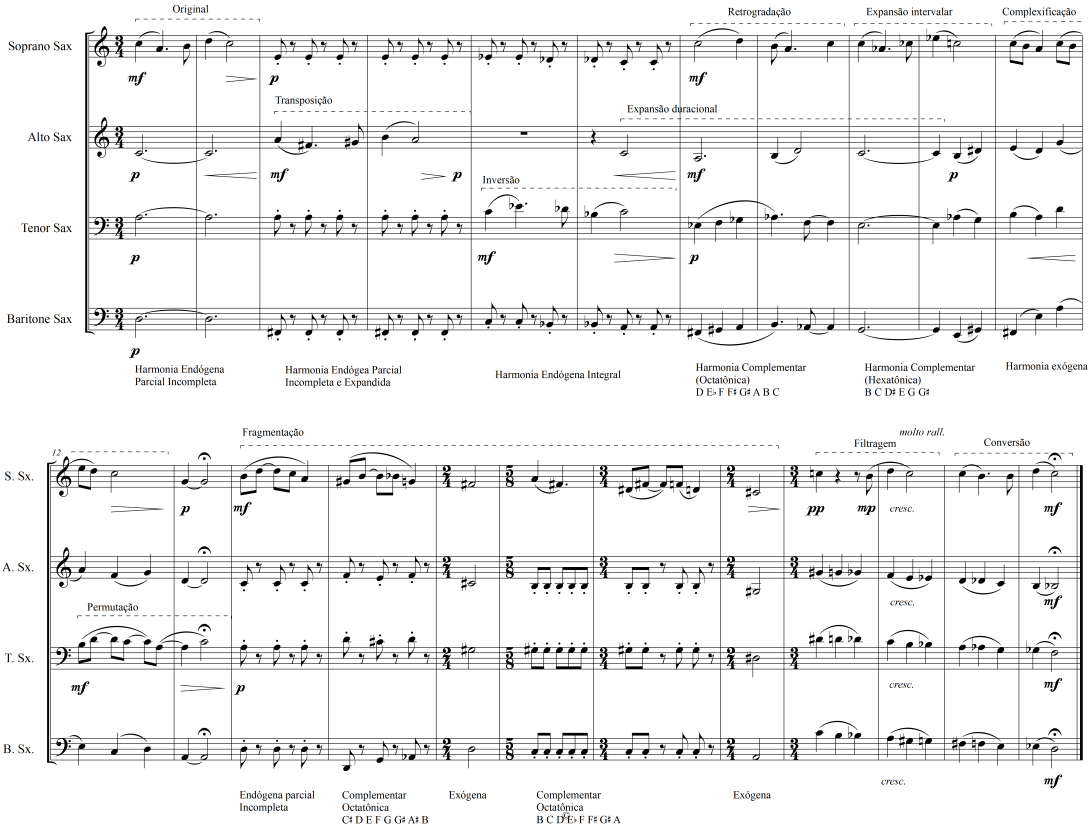

Fig. 63. *Exemplo de uso das transformações melódicas e das possibilidades de derivação harmônica.*

Conclusões

O presente estudo desenvolveu um panorama amplo e ainda exploratório das possibilidades de construção melódica, articulando fundamentos conceituais, estratégias analíticas e procedimentos composicionais que podem ser empregados tanto em contextos pedagógicos quanto criativos. Partindo de uma definição operatória de melodia – concebida como uma *estrutura sonora gramatical coerente formada por uma sequência de alturas definidas acopladas a uma sequência rítmica* – examinou-se a natureza multidimensional do fenômeno melódico, ressaltando-se sua articulação lexical, sintática, semântica e pragmática. A partir dessa moldura conceitual, o artigo percorreu diversas abordagens de geração melódica: vertical, horizontal, híbrida, aleatória, gestáltica, markoviana (descritiva e prescritiva), relacional, serial, SCR (descritiva e prescritiva), fractal e por mapeamentos. Em todas elas, buscou-se explicitar como

determinados gestos, regras ou modelos podem orientar a produção de linhas melódicas coerentes, oferecendo ferramentas metodológicas para a análise e a composição.

Embora o conjunto dessas abordagens ressalte a riqueza e a diversidade de caminhos possíveis, é fundamental destacar que este trabalho não pretende constituir uma teoria definitiva ou um guia normativo sobre melodia, tampouco esgotar o vasto campo de estudos existente. Ao contrário, a intenção foi reunir, de maneira organizada e acessível, um conjunto de estratégias que possam servir de ponto de partida, especialmente para compositores e compositoras em formação, para o desenvolvimento de competências analíticas e inventivas. O caráter preliminar do estudo, explicitado desde a introdução, é parte integrante de sua proposta: oferecer uma cartografia inicial, que poderá ser expandida, criticada, refinada ou substituída à medida que novas pesquisas e práticas se consolidem.

