

## O uso de processos estocásticos como recurso criativo no desenvolvimento de um sistema composicional

*The Use of Stochastic Processes as a Creative Resource in the Development of a Compositional System*

Ana Miccolis

*Universidade Federal do Rio de Janeiro*

**Resumo:** O desenvolvimento de sistemas composicionais (Pitombeira 2020) pode fazer uso da matemática como uma poderosa ferramenta para especificação de regras. A maior propriedade desse uso é que ela dá suporte à abstração, tornando-se um meio excelente para modelagem (Pressman 1994). Conceitos oriundos dela proporcionaram uma base para o processo composicional de Xenakis (Xenakis 1992). A estocástica, uma das áreas da matemática selecionada pelo compositor, pode ser aplicada à elaboração da arquitetura de um sistema de composição para combinar elementos pré-existentes da composição ou para trabalhar objetos musicais ou extramusicais, resultando na expansão do processo criativo. Com esse recurso, um sistema composicional markoviano denominado Dorotéia é proposto e como resultado aplicado da pesquisa, são elaboradas algumas obras, cada uma delas conduzida por trechos literários extraídos do livro do escritor oulipiano Italo Calvino (Calvino 1990).

**Palavras-chave:** Iannis Xenakis. Desenvolvimento de sistemas composicionais. Matemática e música. Processos markovianos para composição.

**Abstract:** The development of a compositional system (Pitombeira 2020) can make use of mathematics as a powerful tool for specifying rules. The biggest property of this usage is that it supports abstraction, making it an excellent medium for modeling (Pressman 1994). Concepts extracted from it provide a basis for Xenakis compositional process (Xenakis 1992). Stochastic, one of the areas of mathematics selected by the composer, can be applied to the elaboration of the architecture of a compositional system in order to combine pre-existing elements of the composition or to work with musical or extra-musical objects, resulting in the expansion of the creative process. With this feature, a Markovian compositional system called Doroteia is proposed and as an applied result of the research, some pieces are elaborated, each of them conducted by literary excerpts extracted from the book of the Oulipiano writer Italo Calvino (Calvino 1990).

**Keywords:** Iannis Xenakis. Development of Compositional Systems. Mathematics and Music. Markovian processes for composition.



## 1. Introdução

Este trabalho apresenta alguns resultados de pesquisa sobre o desenvolvimento de sistemas composicionais, com ênfase no processo de composição empregado por Iannis Xenakis. Do seu processo são analisados alguns recursos, os quais podem ser aplicados à elaboração de um sistema composicional, como forma de expandir as possibilidades de composição em contextos muito distantes do original e permitir a reutilização de material composicional pré-existente. No século XX, esse músico deixou como legado uma escrita única sobre algumas de suas composições, explicando como conceitos extraídos de diversas áreas da matemática poderiam ser interpretados como fonte de recursos na composição musical. O desenvolvimento de sistemas composicionais (Pitombeira 2020) também pode fazer uso da matemática e a maior propriedade de seu uso na especificação de sistemas é que ela propicia o uso de abstrações, tornando-se um meio excelente para modelagem (Pressman 1994, p. 289). Conceitos derivados dela proporcionam uma base para um rico planejamento composicional e Xenakis explorou amplamente a matemática em seu livro “Formalized Music” (Xenakis 1992). Através do uso de Estocástica, Processos Probabilísticos Markovianos, Teoria dos Jogos e Álgebra de Boole, o compositor expandiu as possibilidades do seu processo composicional. O autor também empregou técnicas de montagem que permitiriam o reuso do próprio material composicional pré-existente (Gibson 2011). A inserção de um fragmento selecionado de uma peça pré-existente do próprio compositor é um exemplo de reuso que pode ser observado em *Antikhthon* (1971). Xenakis faz uso de elementos presentes nos compassos 23 e 24 de uma peça composta em 1965, *Nomos Alpha*, para escrever os compassos 93 a 94 de *Antikhthon*. Ele também reutilizou os compassos 70 e 71 da parte de piano de *Erikhthon* (1974) para a composição dos compassos 68 a 69 de *Akanthos* (1977). Outro tipo mais abstrato de reutilização envolvendo texturas, pode ser observado em duas peças do compositor de 1959: *Duel* e *Syrmos* (Gibson 2011, p. 12). A utilização da matemática presente no processo criativo do compositor viabilizou a criação de novas obras musicais com o reuso de material pré-existente.

