

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA**

**RODRIGO MANOEL FRADE**

**O VIBRATO NA FLAUTA TRANSVERSAL: ANÁLISE DA FORMA DA ONDA**

**BELO HORIZONTE**

**2018**

**RODRIGO MANOEL FRADE**

**O VIBRATO NA FLAUTA TRANSVERSAL: ANÁLISE DA FORMA DA ONDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Música.

Linha de Pesquisa: Performance Musical  
Orientador: Prof. Dr. Maurício Freire Garcia

**BELO HORIZONTE**

**2018**

F799v

Frade, Rodrigo Manoel.

O vibrato na flauta transversal [manuscrito]: análise da forma da onda. / Rodrigo Manoel Frade. - 2018. 107 f., enc.; il. + 1 CD.

Orientador: Maurício Freire Garcia.

Área de concentração: Performance musical.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

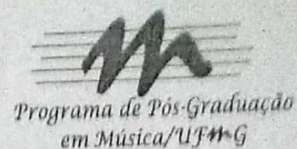
Inclui bibliografia.

1. Música - Teses. 2. Flauta. 3. Vibrato. 4. Música – Acústica e física. I. Garcia, Maurício Freire. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Música. III. Título.

CDD: 788.5



Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Música  
Programa de Pós-Graduação em Música



Dissertação defendida pelo aluno RODRIGO MANOEL FRADE, em 17 de julho de 2018, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

---

Prof. Dr. Maurício Freire Garcia  
Universidade Federal de Minas Gerais  
(orientador)

---

Prof. Dr. Fernando Pacífico Homem  
Universidade do Estado de Minas Gerais

---

Prof. Dr. Davi Alves Mota  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/  
Pós-Doutorado Júnior

Aos meus pais, Devanir e Sônia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, familiares e amigos pelo amor e incentivo desde sempre.

A minha querida irmã Josiane, pela amizade, pelo carinho e por ser a pessoa que possibilitou a continuidade de meus estudos.

Ao professor Maurício Freire Garcia, pela sua competente orientação, por acreditar no meu trabalho e por ser um professor que inspira a classe com seu amor pela música, seu conhecimento e seu lindo som.

A todos os professores colaboradores que ajudaram com a análise dos dados da pesquisa.

Aos membros da banca examinadora.

Aos queridos flautistas que se disponibilizaram a gravar as amostras do presente trabalho.

Aos meus queridos amigos Henrique Resende Rodrigues e Davidson Renato Frade, pela presença e parceria.

Aos meus colegas de classe Ramon, Felipe, Aline, André, Ariadne e Alexandre, que tornaram um período de longa dedicação em algo divertido.

“Trabalhamos no escuro - nós fazemos o que podemos - nós damos o que temos. Nossa dúvida é a nossa paixão e nossa paixão é a nossa tarefa. O resto é a loucura da arte.”

Henry James.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1 Práticas pedagógicas e aspectos fisiológicos do vibrato.....	20
2.2 O vibrato na flauta sob a perspectiva da física.....	23
2.2.1 Vibrato: taxa, profundidade e desvio da frequência fundamental .....	23
2.2.2 Modulação do envelope espectral e ruídos "fantasmas".....	26
2.2.3 Regularidade e contorno da flutuação de frequência.....	29
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 1 - SCRIPT DO PRAAT .....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Representação gráfica de período, taxa e extensão do vibrato. ....	24
<b>Figura 2:</b> Representação tridimensional de um som. ....	27
<b>Figura 3:</b> Estrutura harmônica da nota dó 2. ....	27
<b>Figura 4:</b> Representação do envelope espectral de um som. ....	27
<b>Figura 5:</b> Espectrograma da nota dó 5 sem e com vibrato, respectivamente. ....	28
<b>Figura 6:</b> <i>Waveform</i> da nota si bemol tocada por um flautista. ....	29
<b>Figura 7:</b> Exemplos de padrões de modulação de frequência sinusoidal (a), triangular (b) e trapezoidal (c). ....	30
<b>Figura 8:</b> Gráfico de flutuação da frequência da nota si bemol. ....	32
<b>Figura 9:</b> Forma da onda, flautista 13, nota fá3, gráfico de frequência x tempo. ....	35
<b>Figura 10:</b> Forma da onda, flautista 13, nota fá5, gráfico de frequência x tempo. ....	35
<b>Figura 11:</b> Falhas do programa overtoneanalyser, gráfico de frequência x tempo. ....	36
<b>Figura 12:</b> Falhas do programa overtoneanalyser, gráfico de frequência x tempo. ....	36
<b>Figura 13:</b> Círculos indicando as partes eliminadas das amostras, gráfico de frequência x tempo. ....	38
<b>Figura 14:</b> Retângulo indicando os dois segundos selecionados da amostra, gráfico de frequência x tempo. ....	38
<b>Figura 15:</b> Modelo definitivo de representação das amostras, gráfico de frequência x tempo. ....	39
<b>Figura 16:</b> Termos descritivos para a contorno da flutuação de frequência do vibrato. ....	41
<b>Figura 17:</b> Flautista 1 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo. ....	42
<b>Figura 18:</b> Flautista 1 - nota dó 3, gráfico de frequência x tempo. ....	42
<b>Figura 19:</b> Flautista 1 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo. ....	43
<b>Figura 20:</b> Flautista 1 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	43
<b>Figura 21:</b> Flautista 1 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo. ....	44
<b>Figura 22:</b> Flautista 1 - nota mi 5, gráfico de frequência x tempo. ....	44

<b>Figura 23:</b> Flautista 2 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	45
<b>Figura 24:</b> Flautista 2 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	45
<b>Figura 25:</b> Flautista 2 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	46
<b>Figura 26:</b> Flautista 2 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	46
<b>Figura 27:</b> Flautista 2 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	47
<b>Figura 28:</b> Flautista 2 - nota mi 5, gráfico de frequência x tempo.....	47
<b>Figura 29:</b> Flautista 3 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	48
<b>Figura 30:</b> Flautista 3 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	48
<b>Figura 31:</b> Flautista 3 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	49
<b>Figura 32:</b> Flautista 3 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	49
<b>Figura 33:</b> Flautista 3 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	50
<b>Figura 34:</b> Flautista 3 - nota ré 5, gráfico de frequência x tempo. ....	50
<b>Figura 35:</b> Flautista 4 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	51
<b>Figura 36:</b> Flautista 4 - nota sol 3, gráfico de frequência x tempo. ....	51
<b>Figura 37:</b> Flautista 4 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	52
<b>Figura 38:</b> Flautista 4 - nota dó 4, gráfico de frequência x tempo.....	52
<b>Figura 39:</b> Flautista 4 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	53
<b>Figura 40:</b> Flautista 4 - nota ré 5, gráfico de frequência x tempo. ....	53
<b>Figura 41:</b> Flautista 5 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	54
<b>Figura 42:</b> Flautista 5 - nota mi 3, gráfico de frequência x tempo.....	54
<b>Figura 43:</b> Flautista 5 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	55
<b>Figura 44:</b> Flautista 5 - nota mi 4, gráfico de frequência x tempo.....	55
<b>Figura 45:</b> Flautista 5 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	56
<b>Figura 46:</b> Flautista 5 - nota mi 5, gráfico de frequência x tempo.....	56
<b>Figura 47:</b> Flautista 6 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	57
<b>Figura 48:</b> Flautista 6 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	57
<b>Figura 49:</b> Flautista 6 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	58
<b>Figura 50:</b> Flautista 6 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	58
<b>Figura 51:</b> Flautista 6 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	59

<b>Figura 52:</b> Flautista 6 - nota ré 5, gráfico de frequência x tempo. ....	59
<b>Figura 53:</b> Flautista 7 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	60
<b>Figura 54:</b> Flautista 7 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	60
<b>Figura 55:</b> Flautista 7 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	61
<b>Figura 56:</b> Flautista 7 - nota mi 4, gráfico de frequência x tempo.....	61
<b>Figura 57:</b> Flautista 7 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	62
<b>Figura 58:</b> Flautista 7 - nota sol 5, gráfico de frequência x tempo. ....	62
<b>Figura 59:</b> Flautista 8 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	63
<b>Figura 60:</b> Flautista 8 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	63
<b>Figura 61:</b> Flautista 8 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	64
<b>Figura 62:</b> Flautista 8 - nota lá 4, gráfico de frequência x tempo.....	64
<b>Figura 63:</b> Flautista 8 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	65
<b>Figura 64:</b> Flautista 8 - nota sol 5, gráfico de frequência x tempo. ....	65
<b>Figura 65:</b> Flautista 9 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	66
<b>Figura 66:</b> Flautista 9 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	66
<b>Figura 67:</b> Flautista 9 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	67
<b>Figura 68:</b> Flautista 9 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	67
<b>Figura 69:</b> Flautista 9 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	68
<b>Figura 70:</b> Flautista 9 - nota sol 5, gráfico de frequência x tempo. ....	68
<b>Figura 71:</b> Flautista 10 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	69
<b>Figura 72:</b> Flautista 10 - nota dó 3, gráfico de frequência x tempo.....	69
<b>Figura 73:</b> Flautista 10 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	70
<b>Figura 74:</b> Flautista 10 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	70
<b>Figura 75:</b> Flautista 10 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	71
<b>Figura 76:</b> Flautista 10 - nota mi 5, gráfico de frequência x tempo.....	71
<b>Figura 77:</b> Flautista 11 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	72
<b>Figura 78:</b> Flautista 11 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	72
<b>Figura 79:</b> Flautista 11 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	73
<b>Figura 80:</b> Flautista 11 - nota dó 4, gráfico de frequência x tempo.....	73

