

Sonificação e textura: compondo a partir de dados de fitoplâncton

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: Composição e Sonologia

Jonas Hocherman Corrêa
UFRJ
jonashocherman@gmail.com

Resumo. O presente artigo faz parte de uma pesquisa em andamento que envolve a composição da obra *Plankton Muse* em desenvolvimento para a instrumentação de Big Band, através da *sonificação* de dados relativos à dinâmica do fitoplâncton no Mar Báltico. Essa iniciativa se insere na Década da Ciência dos Oceanos para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030) da ONU, visando contribuir para a conscientização sobre a saúde e sustentabilidade dos oceanos. Como estudo de caso, é apresentado um dos ensaios compostos, discutindo os métodos de mapeamento e transposição dos dados ecológicos do fitoplâncton em elementos musicais, com o foco na textura musical. Esse trabalho é guiado pela *Teoria Musical das Partições (Análise Particional)* e seus conceitos, com o intuito de trabalhar a sonificação no campo das texturas. O processo de composição desse ensaio constitui a primeira etapa de um processo mais amplo de pesquisa artística.

Palavras-chave. Composição, Textura, Sonificação, Análise Particional, Fitoplâncton.

Title. *Sonification and texture: composing from data of phytoplankton.*

Abstract. This article is part of an ongoing research project that aims at composing the piece *Plankton Muse* for Big Band instrumentation through the sonification of Baltic Sea phytoplankton dynamics data. This initiative is in the scope of the United Nations' Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030), contributing for the musical research and to the awareness of ocean health and sustainability. As a case study, a musical essay will be presented, providing a platform for discussing the methods of mapping and transposing ecological phytoplankton data into musical elements, with a focus on musical texture. This work is guided by the *Musical Theory of Partitions (Partitional Analysis)* and its concepts, aiming to explore sonification within the field of textures. The composition process of this essay constitutes the initial stage of a broader artistic research process.

Keywords. Composition, Texture, Sonification, Partitional Analysis, Phytoplankton.

Introdução

Este artigo é parte de uma pesquisa de mestrado na linha de Poéticas da Criação Musical, do PPGM-UFRJ, com colaboração do Instituto Finlandês de Meio Ambiente (SYKE). A dissertação propõe uma pesquisa artística autoetnográfica, envolvendo a composição da obra *Plankton Muse*, elaborada a partir da sonificação de dados de fitoplâncton.

A pesquisa está inserida na Década da Ciência dos Oceanos para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030), proclamada pela ONU, que busca promover a conscientização pública

da saúde e sustentabilidade dos mares. O reino marinho é crucial para a estabilização do clima e suporte da vida no planeta. Nas próximas décadas são esperadas mudanças climáticas, alterando as condições ambientais e impactando o fitoplâncton e sua produtividade (FINKEL *et al.*, 2010).

Abordo aqui um dos ensaios musicais utilizados como parte da preparação para a criação da peça. Os ensaios foram compostos para instrumentação de Big Band a partir da sonificação de dados sobre o fitoplâncton no Mar Báltico, cedidos pelo SYKE através da pesquisadora Lumi Haraguchi,¹ que vem contribuindo com a informação ecológica do projeto.

O objetivo deste artigo é discutir o método de mapeamento e transposição dos dados ecológicos do fitoplâncton em materiais composicionais a partir da textura musical. Utilizo a *Teoria Musical das Partições (Análise Particional)* e seus conceitos (GENTIL-NUNES e CARVALHO, 2003; GENTIL-NUNES, 2009; 2017) com o intuito de trabalhar a sonificação no campo das texturas.

1. Sonificação

A sonificação é uma subcategoria do *auditory display (dispositivo auditivo)*, que utiliza o som para representar dados (WALKER e NEES, 2011). É um campo de pesquisa relativamente recente que começou a se formar a partir dos anos 1990 em torno do ICAD (International Conference on Auditory Display) (HERMANN, HUNT e NEUHOFF, 2011).

A sonificação é um processo de transformação de relações de dados em relações perceptíveis por meio do som, com o objetivo de facilitar a comunicação ou a interpretação (KRAMER *et al.*, 1999). Que também consiste em atribuir ou representar sons a fenômenos que não são naturalmente sonoros, ou que estão além da nossa capacidade auditiva (PICCININI, 2019).

Hermann define sonificação como a produção de som com base em dados, realizada de maneira “sistemática, objetiva e reprodutível” (HERMANN, 2008). Essa definição tem o objetivo de ampliar e delimitar esse campo.

Existem diferentes técnicas de Sonificação como a Audificação, Ícones Auditivos, *Earcons*, Sonificação por Modelo e Sonificação por Mapeamento de Parâmetros. Estamos utilizando a técnica de Sonificação por Mapeamento de Parâmetros, que consiste em associar

¹ Lumi Haraguchi é Doutora pelo departamento de Biociência da *Aarhus University* (Dinamarca) e Pesquisadora Pós-Doutoranda em Ecologia do Fitoplâncton pelo SYKE.

informações a parâmetros sonoros com o intuito de representar dados. (HERMANN, HUNT e NEUHOFF, 2011).

Iazzetta e Piccinini, de forma mais abrangente, propõem que:

A sonificação é uma técnica de transdução de dados em som e que depende de três pontos: (1) dos dados que serão sonificados, (2) do algoritmo que executa um mapeamento (...) dos dados, (3) e da renderização sonora (IAZZETTA; PICCININI, 2018, pp 2-3).