Assim, um sistema composicional pode ser construído com algumas técnicas do processo criativo de Xenakis e aplicado a um contexto<sup>1</sup> bem diferente do original. Os trechos musicais apresentados neste trabalho fazem parte de um conjunto de obras com parte para harpa, as quais são planejadas a partir de conceitos oriundos de processos estocásticos, presentes no processo composicional de Xenakis. Como resultado aplicado da pesquisa, foram elaboradas algumas obras, cada uma delas conduzida por trechos literários extraídos do livro do escritor oulipiano Italo Calvino. Esse escritor é pertencente a um grupo que pensava no uso de regras para expansão das possibilidades de escrita. O movimento de escritores intitulado OULIPO, procurava expandir os recursos de criação literária através da explicitação e aplicação de regras matemáticas na literatura. Queneau, um dos escritores e fundadores do grupo oulipiano, escreveu vários textos para demonstrar as possibilidades de aplicação, transpondo os conceitos básicos de ponto, reta, plano e da teoria dos conjuntos para a literatura. Em seu livro *Exercício de Estilos* (Queneau 1995) ele escreve vários textos: *Metáteses*, *Probabilista*, *Conjuntos*, *Permutações de Grupos*, *Inesperado*, títulos que fazem referência ao uso de conceitos dos diversos ramos da matemática. Para o escritor, os artistas deveriam ter plena consciência das regras formais empregadas no processo criativo. A matemática, presente na construção das restrições dos textos oulipianos e que também se faz presente no processo criativo de Xenakis, pode servir como uma ferramenta para especificação de sistemas composicionais. O artista pode empregá-la no seu processo criativo, desenvolvendo um sistema composicional que o auxilie na seleção consciente de regras e que permita a expansão do material produzido através delas.

## 2. Desenvolvimento de sistemas composicionais

Um sistema é um conjunto de objetos e relações (Klir 1991). Segundo Bertalanffy (2008, p.84), “um sistema é um complexo de elementos em interação”. Aplicando esse conceito de Bertalanffy à música, podemos compreender os sistemas composicionais como “conjuntos bem definidos de operações realizadas

---

<sup>1</sup> Xenakis pode ser esteticamente associado à Escola Polonesa de Massas Sonoras (juntamente com Penderecki, Lutoslawski e Ligeti). A obra que será produzida aqui se distancia dessa estética e focaliza exclusivamente no controle das classes de alturas com padrões repetitivos controlados estocasticamente.

em configurações musicais” (Winham 1970, p. 43)<sup>2</sup>. Em relação a sistemas composicionais, Lima (2011) afirma que é “[...] um conjunto de diretrizes, formando um todo coerente, que coordenam a utilização e interconexão de parâmetros musicais, com o propósito de produzir obras musicais” (Lima 2011, p. 62)<sup>3</sup>. Ao elaborar um sistema composicional, é possível tanto definir uma estrutura original como aplicar relações oriundas da modelagem sistêmica (Pitombeira 2015), partindo de uma ou várias obras musicais pré-existentes. Contudo, um sistema modelado pode também ser criado a partir de elementos extramusicais. Formas de nuvens presentes no material composicional de Xenakis podem ser fruto de um diálogo da música com arquétipos presentes na literatura e outras fontes extramusicais. Segundo Benjamin Levy, o arranjo de textos gregos apresenta uma narrativa não linear, comparável à forma de nuvens, e a estocástica possibilitaria a Xenakis compor criando essas formas em nuvens. A narração em *Mycenae Alpha*, uma de suas obras, remete à dialética entre Homero e Ática, incluindo associações próprias no tempo, geografia e gênero literário (Levy 2012, p. 183).