<b>Figura 81:</b> Flautista 11 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	74
<b>Figura 82:</b> Flautista 11 - nota ré 5, gráfico de frequência x tempo. ....	74
<b>Figura 83:</b> Flautista 12 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	75
<b>Figura 84:</b> Flautista 12 - nota sol susenido 3, gráfico de frequência x tempo.....	75
<b>Figura 85:</b> Flautista 12 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	76
<b>Figura 86:</b> Flautista 12 - nota ré susenido 4, gráfico de frequência x tempo. ....	76
<b>Figura 87:</b> Flautista 12 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	77
<b>Figura 88:</b> Flautista 12 - nota ré 5, gráfico de frequência x tempo. ....	77
<b>Figura 89:</b> Flautista 13 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	78
<b>Figura 90:</b> Flautista 13 - nota mi 3, gráfico de frequência x tempo.....	78
<b>Figura 91:</b> Flautista 13 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	79
<b>Figura 92:</b> Flautista 13 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo. ....	79
<b>Figura 93:</b> Flautista 13 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	80
<b>Figura 94:</b> Flautista 13 - nota lá 5, gráfico de frequência x tempo.....	80
<b>Figura 95:</b> Flautista 14 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	81
<b>Figura 96:</b> Fautista 14 - nota sol 3, gráfico de frequência x tempo.....	81
<b>Figura 97:</b> Fautista 14 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo. ....	82
<b>Figura 98:</b> Fautista 14 - nota lá 4, gráfico de frequência x tempo.....	82
<b>Figura 99:</b> Flautista 14 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	83
<b>Figura 100:</b> Flautista 14 - nota lá susenido 5, gráfico de frequência x tempo. ....	83
<b>Figura 101:</b> Flautista 15 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	84
<b>Figura 102:</b> Flautista 15 - nota lá 3, gráfico de frequência x tempo.....	84
<b>Figura 103:</b> Flautista 15 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	85
<b>Figura 104:</b> Flautista 15 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo.....	85
<b>Figura 105:</b> Flautista 15 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	86
<b>Figura 106:</b> Flautista 15 - nota lá 5, gráfico de frequência x tempo.....	86
<b>Figura 107:</b> Flautista 16 - nota fá 3, gráfico de frequência x tempo.....	87
<b>Figura 108:</b> Flautista 16 - nota ré 3, gráfico de frequência x tempo. ....	87
<b>Figura 109:</b> Flautista 16 - nota fá 4, gráfico de frequência x tempo.....	88

<b>Figura 110:</b> Flautista 16 - nota sol 4, gráfico de frequência x tempo.....	88
<b>Figura 111:</b> Flautista 16 - nota fá 5, gráfico de frequência x tempo.....	89
<b>Figura 112:</b> Flautista 16 - nota sol sustenido 5, gráfico de frequência x tempo.....	89
<b>Figura 113:</b> Flautistas 1, 2, 5 e 6 com tendência de aclave mais curto que declive na nota fá 3. ....	93
<b>Figura 114:</b> Velocidade com que o pico na base da onda acontece .....	95

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Métodos de produção do vibrato. ....	22
<b>Tabela 2:</b> Resumo geral – tendências da forma da onda do vibrato dos flautistas analisados. ....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS

Hz – Hertz (medida de frequência).

Dó 3 – Dó central do piano, 261 Hertz.

F<sup>0</sup> – Frequência fundamental.

Fl. – Flautista.

## RESUMO

O presente trabalho investigou a forma da onda do vibrato na flauta transversal. O termo *forma da onda* foi utilizado com base nos autores que pesquisaram esse tema e indica o contorno de flutuação da frequência fundamental causado pelo uso do vibrato. Foram gravadas amostras de sons com vibrato realizados por 16 flautistas, sendo 5 profissionais e 11 estudantes do Curso de Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais. Cada participante gravou seis notas longas com vibrato nos três registros do instrumento (grave, médio, agudo) totalizando um número de 96 amostras. A análise das amostras foi realizada através do *software* PRAAT. Foram identificadas 6 tendências globais na forma da onda do vibrato na flauta: tendência senoidal, triangular, trapezoidal, aclave mais curto que o declive, aclave mais longo que o declive e picos na base da onda. As diferentes tendências observadas pela presente pesquisa se caracterizam como mais um passo para a compreensão da especificidade do vibrato de cada flautista.

**Palavras-chave:** vibrato na flauta transversal; forma da onda; análise acústica; identidade sonora.

## ABSTRACT

This research investigates the frequency fluctuation contour produced by the use of vibrato on the flute. Samples of notes with vibrato were recorded by 16 flutists, of whom 5 were professionals and 11 were undergraduate students at the School of Music at the Federal University of Minas Gerais. Each participant recorded six long notes with vibrato on low, medium, and high registers of the instrument, totaling 96 samples. The samples were analyzed using PRAAT software. Six major trends were identified in the shape of the vibrato wave on the flute: sine, triangular, trapezoidal, shorter active than slope, longer active than slope, and peaks at the base of the wave. The different waveforms observed by the present research constitute a further step towards the understanding the sound specificities of each flute player.

**Key words:** vibrato on the transverse flute; waveform; acoustic analysis; sound identity.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1 INTRODUÇÃO

O vibrato é um elemento de representativa importância na expressividade e identidade sonora de um flautista. DALSANT (2011) descreve essa técnica como sendo um dos principais fatores que nos permite identificar o timbre característico de um flautista, tal qual uma “impressão digital” que o diferencia de outros.

Através de seus estudos, Dalsant enumerou oito variáveis acústicas que compõem o vibrato na flauta:

- Profundidade;
- Taxa;
- Desvio da frequência fundamental;
- Modulação do envelope espectral;
- Regularidade e forma da onda;
- Modo de ataque e conclusão da nota;
- Ruídos/nuvens “fantasmas”;
- Evolução no tempo.

Como veremos em nosso segundo capítulo, os estudos relacionados à prática do vibrato na flauta contemplam, sobretudo, as variáveis taxa e profundidade, ou seja, as variações de velocidade e extensão da frequência causadas pelo uso do vibrato. No presente trabalho, analisamos um parâmetro intrínseco aos dois anteriores – a forma da onda – com a intenção de expandir os estudos sobre os componentes acústicos do vibrato e investigar se as características físicas dessa variável contribuem na especificidade sonora de um flautista.

No trabalho de Dalsant, a pesquisadora se refere ao termo “forma da onda” com base nos estudos de SUNDBERG (1994) relacionados ao vibrato no canto. Nos estudos de acústica e sonologia, é comum encontrarmos esse termo nas representações das ondas de um determinado sinal sonoro. É importante dizer que a forma da onda ou *waveform* em inglês, nesse caso, não representam nosso objeto de estudo. O termo *forma da onda* utilizado em nossa pesquisa se refere ao contorno de flutuação da frequência fundamental de um som devido ao uso do vibrato. A partir disso, investigamos alguns levantamentos feitos por HORII (1989), SUNDBERG (1994) e FARIA (2011) com a intenção de verificar as semelhanças existentes com relação à forma da onda do vibrato na flauta e no canto. Horii, por

exemplo, descreve a forma da onda do vibrato vocal como *padrões de modulação de frequência*. No geral, três padrões foram identificados em seu estudo, sendo eles: sinusoidal, triangular e trapezoidal.

DALSANT (2011) observou algo semelhante no vibrato da flauta. Em sua pesquisa, a autora analisou o vibrato de vários flautistas através da gravação das notas Sib 3 e Sib 4 (sendo Dó<sup>3</sup> = dó central do piano) extraídas da peça *Syrinx* de Claude Debussy. Com isso, observou-se que alguns flautistas apresentavam variações quanto ao contorno da frequência de seus vibratos.

No entanto, o objetivo central dos estudos de Dalsant era estabelecer uma comparação entre duas ferramentas tecnológicas e descrever qual era a mais eficaz na representação de cada variável acústica existente no vibrato da flauta. Devido a este fato, a autora não entrou em grandes detalhes quanto à forma da onda. Além disso, Dalsant analisou uma nota tocada em apenas duas oitavas, o que nos levou a questionar como seria o contorno desta nota no terceiro registro da flauta, que é o mais agudo e mais explorado neste instrumento.