Assim, no presente trabalho, (1) os dados sonificados representam a dinâmica de grupos de fitoplâncton; (2) esses dados estão sendo mapeados e traduzidos para o campo da textura, utilizando os conceitos da Análise Particional (partições, partes) e as fórmulas de proporção e mapeamento (consulte a seção 4.2 deste artigo) para criar algoritmos de conversão; (3) o resultado desse mapeamento está sendo aplicado através da leitura e interpretação do compositor, sendo notado em partituras tradicionais para serem executadas por músicos, usando instrumentos acústicos e amplificados em contextos como estúdios, salas de concertos, teatros, entre outros.

2. Análise Particional

A *Teoria Musical das Partições*, ou *Análise Particional* (doravante AP) é um campo de pesquisa sobre a textura musical que tem se expandido nos últimos 20 anos. Essa proposta se fundamenta na aproximação da *Teoria das Partições de Inteiros* (ANDREWS, 1984; ANDREWS e ERIKSSON, 2004) e da *Análise Textural* (BERRY, 1976) que busca descrever as estruturas e transformações texturais de forma quantitativa e qualitativa.

Uma de suas abordagens, o *Particionamento Rítmico*, busca formalizar a interação vertical de pontos de ataque e durações das partes instrumentais de uma trama musical. É condicionada em parte pela quantidade de sons em homorritmia ou heterorritmia (BERRY, 1976, pp. 184-300).

Para Berry, a textura é dualista, onde o aspecto quantitativo é representado pelo conceito *densidade-número*, que é o número absoluto de fontes sonoras em determinado ponto de tempo. O aspecto qualitativo se estabelece a partir das diferenciações e coincidências rítmicas entre os seus componentes (BERRY, 1976, p. 188).

De outro lado, a *Teoria das Partições de Números Inteiros* é a parte da Teoria dos Números que aborda a representação de números inteiros como somas de outros números

inteiros (ANDREWS, 1984; ANDREWS e ERIKSSON, 2004). Essa representação é denominada *partição*, e cada um dos fatores das somas, são chamados de *parte*. As configurações texturais de Berry são análogas às partições e, por essa razão, sua representação através desse conceito favorece a formalização e manipulação da textura musical.

Figura 1 – Partições do número quatro.

4
1+3
2+2
1+1+2
1+1+1+1

Fonte: Gentil-Nunes, p. 8, (2009)

Como ilustração, o número quatro possui cinco partições (Figuras 1 e 2). Por exemplo, a partição (1+1+2) ou (1²2), tem três partes: (1), (1) e (2). A partição (1+1+1+1) ou (1⁴), tem quatro partes: (1), (1), (1) e (1).

Figura 2 – Exemplo musical com as partições do número quatro.



2² 1⁴ 4 1²2 1.3

Fonte: concepção original do autor

A AP aborda as relações internas das configurações texturais, entendidas como partições, utilizando as relações binárias. Trata-se de uma avaliação exaustiva das interações par a par entre todos os seus elementos (ou partes). Esse levantamento é dividido então em dois grupos, que representam as duas qualidades que Berry aponta. Cada grupo gera um índice.

- a) *Índice de aglomeração (a)*: relacionado às partes que estão em relação de homorritmia. Quanto maior o índice, mais massivas são as partes.
- b) *Índice de Dispersão (d)*: relacionado às partes que estão em relação de heterorritmia ou contrarritmia. Quanto maior o índice, maior a polifonia entre as partes.

Para analisar as texturas dos *Ensaaios*, utilizou-se o gráfico *indexograma*, que apresenta a evolução desses dois índices plotados em relação ao eixo temporal. Os índices encontram-se espelhados verticalmente, com a aglomeração sendo plotada de forma negativa e a dispersão de forma positiva em torno de um eixo mediano (GENTIL-NUNES, 2009).

Uma das expansões da AP usada neste artigo, é a proposta de Moreira (2018, pp. 84-90), que propõe uma descrição da textura em camadas, a partir de uma avaliação qualitativa das partes. Essa generalização é denominada *Classe Textural*.² As possibilidades de descrição das texturas são 8:

- a) [L] - linha única;
- b) [B] - bloco único;
- c) [LB] - uma linha e um bloco;
- d) [L^x] - múltiplas linhas;
- e) [B^y] - múltiplos Blocos;
- f) [L^xB] - múltiplas linhas e bloco único;
- g) [LB^y] - linha única e blocos múltiplos;
- h) [L^xB^y] - linhas e blocos múltiplos.

Aqui, o Particionamento Rítmico é utilizado tanto na composição para Big Band quanto para analisar a dinâmica dos grupos de fitoplâncton, o que constitui uma das primeiras aplicações da teoria a um contexto não-musical.

3. Fitoplâncton e os dados

Ao longo de um ano, a biomassa e o número de células de diferentes grupos de fitoplâncton oscilam de forma independente e em diversas escalas de tempo. O ciclo de vida desses organismos varia na ordem de dias (HARRIS, 1980). Em um ciclo anual, o fitoplâncton também segue as mudanças na disponibilidade de luz, nutrientes, temperatura, salinidade e

² O conjunto global de *classes texturais* forma o *tc-space*, que é um dos três espaços texturais que descrevem a organização da textura, e que “diferem entre si em seu nível de detalhes expresso por diferentes códigos texturais” (MOREIRA, 2019).

predação (HARRIS, 1980). A estrutura hierárquica natural dos dados apresentados pelo SYKE, mostra essa dinâmica e a interação entre grupos de fitoplâncton.