Do ponto de vista composicional, buscou-se evidenciar que a geração melódica pode ocorrer segundo diferentes racionalidades: desde processos intuitivos e artesanais até sistemas computacionais capazes de modelar comportamentos sintáticos, estatísticos ou relacionais. A inclusão de exemplos produzidos por programas em Python, bem como o uso de ferramentas como o *CAGE*, ilustra o potencial de automatização e simulação computacional na criação de materiais melódicos. Todavia, enfatizou-se que tais procedimentos não eliminam a necessidade da escuta crítica, do refinamento artesanal e da sensibilidade formal — dimensões que permanecem centrais no fazer musical.

O artigo também procurou mostrar que a melodia, mesmo quando gerada por algoritmos ou regras formais, não se dissocia de sua inserção estética, cultural e semiótica. Contornos, intervalos, gestos e tópicas transportam significados historicamente estabilizados, e a compreensão desses níveis expressivos é indispensável para o uso consciente das ferramentas discutidas.

Assim, este texto deve ser entendido como uma contribuição inicial ao campo da construção melódica e da educação composicional, oferecendo modelos, exemplos e reflexões destinadas a ampliar o repertório de possibilidades criativas. Mais do que prescrever um caminho, busca-se aqui abrir vias: estimular a experimentação, encorajar a autonomia metodológica e fornecer instrumentos para que cada compositor(a) desenvolva sua própria sintaxe melódica — rigorosa, expressiva, singular.

Referências

ALMADA, Carlos. *Musical Variation:* Toward a Transformational Perspective. Cham: Springer, 2023.

ALMADA, Carlos de Lemos. *Nas fronteiras da tonalidade:* tradição e inovação na harmonia da primeira sinfonia de câmara, op. 9 de Arnold Schoenberg. 2009. 209 f. Tese (Doutorado em Música) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BRANNER, B. The Mandelbrot Set. In Chaos and Fractals: The Mathematics Behind the Computer Graphics. Proc. Sympos. Appl. Math., 39. *Proceedings*..., Providence, RI: American Mathematical Society, 1989, p. 75–105.

BRIOT, Jean-Pierre ; HADJERES, Gaëtan ; PACHET, François-David. *Deep Learning Techniques for Music Generation*. Cham: Springer, 2020.

EPSTEIN, David. *Beyond Orpheus*: Studies in Musical Structure. Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

GENTIL-NUNES, Pauxy. *Análise particional*: uma mediação entre composição musical e a teoria das partições. Tese (Doutorado em Música), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

GUERRA-PEIXE, César. *Melos e Harmonia Acústica*. São Paulo: Irmãos Vitale, 1988.

GUIGUE, Didier. *Estética da Sonoridade*. São Paulo: Perspectiva, 2011.

HARTMANN, Ernesto. O Melos e Harmonia Acústica (1988) de César Guerra-Peixe, Koellreutter e Hindemith: similaridades e princípios básicos. *Per Musi*, Belo Horizonte, n.27, 2013, p.50-60.

HATTEN, Robert S. *Musical Meaning in Beethoven*: Markedness, Correlation, and Interpretation. Bloomington: Indiana University Press, 1994.

HATTEN, Robert S. *Interpreting Musical Gestures, Topics, and Tropes*: Mozart, Beethoven, Schubert. Bloomington: Indiana University Press, 2004.

HERNÁNDEZ-OLIVÁN, Carlos. *Deep Learning for Music Generation*. Disponível em https://github.com/carlosholivan/DeepLearningMusicGeneration#2023. Acesso em 12.11.23.

HINDEMITH, P. *The Craft of Musical Composition*. New York: Associated Music Publishers, 1947.

JEPPESEN, Knud. *Counterpoint* – The Polyphonic Vocal Stylle of the Sixteenth Century. New York: Dover, 1992.

KALTENECKER, Martin. *L'expérience mélodique au XXe siècle*. Genève: Contrechamps, 2024.

KRAFT, Leo. *Gradus*: an Integrated Approach to Harmony, Counterpoint, and Analysis. New York: W.W. Norton, 1990.

JOHNSON, Robert Sherlaw. *Messiaen*. London: J. M. Dent & Sons Ltd., 1989.