### 3. Sistemas composicionais com transdução de elementos extramusicais

Quando elementos extramusicais são utilizados na elaboração de um sistema composicional, trazendo-os para o domínio da música, podemos chamar essa transformação de transdução entre domínios, numa concepção mais abrangente do termo, como proposta por Simodon (Assis 2017). No caso da presente pesquisa, os processos composicionais de Xenakis foram utilizados de forma concomitante com o material extramusical presente na literatura oulipiana de Italo Calvino. O desenvolvimento do sistema composicional fez uso de elementos do texto de *As Cidades Invisíveis* (Calvino 1990). O sistema foi elaborado transduzindo da sua narrativa literária objetos cuja combinação formava um grupo e suas variações. O conjunto de regras especificadas no

---

<sup>2</sup> Embora Winham, nessa definição, não mencione precisamente o termo Sistema Composicional, a descrição parece se encaixar perfeitamente no arcabouço teórico que dá sustentação à Teoria dos Sistemas Composicionais. No texto original de Winham lê-se: “A MUSICAL system, as opposed to a method of composition, consists of a well-defined set of operations upon musical configurations”.

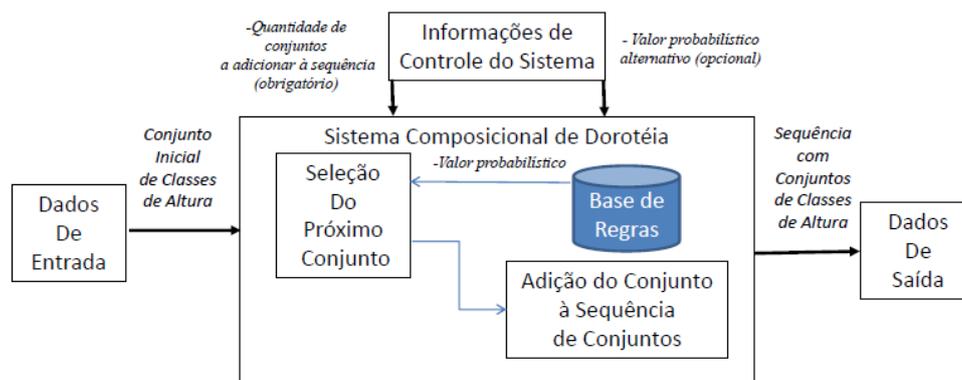
<sup>3</sup> Essa definição foi atualizada posteriormente para incluir materiais musicais em estado bruto (sem manipulações ou transformações), além dos parâmetros (Pitombeira 2015, p. 69)

sistema permitiu criar um paralelo entre os processos de criação musical xenakiano e o modelo literário oulipiano, ambos apoiados na matemática. Calvino, ao desenvolver a narrativa de seus contos, assim como vários escritores oulipianos, se propunha a expandir as possibilidades de escrita através do uso de regras. Queneau, um dos membros do OULIPO, escreveu em seu livro *Exercícios de Estilo* alguns textos cujos títulos podem ser relacionados às áreas da matemática escolhidas por Xenakis no seu livro *Formalized Music*. Na obra desse compositor há aplicação de algumas áreas da matemática como a teoria dos jogos, probabilidade, álgebra de conjuntos e estocástica, e estas são também sugeridas nos textos de Queneau: *Gramática Transformativa*, *Probabilista*, *Conjuntos* e *Inesperado*. Assim como Queneau, Calvino utilizava regras para construção de sua ficção e, em *As Cidades Invisíveis*, temos o transitar de um viajante pelas possíveis cidades e algumas regras que as fazem similares. No desenvolvimento do sistema composicional são utilizados elementos descritos no texto de Calvino, transcrevendo-os musicalmente a partir de uma das cinquenta e cinco cidades construídas pelo escritor em seu livro. Calvino divide o texto em onze grupos de cidades e no planejamento composicional foi selecionada a cidade denominada *Doroteia*, que dá o título à composição. A cidade de Dorotéia está inserida no grupo *As Cidades e o Desejo*. No sistema composicional denominado Dorotéia que será apresentado aqui no trabalho, o desejo é interpretado como uma preferência do compositor por algum resultado e implementado através de regras probabilísticas que tendem a intensificar a ocorrência de um evento preferido em relação a outro concorrente. Assim, o desejo do compositor se faz presente, mas não de forma totalmente determinada. O material composicional é resultado de uma seleção construída através de processos markovianos e as regras que definem o sistema incluem também as opções menos preferidas pelo compositor.