3.1. Fitoplâncton

Plâncton é usado para designar um grupo diverso de organismos que vivem em ambientes aquáticos e não têm capacidade de vencer as correntes, por sua limitada locomoção. Os plânctons podem ser divididos entre *fitoplâncton* (organismos fotossintetizantes) e *zooplâncton* (organismos não fotossintetizantes heterotróficos) (PEREIRA, 2013).

O fitoplâncton é constituído por algas unicelulares e cianobactérias, encontrados tanto em ambientes marinhos como em água doce. O fitoplâncton tem um papel crucial para o planeta, são responsáveis pela produção de 50% do oxigênio e são a base da cadeia alimentar marinha, fornecendo alimento para uma variedade de organismos, desde pequenos animais marinhos (como zooplâncton) até grandes baleias. (TUNDISI; TUNDISI, 2008; FINKEL *et al.*, 2010).

3.2. Os dados

Os dados relativos à dinâmica do fitoplâncton foram coletados na Estação de Pesquisa Atmosférica e Marinha de Utö (coordenadas: 59°46'50N, 21°22'23E), no Mar Báltico. A coleta se deu em um ponto fixo a 5 metros de profundidade, localizado a 200 metros da costa e analisados em alta frequência temporal (resolução horária), utilizando o citômetro de fluxo CytoSense.³ A estação é parte do consórcio finlandês para infraestrutura de pesquisa marinha (FINMARI) e mantida pelo instituto meteorológico finlandês (FMI) e pelo instituto finlandês de meio ambiente (SYKE), que é responsável pela coleta e análise dos dados de fitoplâncton utilizados nesse trabalho.

Os dados foram organizados no formato de planilha e fornecem informações quantitativas relacionadas à diversidade dos grupos de fitoplâncton. Ao todo, 5504 amostras foram coletadas entre 28/01 e 11/10 de 2021. Nessas amostras, os dados de células de 8 grupos distintos de fitoplâncton foram registrados em frequência horária, permitindo a avaliação de sua dinâmica em diferentes escalas temporais.

³ O CytoSense registra as características ópticas de partículas individuais que refletem na morfologia celular e na composição do pigmento, que podem ser utilizadas para identificar diferentes populações de fitoplânctons (DUBELAAR *et al.* 2004; HARAGUCHI *et al.*, 2017).

Na planilha são listados nove grupos: *Pico_euk*, *Pico_pro*, *Crypto*, *NF<5*, *NF5-10*, *NF>10*, *Micro*, *Cyano* e *unassig*.⁴ Esses grupos derivam de uma classificação funcional com base no tamanho das células de fitoplâncton, não representando os nomes das espécies, embora *Crypto* e *Cyano* indiquem classes taxonômicas.

Classes de tamanho são comumente utilizadas para descrever estruturas de comunidades fitoplanctônicas. A terminologia de John M. Sieburth é frequentemente utilizada na literatura onde células de 0,2-2 µm (micrômetros) são denominadas *picoplânctons*, 2-20 µm são *nanoplânctons*, 20-200 µm são *microplânctons* e aqueles que excedem 200 µm são *mesoplânctons* (FENCHEL,1988; FINKEL et al., 2010). O grupo de *mesoplâncton* não foi considerado nesta pesquisa uma vez que não estão representados nos dados. Abreviamos a classe *picoplâncton* como PICO, *nanoplâncton* como NANO e a *microplâncton* como MICRO (Quadro 1).

4. Mapeamento, Instrumentação e os Ensaios

A composição dos *Ensaio*s constitui a primeira etapa do processo de pesquisa artística. Funciona como um laboratório para entender como fazer o mapeamento dos dados, traduzindo os números da dinâmica original de uma forma artisticamente satisfatória para o compositor, considerando o universo de possibilidades sonoras da Big Band.

Quadro 1 – Quadro de classes, grupos, registros e comportamentos musicais

CLASSE	GRUPOS	REGISTROS	COMPORTAMENTOS
PICO	<i>Pico_euk</i>	Agudo	Texturas mais delicadas, com espessuras mais finas
	<i>Pico_pro</i>		
NANO	<i>Cryptos</i>	Médio	Eixo principal da peça com texturas mais variadas
	<i>NF<5</i>		
	<i>NF5-10</i>		
	<i>NF>10</i>		
MICRO	<i>Cyanos</i>	Grave	Estruturas maiores e blocadas
	<i>Micros</i>		

Fonte: concepção original do autor

⁴ O grupo *unassig* são células não identificadas e não foi utilizado por enquanto.

Aqui, a densidade-número da formação escolhida para a Big Band pode emitir até 46 sons simultâneos. Há também uma série de recursos sonoros elencados para compor a peça, como as escolhas dos registros e dos comportamentos de cada classe de fitoplâncton (Quadro 1). Os ensaios foram compostos com o intuito de explorar a instrumentação e manusear os dados a partir do ato de criação.