MANN, Alfred (Ed.). *The Study of Counterpoint* – from Johann Joseph Fux's Gradus ad Parnassum. New York: W. W. Norton, 1971.

McDONOUGH, John; HERCZYNSKI. Fractal Patterns in Music. *Chaos, Solitons and Fractals*, 170, 2023, p. 1-13.

MESSIAEN, Olivier. *The Technique of My Musical Language*. Translated by John Satterfield. Paris: Alphonse Leduc, 1956.

MAYR, Desirée J. M.; ALMADA, Carlos de Lemos. O conceito da Grundgestalt e suas múltiplas perspectivas. *Anais do 14º Colóquio de Pesquisa do PPGM/UFRJ*, v. 2, Processos Criativos, 2015, p. 64–74.

MEYER, Leonard B. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: University of Chicago Press, 1956.

MIRANDA, Eduardo Reck. *Composing Music with Computers*. London: Elsevier, 2004.

MONELLE, Raymond. *The Musical Topic*: Hunt, Military and Pastoral. Bloomington: Indiana University Press, 2006.

OLIVEIRA, Helder A. *Modelagem Gestáltica*: modelos sistêmicos a partir de princípios da Teoria da Gestalt. 2020. 300 f. Tese (Doutorado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

PAPOULIS, Athanasios, PILLAI, S Unnikrishna. *Probability, Random Variables and Stochastic Process*. 4a. Ed. London: McGraw-Hill, 2002.

PARKS, Richard. *The Music of Claude Debussy*. New Haven: Yale University Press, 1989.

PATEL, Aniruddh. *Music, Language, and the Brain*, 2ª ed. New York: Oxford University Press, Inc., 2008.

PERCHY, Salim; SARRIA, Gerardo. Musical Composition with Stochastic Context-Free Grammars. *8th Mexican International Conference on Artificial Intelligence* (MICAI 2009), Nov 2009, Guanajuato, Mexico. hal-01257155

PITOMBEIRA, Liduino. A Systemic Model for Debussy's Prelude No.1. *MusMat* - Brazilian Journal of Music and Mathematics, v.2, n.2, p.37 - 57, 2018.

PITOMBEIRA, Liduino. *Compositional Systems*: Overview and Applications. MusMat - Brazilian Journal of Music and Mathematics, v. 4, 2020a, p. 39-62.

PITOMBEIRA, Liduino; PASCALE, R. V.; GENTIL-NUNES, P.; GOMES, C. U.; ROCHA, M. K. B. Utilização do aplicativo de operações lineares Oplin como ferramenta de modelagem sistêmica. In: II Congresso Nacional de Música e Matemática, 2017, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: MusMat/UFRJ, 2020b, p.50 – 60.

PITOMBEIRA, Liduino. Composição pela concatenação de fragmentos independentes. *ORFEU*, v. 7, p. e0203, 2022.

QUICK, Donya; HUDAK, Paul. Grammar-based Automated Music Composition in Haskell. *Proceedings of the 1st ACM SIGPLAN Workshop on Functional Art, Music, Modeling & Design - FARM '13*. 2013.

RADER, Gary M. A Method for Composing Simple Traditional Music by Computer. *Communications of the Association for Computing Machinery*, v.17, n.11, 1974, p 631-638.

RANDEL, Don Michael, Ed. *The New Harvard Dictionary of Music*. London: The Belknap Press of Harvard University Press, 1996.

RIBEIRO, Roberto Macedo. *A Análise Estilística como ferramenta para o desenvolvimento de sistemas composicionais dinâmicos*. Rio de Janeiro, 2022. Tese (Doutorado em música). Programa de Pós-Graduação em Música, Centro de Letras e Artes, Escola de Música, Universidade Federal do Rio de janeiro, 2022.

RINGER, Alexander L. Melody. *Grove Music Online*. 2001; Disponível em. https://www.oxfordmusiconline.com/grovemusic/view/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000018357. Acesso em 12.11.23.

ROADS, Curtis; WIENEKE, Paul. Grammars as Representations for Music. *Computer Music Journal*, v.3, n.1, 1979, p. 48-55.

SANTOS, Raphael. *CAGE*: Computer Assisted Gestalt Environment. Disponível em: https://raphaelss.com/app/cage.html. Acesso em 07.11.23.

SCHOENBERG, Arnold. *Fundamentals of musical composition*. Londres; Boston: Faber and Faber, 1967.

SCHOENBERG, Arnold. *Style and Idea*: Selected Writings of Arnold Schoenberg. Editado por Leonard Stein. New York: St. Martin's Press, 1975

SCHOENBERG, Arnold. *Theory of harmony*. Berkeley; Los Angeles: University of California Press, 1978.