#### 4. Descrição do sistema composicional

No sistema proposto, nove grupos de objetos dão origem a todo o material composicional. Para construir a transição de um grupo a outro, o sistema recebe como entrada um ponto inicial de partida que consiste em um conjunto de classes de alturas correspondente a um dos nove grupos. Assim, através de valores probabilísticos previamente estabelecidos monta uma sequência com os possíveis caminhos. O sistema recebe informações de controle que alteram o

comportamento dele. Uma delas é a quantidade de transições que serão formadas a partir do ponto inicial de partida. Essa informação é de preenchimento obrigatório, pois resulta na iteração do processo de seleção de novos conjuntos, o qual forma uma sequência de conjuntos de classes de altura. Outra informação de controle opcionalmente fornecida ao sistema é o valor probabilístico. Ele é utilizado para os cálculos de transição e pode ser obtido diretamente pelo sistema na base de regras. Contudo, quando fornecido como informação de controle, o valor informado pode substituir o padrão estabelecido inicialmente para uso pelo sistema. A base de regras do sistema armazena os valores probabilísticos atribuídos à transição de cada conjunto e não armazena as informações de controle passadas a cada processamento. A seleção do próximo conjunto utiliza os valores da base de regras ou algum valor alternativo fornecido ao sistema. A saída do sistema consiste de uma sequência de conjuntos de classes de alturas, a qual será utilizada no planejamento composicional de uma nova peça, como ilustra a Fig. 1.



**Figura 1:** Sistema Composicional Aberto de c. 1 a 4 da harpa com início em B1

## 5. Aplicação do sistema no planejamento composicional para harpa de pedais

Na composição para harpa, o emprego da estocástica permitiu formar um jogo com os bairros da cidade ficcional de Dorotéia. O domínio das alturas foi escolhido para geração de grupos constituídos segundo regras, formando uma combinação de elementos que são colocados em sequência através de processos estocásticos. Na Teoria das Probabilidades, um processo é dito estocástico

quando um conjunto de variáveis aleatórias pode representar a evolução de um sistema de valores com o tempo. Ainda que se conheça uma condição inicial, o processo pode evoluir em várias direções. Em caso de tempo discreto, o processo estocástico transforma-se numa sequência de variáveis aleatórias, como uma *Cadeia de Markov*, recurso amplamente explorado na música (Carvalho 2019). Há dois tipos de processos aleatórios que podem ser utilizados para gerar composição musical: aqueles com observações independentes e aqueles nos quais o resultado prévio influencia o resultado atual de alguma forma (Dogge 1997, p. 341). A probabilidade de que algum evento venha a ocorrer pode ser calculada a partir da taxa do número de ocorrências daquele evento sobre o total de resultados possíveis do processo. Como um exemplo, pode-se atribuir a variável  $X$  ao processo de jogar um dado de seis lados. Essa variável poderá ter como valor um dos seis elementos do conjunto  $\{1,2,3,4,5,6\}$ . Se o dado estiver sem vício, as chances de cada um dos valores são idênticas. Assim, por exemplo, a probabilidade do resultado de um lance do dado ser igual a 2 é  $1/6$ . Matematicamente a probabilidade  $P$  pode ser escrita como  $P\{X=2\}=1/6$ . Probabilidade condicional também pode ser utilizada na música e também há diversos algoritmos para gerar variáveis aleatórias influenciadas por eventos passados (Dodge 1997, p. 361).

A probabilidade condicional é escrita matematicamente como  $P\{X_n = i \mid X_{n-1} = j\} = P_{ij}$ . Essa fórmula é interpretada como a probabilidade de  $X$  ser igual  $i$ , dado que o último valor de  $X$  tenha sido  $j$ .  $P_{ij}$  assume um valor entre 0 e 1 e é chamada probabilidade de primeira ordem devido a ser conhecido apenas um valor prévio. Para representar as probabilidades condicionais de um processo preenchem-se as células de uma matriz conhecida como Matriz de Transição.