Por conta do alto número de amostras (5504) contendo grupos de fitoplâncton, cobrindo o período das quatro estações do ano, foram escolhidos intervalos temporais menores para compor cada um dos *Ensaio*s. Os trechos foram selecionados após uma análise dos gráficos, os quais foram renderizados separadamente para cada uma das classes por meio de um *script* em Matlab. Foi dada a preferência para os trechos onde havia mais interação entre os grupos de fitoplâncton.

Na sonificação, “mapear dados a sons quase sempre significa abrir mão, ao menos parcialmente, do controle da estrutura e do discurso musical da obra” (PICCININI, 2019). Nestes ensaios, a textura é preestabelecida, seguindo a ordem da apresentação das partições originais do fitoplâncton. Porém, a altura, o ritmo e a orquestração foram determinados a partir da relação das tramas texturais, ou seja, foram escolhas feitas com liberdade condicionada.

4.1. Paleta de Cores e Instrumentação

O presente trabalho é dirigido para a formação de Big Band (Quadro 2). Essa instrumentação foi escolhida levando em conta a história deste autor como instrumentista, compositor e arranjador, bem como as possibilidades orquestrais, timbrísticas e texturais, parâmetros musicais explorados na tradução destes dados para a Big Band.

A paleta de cores orquestrais segue a classificação por tamanho de Sieburth, estabelecendo correspondências entre classes de fitoplâncton, registros instrumentais e comportamentos texturais (Quadro 1; ver 2.2).

O Quadro 2 mostra as possibilidades sonoras mínima e máxima de cada instrumento na Big Band e também a instrumentação específica de cada classe de fitoplâncton. Essa escolha se deu pela necessidade de exprimir a qualidade e a quantidade de cada classe, considerando registro e comportamento textural. Os registros foram definidos de forma simplificada como agudo, médio e grave. Por exemplo, instrumentos que tocam tanto a região grave quanto a média fizeram parte da instrumentação das classes MICRO e NANO. A soma das densidades parciais de cada classe totaliza um número máximo de sons para cada caso (Quadro 2, em negrito). No piano, foi considerada a densidade-número máxima de 10 sons, excluindo-se assim *clusters* de

punho ou braço. A partir desse quadro foram compostos alguns ensaios para cada uma dessas classes, com a finalidade de entender e refletir sobre o processo.

Quadro 2 – Instrumentos e Paleta de cores: a) 2 saxofones tenores, 1 barítono; b) 2 tenores, 2 altos; c) surdo, bumbos, zabumba, conga grave; d) caxixi, triangulo, cabaça, guiro, pratos, bongo; e) surdo, bumbo, tons; f) grave; g) médio; h) agudo; i) caixa, conga, timbales, bongô; j) caixa, tons, aros; k) Hi-hat, pratos.

Instrumentação	Min.	Máx.	MICRO	NANO	PICO
5 saxofones	1	5	3 (a)	5	4 (b)
5 trompetes	1	5	-	2	5
4 trombones	1	4	4	4	-
percussão 1	1	2	2 (c)	2 (d)	2 (e)
percussão 2	1	2	2 (c)	2 (d)	2 (e)
1 guitarra	1	6	-	4	3
1 vibrafone	1	4	-	-	4
1 piano	1	10	10 (f)	10 (g)	10 (h)
1 baixo	1	4	4	-	-
1 bateria	1	4	3 (i)	2 (j)	3 (k)
Total	1	46	28	31	33

Fonte: concepção original do autor

4.2. Formulas de Proporção e Mapeamento

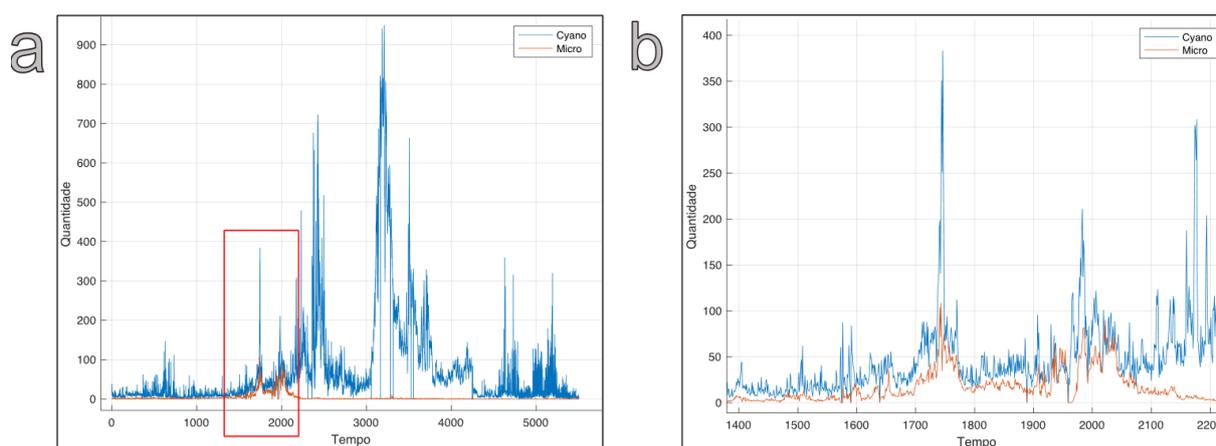
O mapeamento se deu a partir da anotação dos valores totais e de cada grupo em cada ponto de tempo do gráfico (ver Figura 3b). Após esse processo, foi feita uma regra de três para verter esses valores para os instrumentos da Big Band. Para agilizar esse processo, foi feita uma função de Matlab.