TENNEY, James; POLANSKY, Larry. Temporal Gestalt Perception in Music. *Journal of Music Theory*, v. 24, n. 2, p. 205–242, 1980.

TENNEY, James. *Meta+Hodos*: A Phenomenology of 20th-Century Musical Materials and an Approach to Study of Form and META Meta+Hodos. Editor: Larry Polansky. 2nd ed. Oakland: Frog Peak Music, 1988.

TOCH, Ernst. *The Shaping Forces in Music*. New York: Dover, 1977.

Liduino Pitombeira é professor de composição na Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro e integra o grupo de pesquisa MusMat (PPGM-UFRJ). Suas obras têm sido executadas por diversos grupos no Brasil e no exterior, entre eles o Quinteto de Sopros da Filarmônica de Berlim e a Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo. Pitombeira tem Doutorado em Composição e Teoria pela Louisiana State University (EUA). Tem diversos artigos publicados em revistas e anais de congressos no Brasil. pitombeira@musica.ufrj.br

Disponibilidade de dados: Os dados estarão disponíveis mediante solicitação.

Conflito de Interesses: Nenhum conflito de interesses foi declarado.

Modalidade de avaliação: Duplo-cega por pares.



A *Opus* está licenciada sob uma licença CC-BY.

Apêndices

1. *Abordagem vertical*

```
from music21 import *
import random

# Lista de acordes com notas
acordes = [[60,64,67],[68,71,75],[63,67,70],[59,63,68],[58,61,65],
        [65,69,72],[58,62,65]]

# Cria duas partes (melodia e acordes)
composicao2 = stream.Part()
chords = stream.Part()

#Durações disponíveis
durations_disponiveis = [0.5, 1]

# O número de compassos desejado depende da quantidade de acordes
num_compassos = len(acordes)

#Inicializa as listas
#notas_escolhidas para verificar no final que notas foram escolhidas
notas_escolhidas = []
#durações escolhidas para cada compasso
measure_durations = []

# Gere os compassos com durações de notas aleatórias
for i in range(num_compassos):
    #Cria o objeto compasso para guardar as notas
    compasso = stream.Measure()

    # Gera um número aleatório de notas para cada compasso
    # O último compasso terá apenas uma nota
    if i == len(acordes)-1: num_notas = 1
    else: num_notas = random.randint(3, 6)

    # Gera o número de figuras rítmicas para cada compasso
    # O último compasso terá uma figura rítmica longa
    if i == len(acordes)-1: durations = [3]
    else: durations = random.choices(durations_disponiveis, k=num_notas)

    #Calcula a duração total do compasso e preenche a lista
    compasso_duration = sum(durations)
    measure_durations.append(compasso_duration)

    #Designa a métrica com base no tamanho do compasso
    numerador = str(int(compasso_duration*2))
    denominador = '/8'

    #Guarda o valor no objeto compasso
    compasso.append(meter.TimeSignature(numerador + denominador))

    print(durations)

    #Acopla notas às figuras rítmicas e guarda no objeto compasso
    #e na lista notas_escolhidas
```

```
    for j in range(num_notas):
        nota_escolhida = random.choice(acordes[i])
        nota_aleatoria = note.Note(nota_escolhida)
        if num_notas == 1:nota_aleatoria.quarterLength = compasso_duration
        else: nota_aleatoria.quarterLength = durations[j]
        compasso.append(nota_aleatoria)
        notas_escolhidas.append(nota_escolhida)

    #Terminado o loop guarda o compasso na parte
    composicao2.append(compasso)

#Lista na tela as métricas escolhidas para cada compasso
timesignatures = []

for k in composicao2:
    timesignatures.append(k[0])
    print(k[0])

# Cria parte de acordes
linha_acordes = stream.Part()

# Insere os acordes com a mesma métrica melódica
for i in range(len(acordes)):
    m = stream.Measure()
    m.timeSignature = timesignatures[i]
    c = chord.Chord(acordes[i])
    c.duration = duration.Duration(measure_durations[i])
    m.append(c)

    linha_acordes.append(m)

# Cria uma partitura para exibir a melodia e os acordes simultaneamente
partitura = stream.Score()
partitura.insert(0, composicao2)
partitura.insert(0, linha_acordes)

# Grava a partitura
partitura.write('mxl', 'abvert2.mxl')
```