		Última Altura			
		C	D	E	G
Próxima	C	0,0	0,3	0,0	0,0
	D	1,0	0,3	0,3	0,0
	E	0,0	0,4	0,6	0,5
	G	0,0	0,0	0,1	0,5

**Tabela 1:** Matriz de Transição para gerar uma melodia a partir de quatro notas (Dodge 1997, p. 362)

No exemplo da matriz apresentada (Tab. 1), dado que a última nota tocada tenha sido a nota Dó (C), a próxima nota será sempre a nota Ré. Contudo, se a

última nota tocada tiver sido a nota Sol, haverá a mesma probabilidade de que a próxima nota seja a nota Mi ou Sol. As entradas nessa tabela podem vir da análise de um trabalho existente ou ser resultado de um projeto composicional. Na opção de utilizar essa tabela para um projeto composicional deve-se tomar cuidado para que a soma de cada coluna seja sempre igual a um. Além disso, deve-se evitar a possibilidade de valores que gerem resultados de repetição infinita, como por exemplo, associar o valor igual a um na célula referente à passagem de Dó para Dó. Nesse caso, ao atingir a nota Dó, somente esta nota seria gerada. Na composição que será explicada, a opção da matriz de transição não se deu por notas, mas sim por conjunto de classes de alturas. Utilizando como inspiração a descrição da cidade imaginária foram criados conjuntos cujos elementos constituídos de classes de alturas possuem características que permitem, restringem ou incentivam a transição entre eles.

A descrição da cidade de Doroteia remete à possibilidade de escolha de um caminho, dentre vários possíveis (Calvino 1990, p. 6). De forma análoga, o trecho musical para harpa está escrito sob a influência de processos estocásticos aplicados ao domínio das alturas, tanto para a criação da linha melódica, como para a harmonia. Todos os compassos foram escritos a partir da seleção de forma aleatória, considerando as possibilidades de transição entre nove conjuntos de classes de alturas. A regra definida para a probabilidade de seleção de um conjunto foi definida a partir da forma prima de cada conjunto (Straus 2013). Quando houvesse um número maior de elementos distintos, a probabilidade seria de 80% para escolha do vizinho com mais elementos exclusivos e 20% para o outro. Quando ambos os conjuntos apresentassem a mesma quantidade de elementos distintos, então cada um teria a probabilidade de 50% de ser escolhido. As classes de alturas de cada conjunto foram selecionadas observando a facilidade de execução de sequências com notas alteradas na harpa. A forma prima dos nove conjuntos foi calculada para determinar a probabilidade associada a cada um deles (Tab. 2).

Dado um conjunto dessa tabela, uma matriz de transição deverá ser elaborada de tal forma que, ao atingir cada um dos nove conjuntos, o sistema prossiga para um novo conjunto vizinho a ele. A probabilidade de escolha de um dos dois vizinhos pode ser idêntica à de seu concorrente. Isso ocorre com a transição de B3 para um de seus vizinhos B2 e B4. Analisando o conteúdo de B3

em relação a seus vizinhos, podemos verificar que B2 possui duas classes de alturas na sua forma prima que não estão presentes em B3, as classes 3 e A.

Conjunto	Classes de Alturas	Forma Prima
B1	024579B	013568A
B2	124679B	013568A
B3	123679A	0125689
B4	13689A	012479
B5	12368A	012579
B6	123689A	0125679
B7	023589A	0124679
B8	024589B	0134689
B9	01468B	012579