Para a regra de três, a espessura de cada bloco instrumental em cada ponto de tempo, ou seja, das partes – $i_n(1), i_n(2), \dots, i_n(t)$ – foi estimada de forma proporcional aos grupos de fitoplâncton nos pontos de tempo correspondentes – $g_n(1), g_n(2), \dots, g_n(t)$ – através da fórmula $i_n = (dnmax_i * g_n) / dnmax_f$, onde $dnmax_i$ é a densidade-número máxima da Big Band e $dnmax_f$ é o valor máximo das somas verticais das amostras escolhidas de fitoplâncton. Os blocos instrumentais resultantes vão se superpor, de forma similar aos grupos, para formar partições, compostas de uma ou várias partes, que então são vertidas em partitura. Por conta de a AP trabalhar com números inteiros positivos, todos os números foram arredondados.

4.4. Ensaio da classe MICRO ⁵

O objetivo dos ensaios foi explicitar a interação entre os grupos de fitoplâncton. Não houve distinção qualitativa dos grupos em si, diferenciação por timbre, comportamento melódico, tessitura, orquestração e outras possibilidades de organização musical, temas de uma etapa posterior da pesquisa.

Figura 3 – Gráfico das amostras da classe MICRO: a) todas as amostras (0 a 5504 pontos); b) amostras aproveitadas no ensaio (1390 a 2230 pontos).



Fonte: concepção original do autor

Acerca da relação entre os dados e a textura, cada grupo de fitoplâncton representa uma *parte*, podendo ser, depois da conversão para partes instrumentais uma linha [L] ou um bloco [B]. No caso do ensaio da classe MICRO, que contém apenas dois grupos (*Micro* e *Cyano*), a relação entre essas partes em cada ponto de tempo representa uma *partição* com uma parte ou duas, o que corresponde às classes texturais [L], [L²], [B], [B²] e [LB] (MOREIRA, 2018). ⁶ Os uníssonos neste trabalho foram tratados como estruturas unificadas [L], e os intervalos de oitava como blocos [B]. Situações em que a densidade-número é elevada foram abordadas de maneira específica, devido a necessidade de reproduzir um grande número de sons com alturas distintas simultaneamente.

Foi selecionado o trecho entre os pontos do eixo temporal $x = 1390$ (01/02/2021) e $x = 2230$ (12/04/2021), considerando amostras de 10 em 10 pontos, com o intuito de acelerar o processo e aumentar a cobertura temporal dos dados (Figura 3). Esse trecho mostra parte do Inverno e da Primavera no Hemisfério Norte. O critério para a escolha dessa amostragem foi a

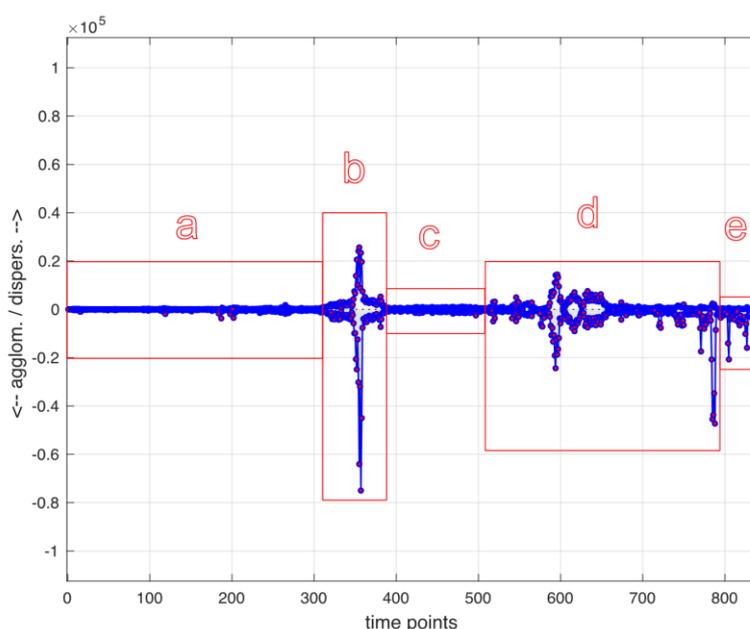
⁵ Link da [Partitura](#) e [Áudio](#) da peça.

⁶ Como o ensaio abordado nesse artigo foi composto a partir de partições com uma ou duas partes, as classes texturais [L^xB], [LB^y], [L^xB^y] não aparecem nessas peças.

maior interação entre os grupos *Micro* e *Cyano*, onde há uma floração de primavera do *Micro*.⁷ Ao analisar os dados desta classe como um todo, percebe-se que há uma predominância maior do *Cyano* ao *Micro* em relação ao número de células.

Foram selecionados alguns pontos fora da amostragem de 10 em 10 para ressaltar alguns picos importantes. Por outro lado, pontos com índices muito altos, discrepantes de seu contexto mais imediato, foram descartados para evitar impacto indesejado nos trechos onde dominam índices menores. Foi o caso dos picos nos pontos de tempo 1744 e 1746. A proporção temporal dos dados não foi aproveitada de forma estrita, sendo considerada principalmente a sequência ordenada de partições para a composição do ensaio.