2. Abordagem horizontal

```
from music21 import *
from random import *
from copy import *

#Função que realiza o retrógrado da célula
def R(lista):
    listacopy= deepcopy(lista)
    novalista = listacopy[::-1]
    return novalista

#Função que inverte a célula em torno da nota inicial diatonicamente
def I(lista):
    alturas = [48,50,52,53,55,57,59,60,62,64,65,67,69,71,72,74,76,77,79,81,83,84]
    indices = [alturas.index(alturas[x]) for x in range(len(alturas))]
    listacopy= deepcopy(lista)
    listatraduzida = [alturas.index(x) for x in listacopy]
```

```
    intervalos = [listatraduzida[x+1] - listatraduzida[x] for x in range(len(listatraduzida)-1)]
    intervalosinversos = [-i for i in intervalos]

    novalista = [listatraduzida[0]]

    for i in range(len(intervalosinversos)):
      novalista.append(novalista[i] + intervalosinversos[i])

    novalistaretraduzida = [alturas[x] for x in novalista]

    return novalistaretraduzida

#Função que transpõe diatonicamente uma lista de alturas por um fator k
def T(lista,k):
    if k>0: k = k - 1
    else: k = k + 1

    alturas = [48,50,52,53,55,57,59,60,62,64,65,67,69,71,72,74,76,77,79,81,83,84]
    indices = [alturas.index(alturas[x]) for x in range(len(alturas))]
    listacopy= deepcopy(lista)
    listatraduzida = [alturas.index(x) for x in listacopy]
    novalista = [x + k for x in listatraduzida]

    novalistaretraduzida = [alturas[x] for x in novalista]

    return novalistaretraduzida

# Células básicas (tessitura máxima: G3 - G5, sendo C4 o C central)
# A = [69,74,72]
# B = [71,64,65,69]

A = input('Entre com uma lista de números MIDI diatônicos (de 59 a 76) separados por espaço: ').split()
A = [int(x) for x in A]

B = input('Entre com uma lista de números MIDI diatônicos (de 59 a 76) separados por espaço: ').split()
B = [int(x) for x in B]
Ciclo = input('Entre com um ciclo: ')

Lista = (eval(Ciclo))
print(Lista)

Listacromatica = [x+choice([0,0,0,1,1,-1]) for x in Lista]

partitura = stream.Stream()

for x in Listacromatica:
    nota = note.Note(x)
    partitura.append(nota)

partitura.show()
```

3. Abordagem aleatória

```
from random import *
from music21 import *
```

```
quantidade = 20

alturas = [x for x in range(60, 71, 1)]

linha = [choice(alturas) for x in range(quantidade)]

melodia = stream.Stream()

for x in range(len(linha)):
    nota = note.Note(linha[x])
    quarterLength = 1
    melodia.append(nota)

melodia.write(".mxl", "melodia.mxl")
```