**Tabela 2:** Forma prima dos nove conjuntos Bi

Em relação à B4, essa classe está empatada, pois a forma prima de B4 também possui duas classes de alturas que não estão presentes na forma prima de B3, as classes 4 e 7. Assim, a matriz de transição elaborada deverá dar a mesma probabilidade de uma vez estando em B3, o sistema escolher B2 ou B4 como próximo conjunto de classes de alturas. Quando analisando os vizinhos de B4, a opção B3 pode ter uma preferência em relação à B5, visto que B3 tem mais classes de alturas exclusivas do que B5. Podemos verificar que B3 possui três classes de alturas na sua forma prima que não estão presentes em B4, as classes 5, 6 e 8. A comparação de B5 com os seus vizinhos B4 e B6 permite constatar que B4 possui uma classe de alturas na sua forma prima que não está presentes em B5, a classe 4. Em relação à B5, essa opção está empatada, pois a forma prima de B6 também possui uma classe de alturas que não está presente na forma prima de B5, a classe 6. Prosseguindo com a análise da forma prima de B6, verifica-se que a forma prima de seu vizinho B5 não possui nenhuma classe de alturas que não exista na forma prima de B6. A vantagem na seleção dos vizinhos de B6 é dada para o conjunto B7, cuja forma prima apresenta uma classe de alturas que não está presente em B6, a classe 4. Ao analisar se há preferência entre B6 e B8, podemos verificar que a forma prima de B6 possui apenas uma classe de alturas que não existe na forma prima de B7, a classe 5. Por isso, a vantagem na seleção é dada para B8, cuja forma prima apresenta duas classes de alturas que não estão presentes em B7, as classes 3 e 8.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B3	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0
B4	0	0	0,8	0	0,2	0	0	0	0
B5	0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0
B6	0	0	0	0	0,2	0	0,8	0	0
B7	0	0	0	0	0	0,2	0	0,8	0
B8	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,8
B9	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0

**Tabela 3:** Matriz probabilística de transição entre todos os conjuntos Bi

A análise dos vizinhos de B8 resulta na preferência para B9. Entre B7 e B9 nota-se que a forma prima de B7 apresenta duas classes de alturas que não estão presentes na forma prima de B8, as classes 2 e 7. Contudo a preferência será dada a B9, pois a forma prima de B9 possui três classes de alturas que não estão presentes em B8, as classes 2, 5 e 7. Não há preferência entre B8 e B1, elas estão empatadas. A forma prima de B8 possui quatro classes de alturas que não estão presentes na forma prima de B9, as classes 3, 4, 6 e 8. No entanto, a forma prima de B1 também apresenta quatro classes de alturas que não estão presentes na forma prima de B9, as classes 3,6,8 e A. Ao analisar a quantidade de elementos exclusivos entre os vizinhos, pensando neles como as classes contidas na forma prima dos conjuntos, temos conjuntos com maior chance de serem selecionados em relação a outros. A composição para harpa teve a primeira seção iniciando com a seleção de B1. A partir de B1 os compassos seguintes foram escolhidos com as possibilidades de mudança dos conjuntos da matriz probabilística de transição (Tab. 3). Os quatro primeiros compassos (Ex. 1) são construídos com a parte da harpa iniciando com as classes de alturas presentes em B1. A sequência do segundo compasso tem como única opção o conjunto B9. Contudo, os conjuntos B3, B5 e B9 tinham chances iguais de ir tanto para o vizinho antecessor como para o vizinho precedente. Os conjuntos B6, B7 e B8 tinham maior chance de ir para o respectivo vizinho precedente em vez de ir para o vizinho antecessor. O conjunto B2 tinha como única opção o conjunto B3, enquanto o conjunto B4 tinha maior chance de ir para o vizinho B3 em vez do que seu vizinho B5.

Exemplo 1: Compassos 1 a 4 da harpa com início em B1

A probabilidade de que após a ocorrência dos conjuntos B6, B7 e B8 o próximo conjunto utilizado na composição fosse um vizinho precedente em vez do vizinho antecessor era de 80%. Ao contrário, a possibilidade do conjunto B4 ser seguindo do seu vizinho precedente, B5 é de apenas 20%. Uma vez atingido o conjunto B4, há 80% de chance de que o próximo conjunto seja o seu vizinho antecessor B3.