Figura 4 – Indexograma dos dados da classe MICRO⁸



Fonte: concepção original do autor

O Indexograma da Figura 4 apresenta a dinâmica dos grupos de fitoplâncton e foi gerado a partir dos dados dos dois grupos (*Micro* e *Cyano*), o que constitui a primeira aplicação dessa ferramenta para um contexto ecológico. Esse gráfico nos permite entender a dinâmica entre os grupos em relação aos índices de dispersão e aglomeração, onde a dispersão aumenta quando

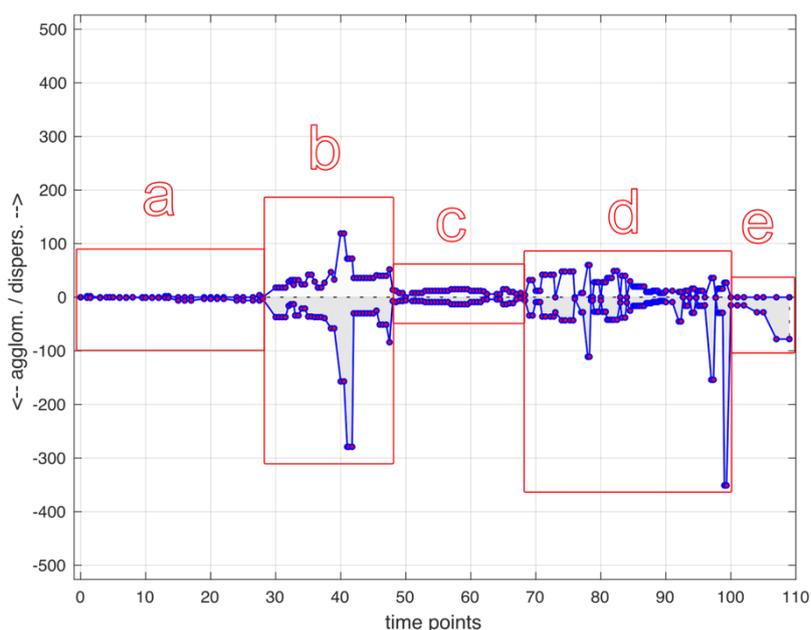
⁷ Os *Micros* em geral são associados com a floração de primavera e as *Cyanos* com a floração de verão no hemisfério norte (FENCHEL, 1988; KAHRU; ELMGREN, 2014; KRAFT, 2021).

⁸ O indexograma da classe MICRO foi gerado a partir dos dados de fitoplâncton. É a primeira vez que esse gráfico foi utilizado para um contexto biológico.

há um número maior de ambos os grupos e o número de aglomeração, que mostra a densidade-número, há a predominância de um grupo.

Ao analisar os comportamentos texturais do *Ensaio*, evidenciados no indexograma (Figura 5), e considerar os grupos de fitoplâncton, representados nos gráficos (Figuras 3b; 4), observa-se que a peça é composta por cinco seções, cada uma com características texturais específicas (Quadro 3). Musicalmente isso nos diz que em (a), há um período longo com poucas vozes instrumentais sendo tocadas em blocos com pouca espessura. Em (b) há um aumento significativo na densidade-número no total e nas duas partes da partição, o que vai se refletir numa maior complexidade, com maior heterorritmia. Em (c) há uma diminuição na densidade-número de ambas as partes, apresentando partes mais finas em heterorritmia. O trecho (d), não só apresenta uma densidade-número alta, mas também em heterorritmia, com mudanças constantes no material textural, musical e orquestral da peça. E no trecho final (e) apresenta em sua totalidade uma textura homoritmica, blocada.

Figura 5 – Indexograma do Ensaio da classe MICRO ⁹



Fonte: concepção original do autor

⁹ O indexograma do *Ensaio* da classe MICRO foi gerado a partir do arquivo midi da peça composta.

As progressões das classes texturais mostram que as partes (a) e (c) apresentam as partições de menor espessura, apresentando um menor número de sons instrumentais sendo tocados.

Quadro 3 – Classes texturais e partições do ensaio

Seção (ponto, compasso)	Classe Textural	Partição ¹⁰
a (1390-1640 / c. 1-8)	[L], [B], [LB]	(1), (2), (1.2), (3), (1.3), (4)
b (1650-1770 / c. 9-13.3)	[LB], [B ²]	(1.2), (1.3), (1.4), (2.3), (2.5), (3.5), (3.8), (6.5), ¹¹ (4.8), (6.6), (7.17), (3.24)
c (1780-1920 / c. 13.4-18)	[LB], [B ²]	(1.2), (1.3), (1.4), (2.2), (2.3), (3.2), (2.4)
d (1930-2175 / c. 19-26.3)	[B], [LB], [B ²]	(3), (1.2), (2.2), (4), (3.2), (1.4), (1.5), (1.6), (3.4), (2.5), (1.8), (6.3), (5.4), (2.8), (1.10), (4.7), (5.6), (4.9), (5.8), (7.7), (1.17), (4.15), (1.27)
e (2180-2230 / c. 26.4-28)	[B]	(6), (7), (8)

Fonte: concepção original do autor

A seção (a) mostra a interação desses grupos no Inverno, quando há menos organismos, em que o grupo *Cyano* é predominante, com pouca interação entre os grupos. As partições nesse trecho apresentam uma parte em sua maioria, com as partições (1) e (2) tendo mais ocorrências,

¹⁰ As partições estão ordenadas de acordo com a densidade-número.