Com isso, analisamos a forma da onda do vibrato de 16 flautistas, cinco profissionais e onze estudantes do Curso de Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais. Cada flautista gravou seis amostras de sons com vibrato, uma nota em cada registro do instrumento (grave, médio, agudo) à escolha do participante e as notas Fá 3, Fá 4 e Fá 5. Os participantes foram gravados através de um gravador H4n da marca Zoom em uma sala com tratamento acústico para minimizar a influência do excesso de reverberação na captação sonora. A ferramenta de análise utilizada foi um *software* desenvolvido pelo Instituto de Ciências Fonéticas da Universidade de Amsterdã intitulado PRAAT.

Através dessas amostras, buscamos atingir os seguintes objetivos: (1) investigar se as formas de onda apresentam padrões semelhantes entre os registros, como aqueles descritos por HORII (1989) com relação ao vibrato no canto, ou seja, formas triangulares, trapezoidais e senoidais; (2) se existem especificidades no contorno da onda do vibrato de cada flautista; (3) se tais especificidades são características únicas, como a “impressão digital” de cada participante.

Os resultados mostraram que existem seis tendências principais na forma da onda do vibrato na flauta: tendência senoidal, triangular, trapezoidal, aclave mais curto que o declive, aclave mais longo que o declive e picos na base da onda. As

formas não se mostraram constantes entre os registros do instrumento (grave, médio, agudo). No entanto, cada participante apresentou particularidades nas tendências observadas. Contudo, ainda não se sabe o quanto essas particularidades podem influenciar na identidade sonora dos flautistas.

O vibrato na flauta é uma técnica em que se deve buscar sempre o aprimoramento, pois está diretamente ligada à expressividade e qualidade sonora do flautista. O entendimento sobre essa ferramenta auxilia não apenas em sua prática, mas também em seu ensino. O presente trabalho investigou uma das variáveis acústicas do vibrato na flauta como uma forma de agregar mais informações ao conhecimento existente sobre esse fenômeno.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Práticas pedagógicas e aspectos fisiológicos do vibrato

KARA e BULUT (2015) explicam que há diferentes abordagens com relação ao ensino do vibrato na flauta. Segundo os autores, alguns pedagogos do instrumento acreditam que o vibrato não deve ser ensinado, pois precisa ser desenvolvido naturalmente através da própria sensibilidade musical do aluno. Moyses, Taffanel e Gaubert são autores de alguns dos principais métodos de flauta do século XX e representam esse primeiro pensamento. O segundo pensamento descrito por Kara e Bulut (2015, p.128) é caracterizado por aqueles que acreditam que o vibrato deve ser ensinado, pois essa ferramenta precisa ser cuidadosamente controlada. GALWAY (1982), em seu livro *Flute* sustenta essa ideia. Além disso, mesmo quem desenvolveu o vibrato naturalmente pode ser ensinado a aprimorar e controlar essa técnica (Toff, 1996).

No que diz respeito aos aspectos fisiológicos, podemos dizer que existe uma discussão que aborda dois mecanismos principais na produção do vibrato na flauta, são eles: os músculos da garganta e o diafragma. WILCOCKS (2005) fez o levantamento de alguns autores que publicaram métodos sobre o vibrato na flauta, desde 1973 até 2002. Em seguida, a autora apresentou uma tabela - que mostraremos a seguir (Tabela 1) - com os métodos de produção do vibrato descritas pelos autores estudados em sua pesquisa.

Autor	Método
Krell (1973, p.15)	O vibrato é provavelmente produzido por uma combinação da vibração delicada da garganta e do reforço elástico do diafragma, agindo juntos e simpaticamente.
Wye (1980, p.133)	O vibrato deve ser produzido pelo uso da laringe, pela flutuação da velocidade do ar e conseqüentemente pela pressão do ar com o diafragma.
Gärtner (1981, p.126)	O vibrato não se origina no diafragma. A alternância necessária de tensão e liberação da respiração é provocada pela compressão e liberação periódica dos músculos

	<p>abdominais e torácicos. Nesse vibrato “tóraco-abdominal”, a laringe participa ativamente da atividade muscular - o grau de envolvimento laríngeo pode variar. O vibrato pode ser puramente laríngeo sem qualquer participação dos músculos abdominais, músculos torácicos ou diafragma.</p>
Rainey (1985, p.117)	<p>O vibrato é produzido usando os músculos constritores da garganta e os músculos diafragmáticos. Estes podem ser usados separadamente ou em combinação. O vibrato diafragmático é produzido aumentando ou diminuindo a pressão do vento por meio de um movimento controlado do diafragma e dos músculos adjacentes. O vibrato da garganta envolve os músculos constritores que controlam a quantidade de ar que entra no instrumento. Estes músculos se contraem e se expandem, permitindo apenas o ar suficiente para completar o ciclo necessário para o vibrato.</p>
Nyfenger (1986, p.79)	<p>Os músculos abdominais não podem ser movidos rápidos o suficiente para produzir um vibrato usável e cantante. O conceito dos músculos peitorais, diafragmáticos ou abdominais que fazem esse trabalho deve ser reconhecido apenas como uma reação ao trabalho da garganta.</p>
Willoughby (1994, p.12)	<p>O vibrato deve ser baseado no diafragma; não só para o controle possível, mas também para que a garganta permaneça aberta e irrestrita.</p>
Coelho (1995, p. 27)	<p>O vibrato é produzido pela garganta, não pelos músculos abdominais. O diafragma não pode produzir tais movimentos e os músculos abdominais são grandes demais para criar um vibrato rápido. Embora muita tensão do músculo abdominal seja fatigante, certa quantidade de apoio abdominal mantém a pressão do ar.</p>
Walker (1995, p.15)	<p>Vibrato vem da combinação de garganta e pressão muscular abdominal; qual deles é primordial depende do registro. No registro agudo, o ar tem que ser movido mais e tem que ser fisicamente pulsado pelos músculos abdominais. O movimento de vibração no registro grave é mais da garganta, mas usar esse movimento na próxima oitava fará com que o vibrato se</p>

	dissipe e desapareça completamente no terceiro registro.
Haid (1999, p.18)	O vibrato não é causado pelo diafragma, mas pela contração e liberação dos músculos abdominais e torácicos e é sempre combinado com a atividade na laringe.
Wechsler (1999, p.25)	Alguns flautistas produzem vibrato pulsando a garganta muito rapidamente, usando ooh-oooh-oooh, também conhecido como o vibrato de "cabra". Outros produzem vibrato pulsando o ar dos músculos da região abdominal, de forma ha-ha-ha ou hoo-hoo-hoo.
Potter (2001, p.20)	Flautistas avançados usam suas gargantas para produzir vibrato, mas com iniciantes esse conceito interfere na manutenção de uma garganta aberta. Os pulsos do diafragma, no entanto, não proporcionam um vibrato rápido o suficiente e, em algum momento, os alunos naturalmente deslocam o vibrato para a garganta. Para os alunos que não fazem a transição, é necessário introduzir a ideia de envolver a garganta.
Debost (2002, p.260)	Medições extensivas mostram que o diafragma não tem papel no vibrato. Como o vibrato não pode ser produzido pelos lábios ou pelo queixo, seu mecanismo deve iniciar em algum lugar na área da garganta.  Fonte: Wilcocks, 2006, p. 45. Tradução nossa.

**Tabela 1:** Métodos de produção do vibrato.

É interessante notar que alguns dos autores supracitados descrevem os aspectos fisiológicos da produção do vibrato na flauta como sendo o resultado da ação conjunta dos músculos da garganta com o diafragma. No entanto, GÄRTNER (1981), contesta o envolvimento do diafragma na produção do vibrato e descreve o envolvimento de outros músculos abdominais e torácicos.

Em seu estudo, o autor analisou a produção do vibrato através do método de eletromiografia, o que permite que certas reações eletroquímicas que ocorrem durante a contração muscular sejam documentadas. Gärtner examinou o papel dos músculos do abdômen, tórax, diafragma e laringe para determinar o papel de cada

um na produção do vibrato. Por fim, o autor explica que os músculos grandes, por exemplo, os abdominais, não podem se mover tão rápido quanto os músculos pequenos, como os da laringe, devido à diferença nas velocidades de contração muscular em cada um. Ele afirmou que o vibrato abdominal é possível, mas que, em muitos casos, a velocidade desejada exigirá o uso do vibrato de garganta.