4. Abordagem markoviana descritiva

```
from music21 import *
from random import *
import numpy as np
import pandas as pd
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
from graphviz import Graph


#Matriz de contagem
def MatrixTransitionraw(A):

    #List with unique values of A and in ascending order
    Aset = list(set(A))
    Aset.sort()

    #List of list filled with zeros (this will be filled by the iteractions)
    M = [[0]*len(Aset) for i in range(len(Aset))]

    #Gera a matriz de transição de probabilidades
    for i in range(len(A)-1):
        pos_linha = Aset.index(A[i])
        pos_coluna = Aset.index(A[i+1])
        M[pos_linha][pos_coluna]+=1


    return(M)

#Matriz de transição
def MatrixTransition(A):

    #List with unique values of A and in ascending order
    Aset = list(set(A))
    Aset.sort()

    #List of list filled with zeros (this will be filled by the iteractions)
    M = [[0]*len(Aset) for i in range(len(Aset))]
```

```
    #Gera a matriz de transição de probabilidades
    for i in range(len(A)-1):
        pos_linha = Aset.index(A[i])
        pos_coluna = Aset.index(A[i+1])
        M[pos_linha][pos_coluna]+=1

    #Normaliza a matriz
    for j in range(len(M)):
        total = sum(M[j])
        for k in range(len(M)):
            M[j][k] = round((M[j][k])/total,2)

    return(M)


#Extract the pitch parameter from a MIDI file
piece = converter.parse("jm_.mxl")
dados = [x.pitch.midi for x in piece.stripTies().flat.getElementsByClass('Note')]

print('Melodia original ',dados)

#Matriz de contagem
R = MatrixTransitionraw(dados)
print('Matriz de contagem = ', R)

#Matriz de transição
N = MatrixTransition(dados)
print('Matriz de transição = ', N)

linha = list(set(dados))
linha.sort()
print('linha', linha)

#Tabela excel dos movimentos melódicos

df = pd.DataFrame(R, index=linha, columns=linha)
writer = pd.ExcelWriter('tabelajmraw.xlsx', engine='xlsxwriter')
df.to_excel(writer, sheet_name='Planilha1')
writer.save()

#Matriz de transição no formato excel

df = pd.DataFrame(N, index=linha, columns=linha)
writer = pd.ExcelWriter('tabelajm.xlsx', engine='xlsxwriter')
df.to_excel(writer, sheet_name='Planilha1')
writer.save()


#Desenhando um grafo dos movimentos entre notas

# Converta a lista linha em um array numpy
R = np.array(R)

# Crie o objeto grafo
g = Graph(format='svg')

# Adicione os vértices com os rótulos da lista linha
for i in range(len(linha)):
```

```
    g.node(str(i), str(linha[i]))

# Adicione as arestas com pesos da matriz de transição N (exceto se o peso for zero)
for i in range(R.shape[0]):
    for j in range(R.shape[1]):
        peso = R[i][j]
        if peso != 0:
            g.edge(str(i), str(j), label=str(peso), dir='forward')

# Salve o grafo em um arquivo SVG
g.render('grafojmabsoluto')


#Desenhando um grafo da matriz de transição

# Converta a lista linha em um array numpy
N = np.array(N)

# Crie o objeto grafo
g = Graph(format='svg')

# Adicione os vértices com os rótulos da lista linha
for i in range(len(linha)):
    g.node(str(i), str(linha[i]))

# Adicione as arestas com pesos da matriz de transição N (exceto se o peso for zero)
for i in range(N.shape[0]):
    for j in range(N.shape[1]):
        peso = N[i][j]
        if peso != 0:
            g.edge(str(i), str(j), label=str(peso), dir='forward')

# Salve o grafo em um arquivo SVG
g.render('grafojm')

# Sorteando através da matriz de transição

# Valor inicial
Bset = list(set(dados))
Bset.sort()
nota = np.random.choice(Bset, 1, True)
print('nota sorteada inicial = ',nota)

qte = 0
nova =[]

while qte < 30:
    nova.append(nota)
    nota = np.random.choice(Bset, 1, True, N[Bset.index(nota)])
    qte = qte + 1

# Convertendo as arrays para inteiros
nova = [int(nova[i]) for i in range(len(nova))]

print('Nova melodia = ', nova)

durations = [0.5, 1, 2]
```

```
melodic_line = stream.Stream()

for i in range(len(nova)):
    nota = note.Note(nova[i])
    if i<len(nova):
        nota.quarterLength = choice(durations)
    else:
        nota.quarterLength = 2
    melodic_line.append(nota)


melodic_line.write('mxl', 'novamelodiajm.mxl')
```

5. *Abordagem markoviana prescritiva*

```
from music21 import *
from random import *
import numpy as np
import pandas as pd
from copy import *


#Matriz de transição
def MatrixTransition(M):

    #Normaliza a matriz
    for j in range(len(M)):
        total = sum(M[j])
        for k in range(len(M)):
            M[j][k] = round((M[j][k])/total,20)

    return(M)


# Lê o arquivo Excel.
excel_file = 'tabelapres.xlsx'

# Use a função read_excel para ler os dados do arquivo Excel.
df = pd.read_excel(excel_file, sheet_name='matrizcontagem', index_col=0)

# Converter o DataFrame em um array NumPy
R = df.values

# Converter o array NumPy em uma lista
R = R.tolist()

# Obter os valores da primeira linha (nomes de coluna) como uma lista
linha = df.columns.tolist()

Original = deepcopy(R)

N = MatrixTransition(R)


# Sorteando através da matriz de transição
```

```
# Valor inicial
Bset = linha
Bset.sort()
nota = np.random.choice(Bset, 1, True)
print('nota sorteada inicial = ',nota)

qte = 0
nova =[]

while qte < 30:
    nova.append(nota)
    nota = np.random.choice(Bset, 1, True, N[Bset.index(nota)])
    qte = qte + 1

# Convertendo as arrays para inteiros
nova = [int(nova[i]) for i in range(len(nova))]

print('Nova melodia = ', nova)

durations = [0.5, 1, 2]

melodic_line = stream.Stream()

for i in range(len(nova)):
    nota = note.Note(nova[i])
    if i<len(nova):
        nota.quarterLength = choice(durations)
    else:
        nota.quarterLength = 2
    melodic_line.append(nota)


melodic_line.write('mxl', 'novamelodiaprescritiva.mxl')
```