¹¹ Embora a AP trabalhe com as partes em ordem crescente, nesse artigo a ordem das partes será feita com o intuito de mostrar os grupos de fitoplâncton e sua dinâmica. Nesse ensaio a primeira parte é do grupo *Micro* e a segunda do *Cyano*.

o que representa maior homorritmia e na orquestração é representada pelos sopros em alternância entre os naipes de saxofones e trombones.

Em (c) há a presença um pouco mais equilibrada entre os grupos. Nota-se uma retração nos blocos em comparação a seção anterior (b), que apesar disso, apresenta as mesmas classes texturais (Quadro 3). As partições em (c) têm menor densidade por conta da diminuição do número de células dos dois grupos. Isso pode ter sido causado devido a fatores como a predação ou falta de nutrientes. Na peça, isso é refletido com poucas vozes instrumentais sendo usadas em heterorritmia. As partições com maior incidência nesse trecho são binárias, com uma das partes tendo no máximo bloco com dois sons ou linha. As partições com mais ocorrências são a (2.3) ou (3.2)¹² e a (2.4).

Figura 6 - Ensaio Micro e Cyano: excerto (c. 23-25).



Musical score for 'Ensaio Micro e Cyano' (c. 23-25). The score is for a chamber ensemble and includes the following parts: T. Sax. 1, T. Sax. 2, B. Sax., Tbn. 1, Tbn. 2, Tbn. 3, E.B., Pno., Perc. 1, Perc. 2, and D. S. The score shows musical notation with dynamics such as *p*, *mf*, and *ff*. The title 'Micro e Cyano' is centered above the staves.

Fonte: concepção original do autor

Os trechos (b) e (d) exibem maior interação entre os grupos de fitoplâncton, com um crescimento acentuado. Isso coincide com o início da Primavera no Hemisfério Norte,

¹² A partição (3.2) mostra que há mais organismos do grupo *Micro* que do *Cyano*, nessa partição. Essa predominância do grupo *Micro* ocorre apenas em alguns pontos nos trechos (b), (c) e (d). Por conta disso, não ser explicitado no ensaio, foi contado como a mesma partição na soma, apesar de mostrar nessa ordem para mostrar esses detalhes.

explicitando a floração do grupo *Micro*. As partições nesses trechos são mais espessas, apresentando em ambos trechos grandes picos, onde a orquestra foi explorada quase em sua totalidade.

Na parte (b) há um aumento acentuado no índice de dispersão e na densidade-número, com as partições apresentando as partes com blocos mais espessos, apresentando uma maior complexidade e um número alto de instrumentos sendo tocados em heterorritmia. Isso ocorre por ter havido um grande aumento do número de células do grupo *Micro*, apesar de inicialmente apresentar espessuras mais fina com as partições (1.2), (1.3), (1.4) e (2.3).

Em (d) encontra-se a maior variedade de partições da peça (Quadro 3; Figura 6), com 23 partições distintas, apresentando mudanças constantes nas progressões texturais e no material musical e orquestral do *Ensaio*. Os organismos do grupo *Micro* apresentam maior instabilidade, com suas partes, variando de 0 a 7 em número de sons entre os pontos (1930-2070), com uma diminuição acentuada a partir de 2080, com as partes com um som ou zero. O grupo *Cyano* preserva suas partes sempre em blocos, com variações de 2 a 27 sons.

Na última seção da peça (e), são observadas apenas partições com uma única parte em bloco com os sopros, baixo e piano, com presença exclusiva do grupo *Cyano*. Isso demonstra que nesse trecho o grupo *Micro* desaparece, sendo o seu número de células proporcional a zero.

Considerações finais

Até o presente momento foram compostos 8 ensaios para interpretar os dados, mapeando a sua dinâmica original, levando em conta as possibilidades sonoras da Big Band e os interesses artísticos do autor. Foram compostos ensaios a partir do grupo *Micro* (com partições unárias), das classes MICRO, PICO (ambos com dois grupos), NANO (com quatro grupos) e a partir dos oito grupos, que serão discutidos em etapas futuras da pesquisa.

Nesses *Ensaio*s foram utilizados dados relativos ao número de células. Atualmente estão sendo utilizados dados sobre quantidade de luz espalhada pela célula, o FWS (*Forward Scatter*). Isso nos trás uma proporcionalidade relativa ao volume da célula em relação à quantidade, correspondendo a *biomassa*, que representa melhor a dinâmica do fitoplâncton.

Percebeu-se também a necessidade de comprimir os dados para que a variação entre os grupos em períodos como o Inverno e o Verão não fossem tão discrepantes. Do ponto de vista musical, isso resultou em trechos muito longos (no caso do Inverno) com um único instrumento ou até mesmo nenhum, o que não representa adequadamente o que ocorre ao trabalhar com os

oitos grupos. Nesse sentido, estão sendo exploradas outras maneiras de processar os dados, entre eles o *z-score*, que é um número de *desvio padrão* em relação à média de um ponto de observação.

Os principais desafios da pesquisa até o presente momento incluem identificar os grupos de fitoplâncton na versão final por grupos instrumentais reconhecíveis e ligados timbricamente à natureza dos organismos envolvidos. Além disso, a composição da peça para os 8 grupos, com partições de 8 partes quase em sua totalidade, tornará a obra bastante complexa.