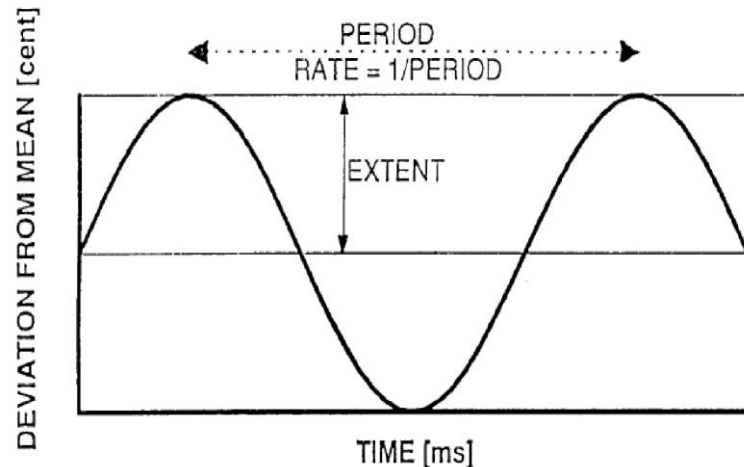
Tudo isso ilustra os principais pontos de discussão sobre os aspectos fisiológicos da produção do vibrato na flauta e suas práticas de ensino. A seguir, apresentaremos o tópico principal deste capítulo, onde serão enfatizados os estudos do vibrato sob a perspectiva da física. Em geral, tais estudos são pouco discutidos entre os flautistas. Acreditamos que o entendimento das características físicas que compõem o vibrato na flauta se configura como um importante recurso no aprendizado e controle desta ferramenta interpretativa.

## **2.2 O vibrato na flauta sob a perspectiva da física**

Como foi dito em nosso capítulo de introdução, DAL SANT (2011) enumerou oito variáveis acústicas geradas no som dos flautistas devido ao uso da técnica de vibrato. A seguir, faremos uma breve explicação sobre as variáveis mais relevantes para nossa pesquisa. Cada explicação será apresentada em subtópicos que estarão interligados. Com isso, tentaremos elucidar dois pontos principais: as características físicas do vibrato na flauta e a escolha da variável *forma da onda* como objeto de estudo da nossa pesquisa.

### **2.2.1 Vibrato: taxa, profundidade e desvio da frequência fundamental**

TIMMERS e DESAIN (2000) descrevem o vibrato como uma flutuação periódica na frequência, amplitude e/ou timbre de um som musical. Tal flutuação periódica é medida através da *taxa*. É importante explicar que, no contexto de nossa pesquisa, taxa significa a velocidade do vibrato. A Figura 1, retirada do trabalho de SUNDBERG (1994), ilustra a medição da taxa (*rate*) que é igual a 1/período por segundo ou 1Hz. Em outras palavras, se um vibrato apresenta uma taxa igual a 5Hz, significa que o vibrato produzido pelo músico flutua 5 vezes por segundo.



Fonte: Sundberg, 1994, p. 48

**Figura 1:** Representação gráfica de período, taxa e extensão do vibrato (variação em cents em relação a uma média).

MEYER (2009, p. 44) explica que embora o vibrato seja usado por cantores, músicos de cordas e por instrumentistas de sopro, um bom vibrato tem algo em comum para todos eles: a taxa de flutuação quase sempre está na região de 5 a 8 Hz. O autor esclarece essa informação dizendo que as alterações periódicas na frequência ou amplitude de um som são percebidas de maneira diferente pelo nosso ouvido, dependendo da rapidez com que ocorrem. Assim sendo, se um vibrato for realizado de forma lenta, ele pode facilmente assemelhar-se a um "gemido". A partir de 5 Hz para cima, em contraste, percebe-se uma altura ou intensidade uniforme, que está associado a um movimento interno. Assim, o som percebido corresponde com bastante precisão à frequência central sobre a qual o vibrato flutua (Meyer, 1979).

Em contrapartida, Meyer explica que a extensão do vibrato no canto, nas cordas e nos sopros são diferentes. A Figura 1 também ilustra a medição da extensão do vibrato. Segundo SUNDBERG (1987), a extensão é o desvio de frequência em torno de seu valor médio. MEYER (2009) explica que, de maneira geral, tal desvio pode mover-se em 5 cents, perto do limite audível, mas para cantores certamente pode exceder a faixa de 100 cents (sendo que 1 cent = 1/100 de um semitom). Segundo o autor, a extensão do vibrato na flauta é relativamente pequena. As flutuações de frequência de 10 a 15 cents já podem ser consideradas como um vibrato intenso.

É importante dizer que DAL SANT (2011), ao enumerar as variáveis acústicas citadas anteriormente, se refere ao termo extensão como sendo sinônimo de amplitude e profundidade. Isso pode gerar alguma confusão, pois em alguns estudos a amplitude é um termo usado para se referir à intensidade sonora nas flutuações do vibrato, medida em decibéis (dB). Em outros casos, as variáveis profundidade e desvio da frequência fundamental também são tratadas como sinônimos, se referindo às variações na frequência fundamental causadas pelo uso do vibrato.

De maneira geral, é impossível se referir a essas variáveis acústicas - taxa, profundidade e desvio da frequência fundamental - separadamente. Tais variáveis estão intimamente relacionadas entre si. Tal consideração pode ser esclarecida através dos estudos de FLETCHER (1974). Segundo o autor, o vibrato na flauta se caracteriza como pequenos crescendos e diminuendos no som. Isso significa que, ao contrário dos instrumentos de corda, como o violino, onde o vibrato se caracteriza pelo movimento dos dedos em cima da corda provocando variações de frequência (afinação), o vibrato na flauta é preponderantemente de intensidade (variação de dinâmica). No entanto, Fletcher explica que tais variações de intensidade características do vibrato na flauta causam como efeito colateral as variações de frequência.

GARCIA (2009) explica que todo flautista é treinado – ou pelo menos assim deveria ser – a compensar as tendências de variação de afinação que acontecem com a dinâmica. De modo geral, a afinação da flauta tende a subir quando se aumenta a intensidade e a baixar quando esta é diminuída. Lembrando que, na flauta, para aumentar a intensidade sonora precisa-se aumentar a quantidade e velocidade do ar. Infelizmente, é impossível realizarmos os pequenos ajustes de embocadura/coluna de ar na velocidade do vibrato, que gira, conforme FLETCHER (1975, p.236), em torno de 300 oscilações de intensidade por minuto.

Através da análise das amostras de sua pesquisa, DAL SANT (2011) observou que o vibrato de alguns flautistas apresentava um desvio acima da frequência média da nota executada e outros um desvio abaixo dessa frequência. WECHSLER (1999) explica que o nosso ouvido percebe que o topo da onda do vibrato é a parte afinada da nota. Segundo a autora, para tocar com vibrato, o flautista deve começar com uma afinação abaixo da nota executada para que o pico

da onda chegue à afinação correta e o ouvido a perceba como afinada. No entanto, WION (2005) explica que às vezes acontece o contrário, alguns flautistas partem da nota afinada e começam a vibrar acima dessa frequência.

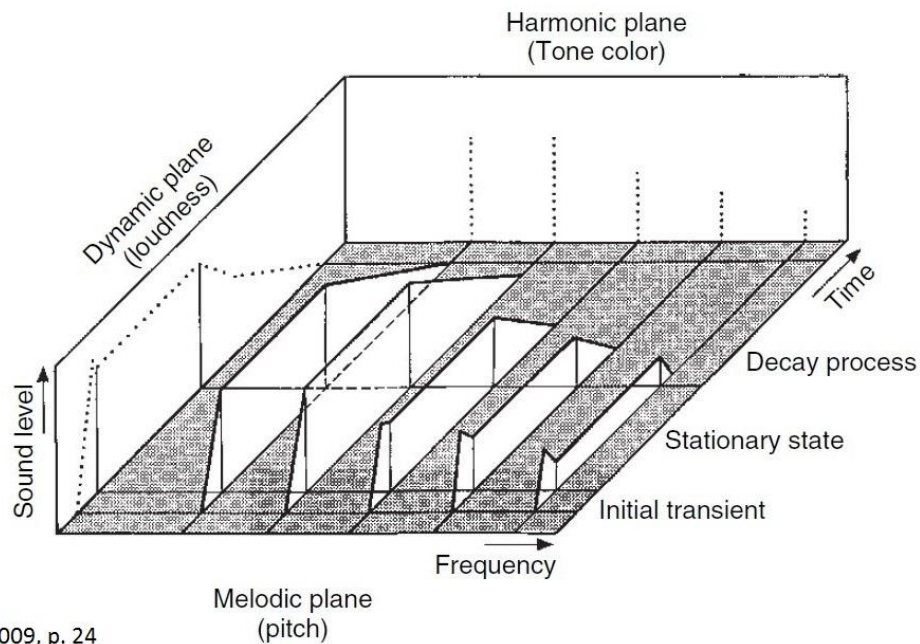
Em sua *webpage* intitulada “Vibrato”, Wion selecionou pequenos trechos de gravações de áudio realizadas por diferentes flautistas reconhecidos internacionalmente e diminuiu em 300% a velocidade de tais trechos. O autor disponibilizou esses áudios para *download* gratuito. Com isso, podemos observar de maneira prática as interferências sonoras quando o desvio de frequência causado pelo vibrato de um flautista é preponderantemente para cima (quando a afinação sobe) ou para baixo (quando a afinação cai). O reconhecido flautista James Galway, por exemplo, faz um vibrato que desvia a frequência para cima. Wion explica que o flautista usa magistralmente essa técnica, concedendo brilho ao seu som. Porém, nas mãos de um flautista menos competente o efeito sobre o ouvinte pode ser de desafinação ao invés de brilho.