6. *Exemplo de linguagem do CAGE*

```
7/16
clef f
b,16 aes,16 c,16 d,,16 des,16 g,,16 a,16|
ees8 f,,16 e,16 clef gfis16 b16 clef g aes,,16|
c16 clef g d'16 a,8~ a,16 e''16 e''16|
bes'16 ces'8 r8 clef f des,,16 des,,16|
4/16
a,16 a,16 r8|
7/16
r8 ees,,,8 r8.|
r8 f,16 clef g fis16 c'16 b,16 d'16|
aes'16 a''8 r8 ees'''16 g'16|
clef f fis,16 e,,16 r8 b,,16 d,16 r16|
r16 b,,16 d,16 aes,,16 a,16 r8|
r16 b,,16 d,16 aes,,16 a,8.|
r4. clef g ees16|
g''8. fis'''4|
r4 r8.|
r4 r8.|
e4~ e8.|
r8 clef f bes,,16 d,8 r8|
```

```
bes,,16 d,8 r8 aes,16 clef g a16|
r4 r16 clef f des,,16 ees,16|
r8 clef g f8 fis''16 r8|
r4 r8.|
clef f d,4~ d,8.|
r8 aes,,8 a,8 r16
```

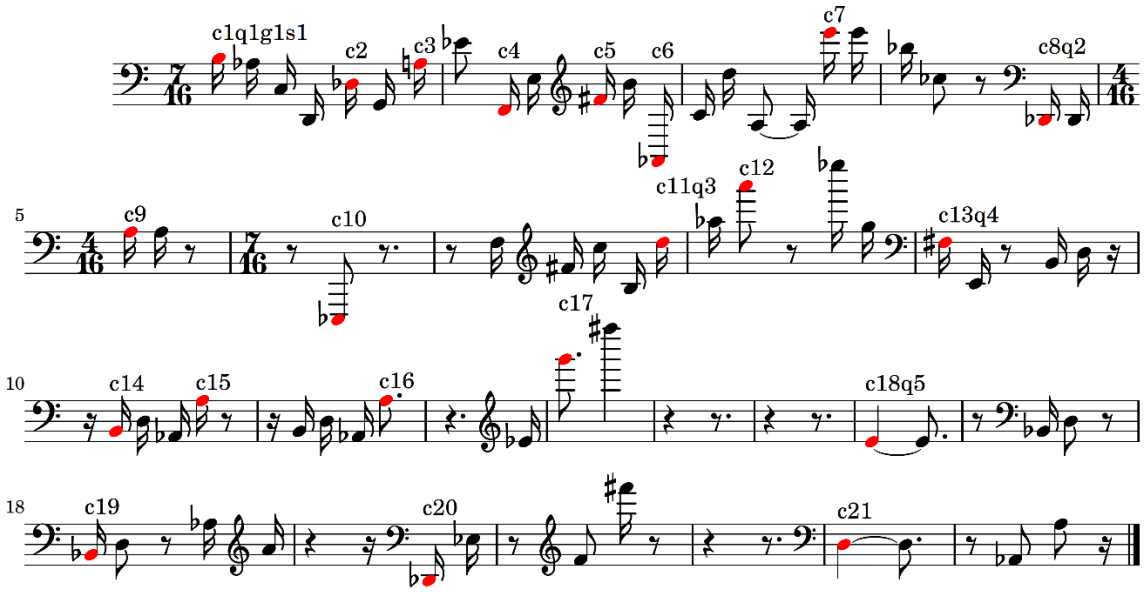

Fig. 64. Exemplo da linguagem do CAGE: linha melódica superior do *Prelúdio n.20*, de Claudio Santoro, com as segmentações gestálticas (Ribeiro, 2022, p. 269)

7. *Abordagem serial*

```
from music21 import *
from random import *
from copy import *


def INV(serie):

    inversa = [(12-x)%12 for x in serie]
    return inversa


def TRANS (serie):

    intervalos = range(1,12)
    fator = choice(intervalos)
    transposta = [(fator + x) for x in serie]
    return transposta

def RET(serie):

    return serie[::-1]

#============================================
```

```
cromas = list(range(0,12,1))

serie = deepcopy(cromas)
shuffle(serie)

melodia = INV(serie)+serie+TRANS(serie)+RET(serie)+RET(INV(serie))

linha = stream.Stream()

for x in range(len(melodia)):
    nota = note.Note(melodia[x]+60)
    nota.quarterLength = choice([0.5,1,1.5])
    linha.append(nota)
```