No âmbito desse trabalho, há uma série de recursos sonoros que podem ser elencados para compor a partir da consecução da tarefa. Por exemplo, a própria densidade-número da Big Band, pode emitir até 46 sons simultâneos e as possíveis linhas derivadas de uma Análise Particional Linear de cada parte instrumental. Para isso, serão usados trabalhos que tratam dos Particionamentos de Unidades Sistêmicas (FORTES, 2016), Instrumentais (GUIGUE, 2018; MONTEIRO, 2014).

Referências

- ANDREWS, George. *The theory of partitions*. Cambridge: Cambridge University, 1984.
- ANDREWS, George; ERIKSSON, Kimmo. *Integer partitions*. Cambridge: Cambridge University, 2004.
- BERRY, Wallace. *Structural functions in music*. New York: Dover, 1976.
- DUBELAAR, George BJ. et al. High frequency monitoring reveals phytoplankton dynamics. *Journal of environmental monitoring*, v. 6, n. 12, pp. 946-952, 2004.
- FENCHEL, Tom. Marine plankton food chains. *Annual Review Of Ecology And Systematics*, Helsingør, v. 19, n. 1, pp. 19-38, nov. 1988.
- FINKEL, Zoe; BEARDALL, John; FLYNN, Kevin; QUIGG, Antonietta; REES, Alwyn; RAVEN, John. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. *Journal of Plankton Research*, v. 32, n. 1, pp. 119-137, 2010.
- FORTES, Rafael. *Modelagem e particionamento de Unidades Musicais Sistêmicas*. Dissertação (Mestrado em Música). Programa de Pós-Graduação em Música, Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- GENTIL-NUNES, Pauxy. *Análise particional: uma mediação entre composição musical e a teoria das partições*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UNIRIO, 2009.

GENTIL-NUNES, Pauxy. Nestings and Intersections between Partitional Complexes. *Musmat: Brazilian Journal of Music and Mathematics*, Rio de Janeiro, UFRJ, v. 1, n. 2, pp. 93-108, 2017.

GENTIL-NUNES, Pauxy. Teorias analíticas sobre a textura no Brasil. *TeMA: Teoria e análise musical em perspectiva didática*, Salvador, UFBA, v. 2, n.3, pp. 139-151, 2017.

GUIGUE, Didier. The Function of Orchestration in Serial Music: The Case of Webern's Variations Op. 30 and a Proposal of Theoretical Analysis. *MusMat: Brazilian Journal of Music and Mathematics*, v. 2, n. 1, pp. 114-138, 2018.

HARAGUCHI, L. et al. *Monitoring natural phytoplankton communities: a comparison between traditional methods and pulse-shape recording flow cytometry*. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 80, n. 1, pp. 77-92, 2017.

HARRIS, Graham P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models, and management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 37, n. 5, pp. 877-900, 1980.

HERMANN, Thomas. Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. *Proceedings of the International Conference on Auditory Display*, ICAD, 2008.

HERMANN, Thomas; HUNT, Andy; NEUHOFF, John G. (Eds.). *The Sonification Handbook*. Logos Verlag, Berlin, Germany, 2011.

IAZZETTA, Fernando; PICCININI, Augusto. Sonificação como art-science: três lógicas de interdisciplinaridade, três lógicas de sonificação. *Anais do XXVIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*. Manaus: 2018.

KAHRU, M.; ELMGREN, R.: Multidecadal time series of satellite-detected accumulations of cyanobacteria in the Baltic Sea, *Biogeosciences*, v.11, pp. 3619–3633, 2014.

KRAFT, Kaisa et al. First application of IFCB high-frequency imaging-in-flow cytometry to investigate bloom-forming filamentous cyanobacteria in the Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, 2021.

KRAMER, G.; WALKER, B.N.; BONEBRIGHT, T.; COOK, P.; FLOWERS, J.; MINER, N.; et al. *The Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*. Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display. Santa Fe, NM: International Community for Auditory Display (ICAD), 1999.

MONTEIRO, Fábio. *A imagem, a textura e o timbre no Prélude à L'après-midi d'un Faune, sob a ótica do poema homônimo de Stéphane Mallarmé*. Dissertação (Mestrado em Música). Programa de Pós-Graduação em Música, Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 221 f. 2014.

MOREIRA, Daniel. *Textural Design: A compositional theory for the organization of musical texture* – Tese (Doutorado em Música), Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 246 f. 2019.

PEREIRA, Larissa Duarte Araújo. *Estratégias para educação ambiental: oficinas e materiais paradidáticos para o ensino/ aprendizagem de fitoplâncton*. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais, 80 f. 2013.

PICCININI, Augusto. A sonificação e suas práticas artísticas: incursões na art-science, na música, na arte sonora e na data art. *DEBATES-Cadernos do Programa de Pós- Graduação em Música*, n. 23, pp. 77-117, 2019.

SAMPAIO, Marcos da Silva; GENTIL-NUNES, Pauxy. Python Scripts for Rhythmic Partitioning Analysis. *Musmat: Brazilian Journal of Music and Mathematics*, v. 6, n. 2, pp. 17- 55, 2022.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. *Limnologia*. 1 Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 632 f. 2008.

WALKER, Bruce N.; NEES, Michael A., Theory of sonification. In: HERMANN, Thomas; HUNT, Andy; NEUHOFF, John G. (Eds.). *The sonification handbook*. Berlin, Germany: Logos Verlag, 2011. Capítulo 1, pp. 9-39.