Por fim, podemos observar que os três parâmetros estudados até aqui são aqueles que, de maneira geral, os estudantes de flauta estão mais familiarizados. Ou seja, quando estudamos a velocidade do vibrato, a amplitude e o desvio de afinação do centro da nota, quer dizer que estamos nos referindo à manipulação destas três variáveis acústicas. Em nosso artigo intitulado “Prática deliberada da profundidade e do desvio de fundamental no vibrato da flauta transversal” (Frade e Garcia, 2017), desenvolvemos pequenos exercícios para a prática desses parâmetros.

### **2.2.2 Modulação do envelope espectral e ruídos "fantasmas"**

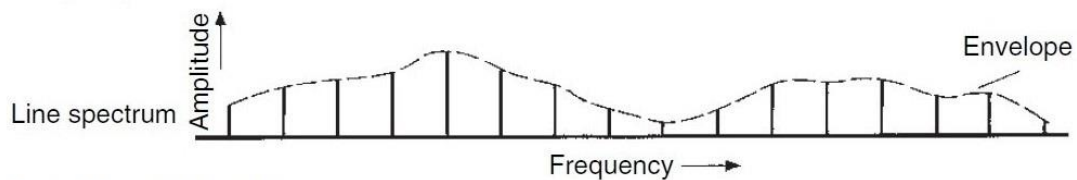
Segundo MEYER (2009, p.28), as amplitudes ou níveis de pressão sonora dos parciais individuais (harmônicos superiores) podem ser representados como um espectro de linhas, como o plano harmônico da Figura 2 e da Figura 3, ambas retiradas de seu estudo. Cada linha por posição e comprimento indica a frequência e força da parcial relevante. Conectar os pontos finais das linhas espectrais, como foi feito no gráfico da figura 3, resulta no chamado *envelope espectral*. Esta curva fornece uma representação clara da distribuição de amplitude em função da frequência sem considerar o número harmônico da parcial individual. O envelope

espectral é, portanto, especialmente adequado para representações sumárias. A Figura 4 também ilustra esse tipo de representação.



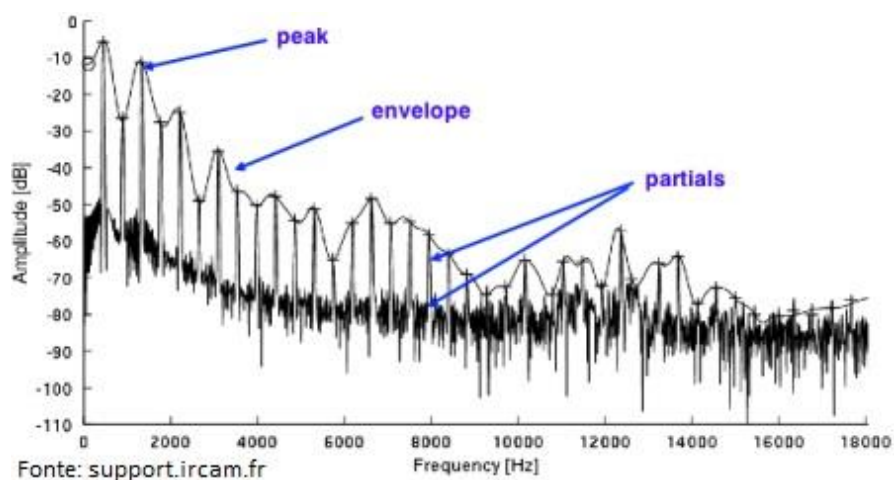
Fonte: Meyer, 2009, p. 24

**Figura 2:** Representação tridimensional de um som.



Fonte: Meyer, 2009, p. 27

**Figura 3:** Estrutura harmônica da nota Dó 2.



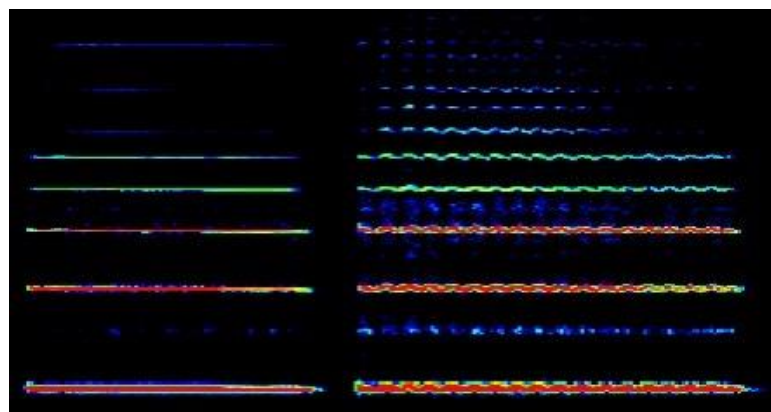
Fonte: support.ircam.fr

**Figura 4:** Representação do envelope espectral de um som.

Ao observar a modulação do envelope espectral nos sons com vibrato produzidos por flautistas, DALSANT (2011) a classificou como uma das variáveis acústicas do vibrato na flauta. Com relação aos ruídos "fantasmas", Dalsant utilizou os estudos de GARCIA (2009) para elucidar tal classificação. Segundo o autor, o vibrato produz um enriquecimento no som produzido pelo flautista. Tal enriquecimento é explicado pelo aumento do número e da intensidade dos harmônicos, além do surgimento de sons intitulados pelo autor de "ruídos fantasmas", que são distintos da nota fundamental e seus harmônicos superiores.

De acordo com MEYER (2009), o som da flauta tem como característica uma estrutura espectral muito uniforme. Segundo o autor, a fundamental ( $F^{\circ}$ ) é, de maneira geral, o mais desenvolvido de todos os parciais. Para nenhum outro instrumento orquestral essa característica é tão claramente marcada. Com relação aos ruídos existentes no som da flauta, o pesquisador explica que não consiste apenas em ruídos de ar com intensidade independente da frequência, mas também contém componentes que influenciam o som.

Através da Figura 5, podemos observar o gráfico retirado do estudo de GARCIA (2009). Nesta imagem o autor expõe o enriquecimento do espectro sonoro da nota Dó 5 na flauta causado pelo uso do vibrato. Além disso, podemos observar o acréscimo de ruído, evidenciando uma nuvem azul entre a fundamental ( $F^{\circ}$ ) e o primeiro harmônico. Para o autor, essa nuvem é uma espécie de "fantasma" do terceiro harmônico ( $12^{\text{a}}$ ) da nota Dó 4. MEYER (1991) acrescenta que a modulação da cor do som, bem como a modulação do ruído causado pelo uso do vibrato, confere ao som do flautista um destaque particular dentro de um conjunto musical.



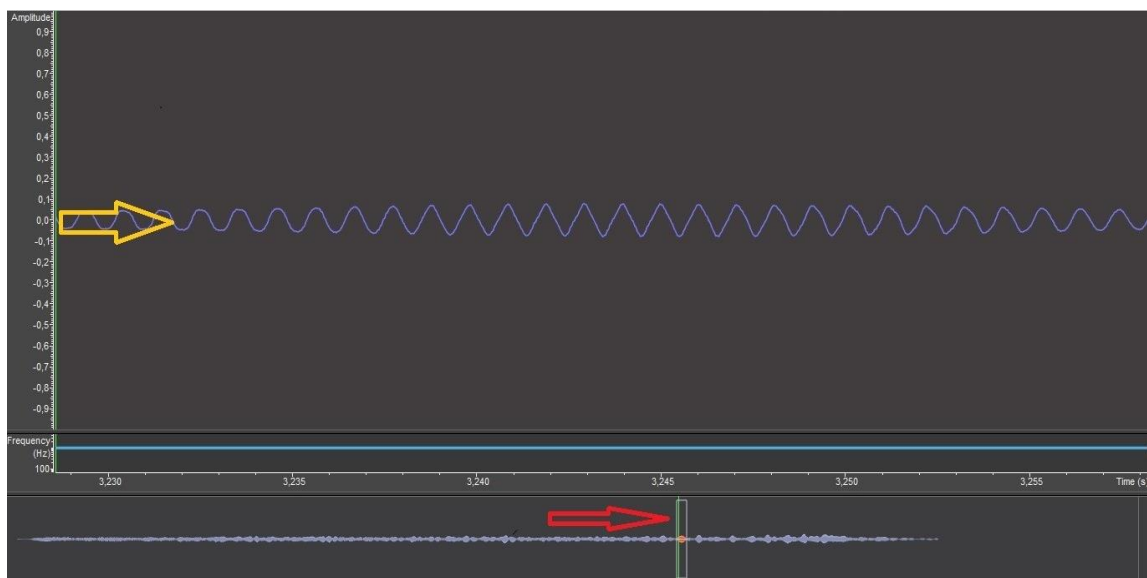
Fonte: Garcia, 2009, p. 8

**Figura 5:** Espectrograma da nota Dó 5 sem e com vibrato, respectivamente.

### 2.2.3 Regularidade e forma da onda

DALSANT (2011) baseou-se nos estudos do vibrato no canto para enumerar a regularidade e a forma da onda como variáveis acústicas do vibrato na flauta. SUNDBERG (1994) explica que a regularidade mede a similaridade entre os ciclos do vibrato. Para o autor, esse parâmetro é considerado um sinal de habilidade técnica, quanto mais regular, melhor é a qualidade do vibrato. Com relação à forma da onda, o pesquisador descreve como sendo o contorno da onda do vibrato ao longo do tempo, ou seja, o desenho da curva da frequência fundamental provocada pelo uso do vibrato.