Exemplo 2: Compassos 32 (fim da seção A) e 33 (início da seção B)

Na seção B da composição utilizando o sistema com a matriz de transição, um novo conjunto de partida foi selecionado no compasso 33, o conjunto B5, como ilustra o trecho do Ex. 2. A segunda metade da sessão B também utilizou o conjunto B5 como ponto de partida, mas apresentou ocorrências diferentes da sequência gerada dos compassos 33 a 48. Nos compassos 49 a 64 apareceram os conjuntos B6, B7 e B8, que não haviam sido selecionados na sequência de compassos 33 a 48. Durante a escrita dos compassos na parte da harpa, sempre que a mudança entre os conjuntos  $B_{ij}$  exigia um novo conjunto de classes de alturas diferentes do compasso anterior, uma estratégia de aprontar a transição dos pedais previstos era adotada. Para facilitar a mudança de pedais na harpa, uma tabela com as passagens cromáticas foi construída. A Tab. 4 exemplifica como ficou a mudança de pedais a cada mudança  $B_{ij}$ . Na primeira linha podemos

observar que para mudar do conjunto de classes de altura B1 para o B9, o esquema de pedal deve conter a mudança com os pedais das notas Ré<sub>b</sub>, Lá<sub>b</sub> e Sol<sub>#</sub>. Com o uso do esquema montado, mesmo com a presença de conjuntos distintos de pedais a cada passagem de compasso, a execução na harpa tornou-se exequível e teve a escrita facilitada, uma vez que já era conhecida a situação dos pedais no bloco anterior. Com o preparo de apenas dois pedais em paralelo, a sonoridade do conjunto seguinte era rapidamente atingida. O emprego de um padrão melódico com pequenas alterações na harpa e no piano serviu de ligação para as notas que surgiam e desapareciam, conforme o encadeamento era construído. Dessa forma, ainda que a alteração no conjunto de classes de alturas se operasse a cada compasso, a repetição contínua de um pequeno fragmento de tema dava uma sensação de ligação de um compasso para o outro (Ex. 3).

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1									(Ré <sub>b</sub> , e Lá <sub>b</sub> ) + Sol <sub>#</sub>
B2			Mi <sub>b</sub> Si <sub>b</sub>						
B3		Mi <sub>##</sub> Si <sub>##</sub>		Ré <sub>#</sub> Sol <sub>#</sub>					
B4			Ré <sub>##</sub> Sol <sub>##</sub>		Ré <sub>##</sub> Lá <sub>b</sub>				
B5				Ré <sub>#</sub> Lá <sub>##</sub>		Lá <sub>##</sub>			
B6					Lá <sub>b</sub>		Fá <sub>##</sub> Dó <sub>##</sub>		
B7						Fá <sub>#</sub> Dó <sub>#</sub>		Si <sub>##</sub> Mi <sub>##</sub>	
B8							Si <sub>b</sub> Mi <sub>b</sub>		Ré <sub>b</sub> Lá <sub>b</sub>
B9	Ré <sub>##</sub> Lá <sub>##</sub> Sol <sub>##</sub>							Ré <sub>##</sub> Lá <sub>##</sub>	

**Tabela 4:** Esquema de mudança de pedais entre os possíveis conjuntos B<sub>ij</sub>

The musical score for harp, measures 43-45, is written in 4/4 time. The right hand (treble clef) plays a complex melodic line with dynamic markings of *mf* and *f*. The left hand (bass clef) plays a bass line with dynamic markings of *mf* and *f*. The notes are: Mib, Sib, Sol#, Re#, Solb, Reb.