8. Abordagem SCR prescritiva

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Thu Oct  5 20:34:41 2023

@author: Liduino Pitombeira
"""

from random import *
from music21 import *

#Nota(n) e sentido(s), ascendente ou descendente
def S(n,s):

    nota = n + s*(choice(range(3,12,1)))
    return nota

#Nota(n) e sentido(s), ascendente ou descendente
def C(n,s):

    nota = n + s*(choice(range(1,3,1)))

    return nota


#Nota(n) e sentido(s), ascendente ou descendente
def R(n):

    return n

#Gera fragmento com base no ciclo e no tamanho fornecido pelo usuário
def GERA(n, ciclo):

    nota_inicial = choice(list(range(52,85,1)))
    A = [nota_inicial]
    sentido = [1,-1]

    k = 0
```

```
    while k<n:

        for i in ciclo:

            if i == 'S':
                sen = choice(sentido)
                nota_inicial = S(A[-1], sen)
                if nota_inicial > 85:
                    nota_inicial = 85-12
                A.append(nota_inicial)

            elif i == 'C':

                sen = choice(sentido)
                nota_inicial = C(nota_inicial, sen)
                if nota_inicial > 85:
                    nota_inicial = 85-12
                A.append(nota_inicial)

            else:

                nota_inicial = R(nota_inicial)
                A.append(nota_inicial)

        k = k + 1

    return A


print ("===========")
print ("SISTEMA SCR")
print ("===========")
print ("Esse sistema produz notas com base em três tipos de movimentos: S - salto, C - grau conjunto e R
- repetição")

n = int(input('Entre com o valor de n (tamanho do ciclo): '))
ciclo = input('Entre com o ciclo operacional (Exemplo SCCRCC): ')

A = GERA(n,ciclo)
melodia_A = stream.Stream()


for i in range(len(A)):

    nota = note.Note(A[i])
    if i<(len(A)-1):
        nota.quarterLength = choice([0.5,1,1.5])
    else: nota.quarterLength = 2
    melodia_A.append(nota)
```

9. *Abordagem fractal*

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Fri May 15 14:25:58 2020
```

```
@author: Liduino Pitombeira
"""

from music21 import *
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from random import *

#
=====================================================================
# ITERATION FUNCTION
#
=====================================================================

def mandel(R,I,max_iter):

    c = complex(R,I)
    z = 0.0j
    count=0

    while abs(z)<=2 and count<max_iter:

        z = z*z + c
        count = count+1

    return[count, c, abs(z)]

#
=====================================================================
=
# THE MAIN PROGRAM
#
=====================================================================
=

#Fix the number of rows and columns
rows=20
columns = 20
resultado=[]

#Creates an array of zeros
matriz = np.zeros([rows,columns])


#Sweeps all the points in a plane (real=1,1, Imag = -2,1). Each
#point is complex number

for row_index, I in enumerate (np.linspace(-1,1,num=rows)):
    for column_index, R in enumerate(np.linspace(-2,1,num=columns)):

        mandelset = mandel(R,I,100)
        matriz[row_index,column_index] = mandelset[0]
        resultado.append(mandelset)

#
=====================================================================
=
# PRODUCES THE IMAGE IN 600 DPI
```

```
#
==========================================================================
=

plt.imshow(matriz, cmap='Greys',interpolation = 'bilinear', extent = [-2,1,-1,1])
plt.xlabel('Real')
plt.ylabel('Imaginary')
plt.savefig('mandelbw3.pdf',dpi=600)

#
==========================================================================
=
# LIST THE MEMBERS OF THE MANDELBROT SET AND EXTRACT R AND I PARTS
#
==========================================================================
=

altura=[]
ritmo=[]

for j in range(len(resultado)):
    if resultado[j][2]<=2:
        mandel=resultado[j][1]
        altura.append(mandel.real)
        ritmo.append(mandel.imag)

#
==========================================================================
=
# NORMALIZE THE VALUES OF PITCH AND DURATION
#
==========================================================================
=

alturas_normalizadas = [int(round(x*10,0))%12 for x in altura]
ritmos_normalizados = [abs(round(x*10))*0.25 for x in ritmo]

print(alturas_normalizadas)
print('===============')
print(ritmos_normalizados)

#
==========================================================================
=
# SENDS PITCH AND DURATION TO MUSIC21
#
==========================================================================
=

melodia = stream.Stream()

for i in range(len(alturas_normalizadas)):
    nota = note.Note(alturas_normalizadas[i])
    nota.quarterLength = ritmos_normalizados[i]
    melodia.append(nota)

melodia.write('midi', 'feedmandel7.mid')
```