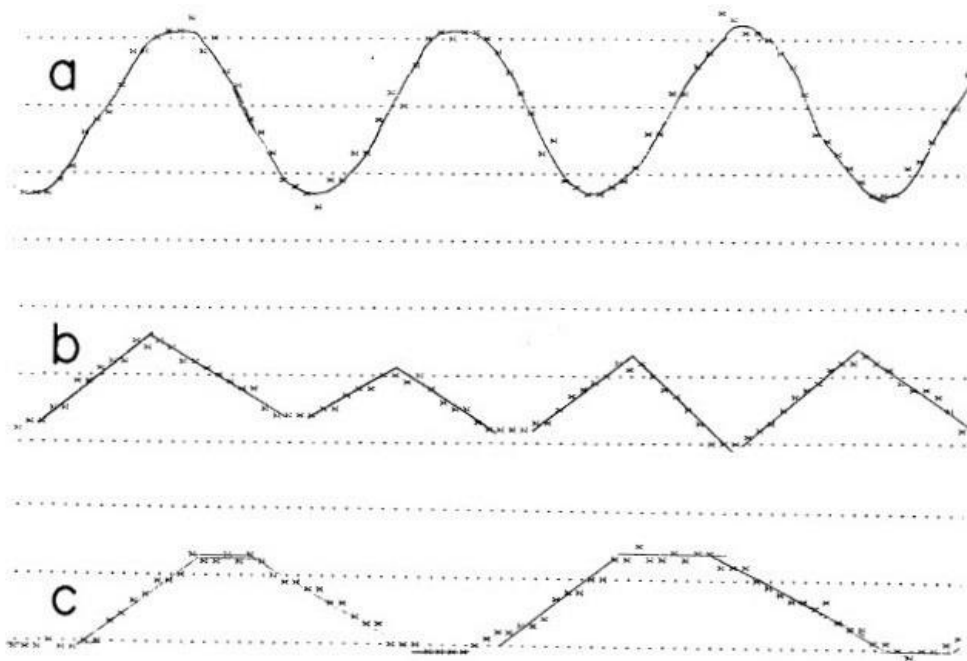
Como dito em nossa introdução, os estudos de acústica e sonologia utilizam o termo *forma da onda* nas representações das ondas de um determinado sinal sonoro. É importante dizer que a forma da onda ou *waveform* em inglês, nesse caso, não representam nosso objeto de estudo. A Figura 6 ilustra esse tipo de representação gráfica. Observe que a seta amarela representa a forma da onda do sinal sonoro de uma região minúscula apontada pela seta vermelha.



**Figura 6:** *Waveform* da nota Si bemol tocada por um flautista.

Sendo assim, é importante dizer que a forma da onda considerada como objeto de estudo de nossa pesquisa se caracteriza como o contorno da flutuação da frequência fundamental ( $F^{\circ}$ ) provocado pelo uso do vibrato. HORII (1989) investigou amostras de oito cantores que produziram a vogal "a" com vibrato nos registros

grave, médio e agudo. Com isso, o autor observou alguns comportamentos na curva da frequência fundamental ( $F^\circ$ ), chamando-os de *padrões de modulação de frequência*. No geral, três padrões foram identificados em seu estudo, sendo eles: sinusoidal, triangular e trapezoidal. A Figura 7, retirada do trabalho de HORII (1989), ilustra tais padrões de modulação.



Fonte: Horii, 1989, p. 831

**Figura 7:** Exemplos de padrões de modulação de frequência sinusoidal (a), triangular (b) e trapezoidal (c).

De acordo com HORII (1989), das 24 amostras analisadas em seu trabalho, apenas duas apresentaram padrões senoidais. Cinco apresentaram padrões triangulares, dez trapezoidais e sete amostras não apresentaram nenhum dos três padrões. O autor levantou a hipótese de que mudanças finas nas tensões das pregas vocais devem ser efetuadas de maneira diferente para cada um dos três padrões temporais de  $F^\circ$  no vibrato vocal. Além disso, HORII (1989) cita os trabalhos de WINCKEL (1953) para falar de padrões de modulação específicos de cada cantor, como uma marca registrada. Horii não encontrou tais particularidades na sua pesquisa. Segundo ele, nenhuma tendência sistemática (senoidal, triangular e trapezoidal) foi observada em um mesmo cantor quando se alterava de registro

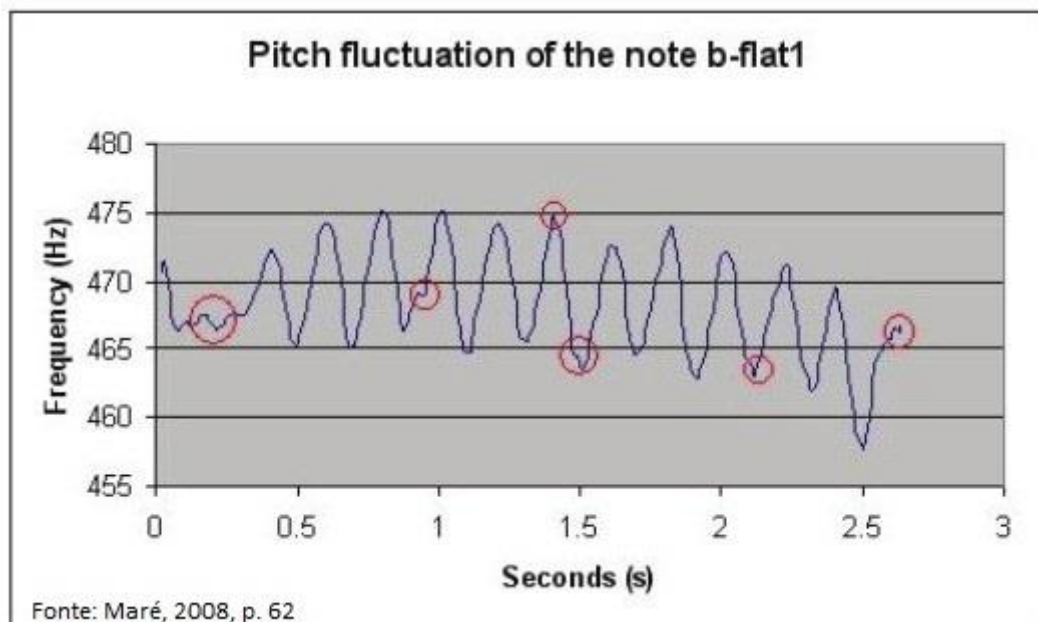
(grave, médio, agudo). No entanto, não temos conhecimento sobre os tipos de recursos tecnológicos que estavam disponíveis na época da pesquisa do autor.

FARIA (2011) colaborou com os estudos da forma da onda no vibrato vocal. Em sua pesquisa, 10 cantoras líricas foram gravadas executando duas cadências, uma de caráter alegre e outra de caráter triste. Com isso, a pesquisadora descreveu possíveis padrões de vibrato atribuíveis a estes caracteres através da análise das variáveis *taxa*, *profundidade*, *regularidade* e *forma da onda*. Quanto a esta última, a autora explicou que houve uma predominância do aspecto senoidal em ambos os caracteres estudados. No entanto, a ferramenta tecnológica utilizada na análise das amostras apresentou alguns impasses. Segundo Faria, quanto mais se aumentava a resolução do programa de análise, mais se interferia na configuração dos harmônicos, dificultando assim a visualização do formato do vibrato.

FARIA (2011) descreveu outro fato importante em seu trabalho. Ao observar padrões senoidais nas amostras estudadas, a autora não encontrou ligação direta com o parâmetro de regularidade. Segundo ela, três das cantoras analisadas apresentaram irregularidades na execução do vibrato, mas evidenciaram prevalência da forma de onda senoidal. Como dito anteriormente, HORII (1989) sugere algo relacionado a movimentos inconscientes das pregas vocais que podem provocar diferentes formatos na onda do vibrato e cita os trabalhos de Winckel que fala sobre possíveis padrões de modulação específicos de cada cantor. Com tudo isso, podemos nos perguntar: a forma da onda do vibrato poderia ser considerada uma variável acústica que não temos controle intencional e que surge como uma característica individual?