Exemplo 3: Compassos 43 a 45 da parte da harpa

## 6. Considerações finais

No desenvolvimento de um sistema composicional, podemos modelar o uso de um recurso já utilizado no processo composicional de algum compositor, porém gerando resultados bem distantes daqueles obtidos anteriormente. Segundo Rosseti, o uso de modelos estatísticos na composição de Xenakis teria o intuito de gerar dados e informações, que posteriormente seriam transformados em música, dando uma liberdade intuitiva a esta tarefa (Rosseti 2010). Xenakis também utilizou no seu processo criativo algumas técnicas que permitiram o reuso de material pré-existente de suas próprias obras (Gibson 2011). No presente trabalho o processo criativo de Xenakis serviu de modelo para a criação de um sistema de composição, empregando métodos estocásticos. A composição foi elaborada para harpa e piano e poderia também ser adaptada para um duo de harpas ou outra formação instrumental. Ao selecionar esse procedimento, o resultado se distanciou de forma inequívoca do material composicional original de Xenakis. O sistema proposto fez uso de processo estocástico e se inspirou na releitura de elementos da escrita oulipiana. Escritores do movimento oulipiano tinham como objetivo a expansão da escrita através do uso de regras. A expansão no processo composicional se deu pelo uso de regras e processos estocásticos que permitiram a criação de material composicional usado para uma obra fechada. Esse recurso poderia prestar-se à criação de obras musicais de forma aberta, com aproveitamento apenas da matriz de transição criada. Contudo, as regras foram empregadas na elaboração de um sistema composicional, cujo material produzido foi aplicado ao planejamento composicional para harpa de pedais, particularizando as sonoridades desejadas.

## Referências

1. Assis, Paulo de. 2017. Gilbert Simondon's 'Transduction' as Radical Immanence in Performance. *Performance Philosophy* v. 3, n. 3, p. 695–716.
2. Bertalanffy, Ludwig von. 2008. *Teoria Geral dos Sistemas*. Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes.
3. Calvino, I. 1990. *As Cidades Invisíveis*. São Paulo: Companhia das Letras.
4. Carvalho, Hugo. 2019. *An Introduction to Markov Chains in Music Composition and Analysis*. *MusMat*, v. 3, n. 2, p. 18–43.
5. Dodge, Jerse. 1997. *Computer Music: Synthesis, Composition and Performance* (2nd ed.). New York: Schirmer.
6. Gibson, B. 2011. *The Instrumental Music of Iannis Xenakis – Theory, Practice, Self-Borrowing*. New York: Pendragon Press.
7. Klir, George. 1991. *Facets of Systems Science*. New York: Plenum.
8. Levy, B. R. 2012. Clouds and Arborescence in Mycenae Alpha and the Polytope de Mycènes. *Xenakis Matters – Contexts, Processes, Applications*. In *The Iannis Xenakis Series* n. 4, p. 173. New York: Pendragon Press.
9. Lima, Flávio F. 2011. *Desenvolvimento de sistemas composicionais a partir da intertextualidade*. João Pessoa. 239f. Dissertação (Mestrado em Música, área de concentração Composição, linha de pesquisa Processos e Teorias Composicionais). Universidade Federal da Paraíba.
10. Pressman, R. S. 1994. *Software Engineering: A Practitioner's Approach – European 3 Rev. ed., adapted by Darrel Ince*. Berkshire: McGraw-Hill Book Company Europe.
11. Pitombeira, L. 2015. Fundamentos Teóricos e Estéticos da Modelagem Sistêmica no Âmbito da Composição Musical. In *Anais do XIV Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro*, p. 103–114. Rio de Janeiro: UFRJ.
12. Pitombeira, L. 2020. Compositional Systems: Overview and Applications. *MusMAT – Brazilian Journal of Music and Mathematics*, v. 4, n. 1, p. 39–62.
13. Queneau, R. 1995. *Exercícios de Estilo*. Tradução de Luiz Resende. Rio de Janeiro: Imago Ed.
14. Rosseti, D. 2010. Elementos da Música Estocástica em Achorripsis de Iannis Xenakis. In *Anais do XX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – ANPPOM*. Florianópolis: Universidade do Estado de Santa Catarina.

15. Straus, Joseph N. 2013. *Introdução à Teoria Pós-tonal*. Tradução de Ricardo Bordini. Salvador: EDUFBA.
16. Xenakis, Iannis. 1992. *Formalized Music - Thought and Mathematics in Music*. Series: Harmologia Series, n. 6. New York: Pendragon Press.
17. Winham, Godfrey. 1970. Composition with Arrays. *Perspectives of New Music*, v. 9, n. 1, p. 43–67.