Podemos observar que HORII (1989) e FARIA (2011) fizeram o levantamento de alguns pontos importantes sobre a forma da onda do vibrato. No entanto, parece que ambos os autores tiveram problemas com as ferramentas tecnológicas de análise, deixando em aberto algumas questões sobre essa variável acústica. DAL SANT (2011) considerou todos estes trabalhos realizados sobre o vibrato vocal e observou que também há diferentes formas no contorno da frequência provocadas pelo vibrato na flauta. No entanto, como o objetivo central de seus estudos era avaliar duas ferramentas tecnológicas de análise do vibrato, a autora não entrou em grandes detalhes sobre esse parâmetro.

MARÉ (2008) analisou em seu trabalho a curva de  $F^\circ$  provocada pelo uso do vibrato na flauta. Mesmo sem a intenção de analisar a forma da onda, o autor identificou algumas irregularidades nos gráficos de seu estudo. A Figura 8 foi retirada de seu trabalho para ilustrar suas observações. Segundo ele, as irregularidades marcadas de vermelho acontecem porque a flutuação de frequência é resultado da contração dos músculos abdominais, algo que não resultará em uma onda senoidal perfeita. No entanto, o autor não considera o uso dos músculos da garganta como responsáveis pela produção do vibrato e não entra em detalhes sobre a forma da onda.



**Figura 8:** Gráfico de flutuação da frequência da nota Si bemol.

Portanto, podemos dizer que os estudos existentes na literatura sobre a forma da onda do vibrato deixam em aberto algumas questões sobre esse parâmetro acústico. Isso nos leva ao próximo capítulo do presente trabalho, onde apresentaremos a metodologia de nossa pesquisa. O objetivo principal foi analisar a forma da onda do vibrato de diferentes flautistas com a intenção de investigar se os aspectos físicos dessa variável contribuem na especificidade do som de cada músico investigado.

### **3 METODOLOGIA**

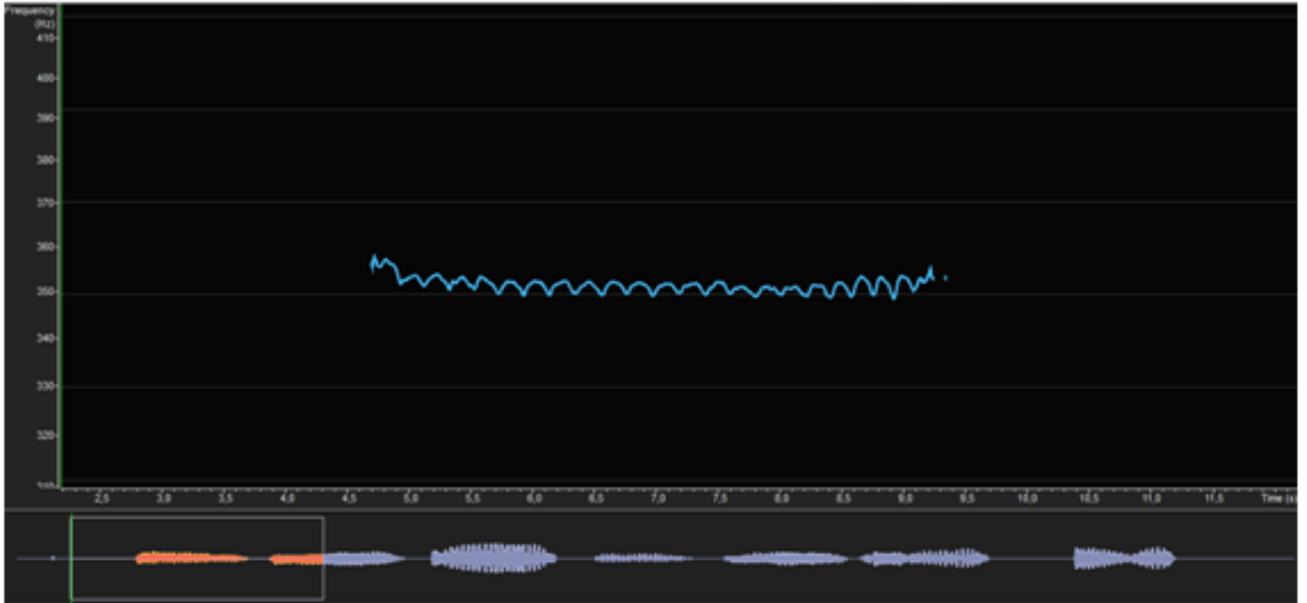
### 3 METODOLOGIA

Em nosso capítulo introdutório apresentamos os objetivos específicos de nossa pesquisa, que se dividem em: (1) investigar se as formas de onda provocadas pelo uso do vibrato na flauta apresentam padrões semelhantes entre os registros, como aqueles descritos por HORII (1989) com relação ao vibrato no canto, ou seja, formas triangulares, trapezoidais e senoidais; (2) se existem especificidades na forma da onda de cada flautista; (3) se tais especificidades são características únicas, como a “impressão digital” de cada participante.

Com a intenção de atingir esses objetivos e com base na metodologia de HORII (1989) - onde o autor analisou o vibrato realizado por cantores nos registros grave, médio e agudo - analisamos a forma da onda do vibrato de 16 (dezesesseis) flautistas, sendo 5 profissionais e 11 estudantes do Curso de Graduação em Música da UFMG. Cada participante executou seis notas longas com vibrato, tocadas de maneira livre, ou seja, sem nenhuma orientação quanto à dinâmica ou caráter musical. As três primeiras sempre eram as notas Fá 3, Fá 4 e Fá 5 (Sendo Dó3 = dó central do piano). As outras três notas eram de livre escolha do flautista, uma no registro grave, outra no médio e outra no agudo. Foi escolhida uma sala com tratamento acústico para minimizar a influência de reverberação na captação do som. As amostras foram registradas através de um gravador H4n da marca Zoom em formato *wave*.

Para a análise das amostras foi preciso realizar uma pesquisa sobre ferramentas tecnológicas que atendessem à demanda de nossa pesquisa. DAL SANT (2011) investigou duas ferramentas para a análise das variáveis acústicas do vibrato na flauta (*Spectra Pro* e Algoritmo de Vieira e Silva, UFMG). No entanto, os gráficos de frequência em função do tempo, gerados pelo algoritmo utilizado em seu trabalho, não apresentam com clareza o desenho da onda do vibrato.

Durante o último semestre de 2017, começamos a trabalhar com um *software* de análise espectrográfica intitulada *Overtone Analyzer*. A seguir, mostraremos alguns gráficos gerados pelo programa (Figuras 9 e 10). Escolhemos as imagens que apresentaram alguma semelhança entre os registros do instrumento.

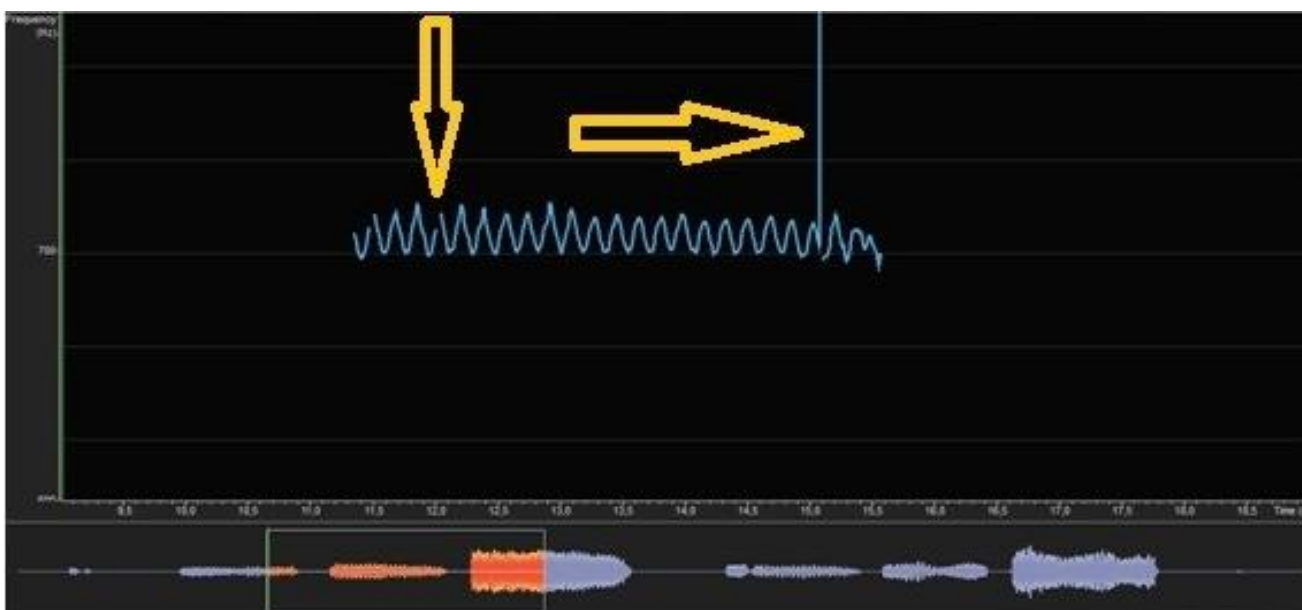


**Figura 9:** Forma da onda do vibrato, flautista 13, nota Fá3, gráfico de frequência x tempo.



**Figura 10:** Forma da onda do vibrato, flautista 13, nota Fá5, gráfico de frequência x tempo.

Na análise dos gráficos, começamos a observar semelhanças na forma da onda do vibrato de alguns flautistas. Nas Figuras 9 e 10, por exemplo, podemos notar que o topo da onda se apresenta com uma forma arredondada enquanto que a base tem um formato triangular. No entanto, nas Figuras 11 e 12 que mostraremos a seguir, observamos algumas falhas na curva de  $F^\circ$  gerada pelo programa *Overtone Analyzer*. Com isso, começamos a repensar sobre a escolha de nossa ferramenta tecnológica.



**Figura 11:** Falhas do programa OvertoneAnalyser, gráfico de frequência x tempo.



**Figura 12:** Falhas do programa OvertoneAnalyser, gráfico de frequência x tempo.

Ao notar que as falhas evidenciadas pelas setas amarelas nas figuras anteriores se repetiam com certa frequência, começamos a pensar que isso poderia comprometer a análise dos dados de nossa pesquisa. Com isso, buscamos o auxílio de alguns professores dos cursos de Engenharia Eletrônica e Sonologia da UFMG, que nos apresentaram o *software* PRAAT.

O PRAAT foi criado pelos pesquisadores Paul Boersma e David Weenink do Instituto de Ciências Fonéticas da Universidade de Amsterdã. Esse *software* é uma

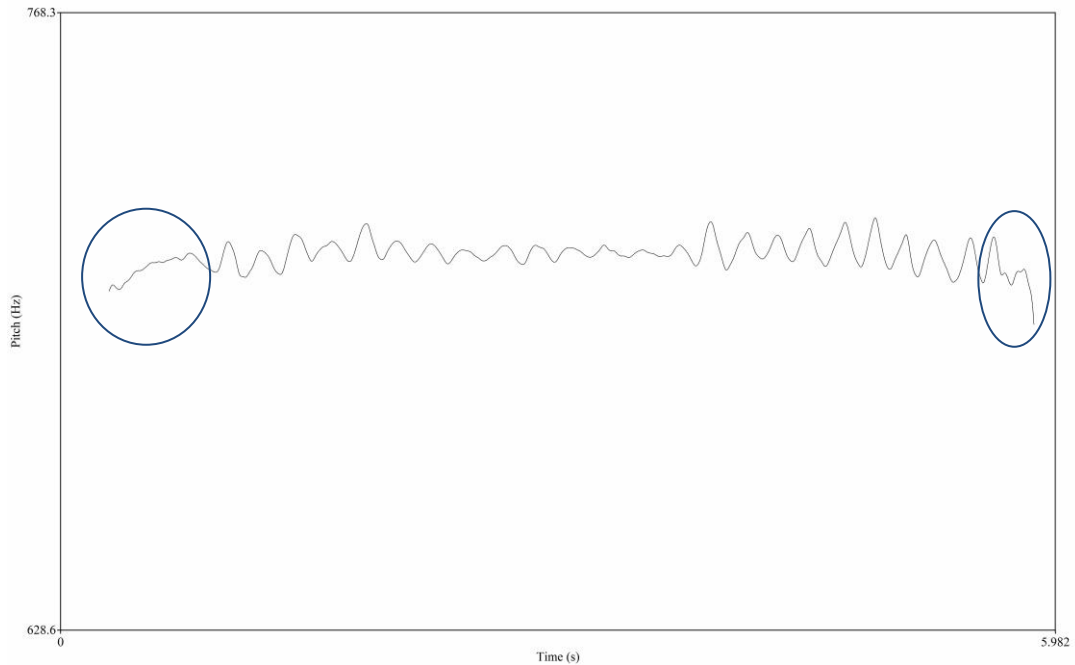
ferramenta originalmente desenvolvida para a análise da fala, mas também pode ser utilizado para analisar amostras de sons de instrumentos musicais. Para o contexto de nossa pesquisa, precisávamos de uma ferramenta que nos desse o contorno da frequência fundamental das amostras de sons com vibrato. O PRAAT é muito eficiente nesse sentido, pois calcula a frequência fundamental com bastante precisão. O algoritmo que viabiliza esse tipo de informação foi desenvolvido pelo próprio criador do *software*, Paul Boersma.

Além disso, foi preciso executar um *script*, desenvolvido por RODRIGUES (2014), para facilitar os cálculos que geram o contorno da flutuação de frequência do vibrato. Esse *script* pode ser consultado no Anexo 1 do presente trabalho. Em sua pesquisa, Rodrigues também nos informa que o algoritmo do PRAAT não calcula a frequência fundamental através das variações de harmônicos mais altos e sim através das variações de vibrações mais graves. Em termos técnicos, isso significa que o PRAAT não se baseia na transformada de Fourier para o cálculo da frequência fundamental e sim em uma representação no domínio da função de autocorrelação (*lag domain*). Além disso, o autor explica as etapas do processo de extração da curva de  $F^\circ$  feita pelo *software* que será apresentada a seguir:

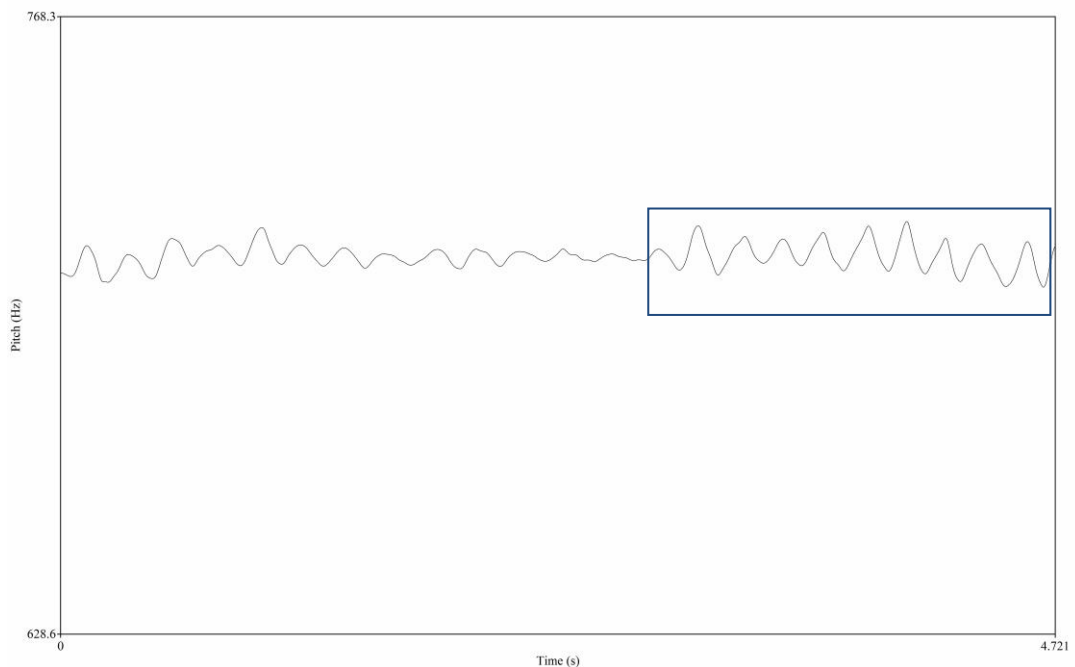
- Fornecimento da frequência fundamental nominal da nota gravada: este valor é utilizado no cálculo da curva de  $F^\circ$ ;
- Normalização do áudio (pelo valor de pico);
- Cálculo do envelope de amplitude e determinação da faixa dinâmica útil;
- Filtragem passa-banda do som normalizado;
- Cálculo da curva de  $F^\circ$  e filtragem da curva de  $F^\circ$  (passa-baixa a 20 Hz);
- Desenho do gráfico da curva de  $F^\circ$ .

Com a utilização do *script* citado anteriormente, começamos a gerar os gráficos referentes à forma da onda do vibrato das amostras de nossa pesquisa. Em seguida, eliminamos o início e o final de cada nota, ou seja, o ataque e o decaimento do som, preservando apenas a parte estável. Além disso, foi preciso determinar a duração das amostras para que a configuração de cada gráfico permanecesse a mesma. Sendo assim, um último recorte foi feito, selecionando os dois segundos mais estáveis do vibrato de cada participante. O critério estabelecido para a seleção

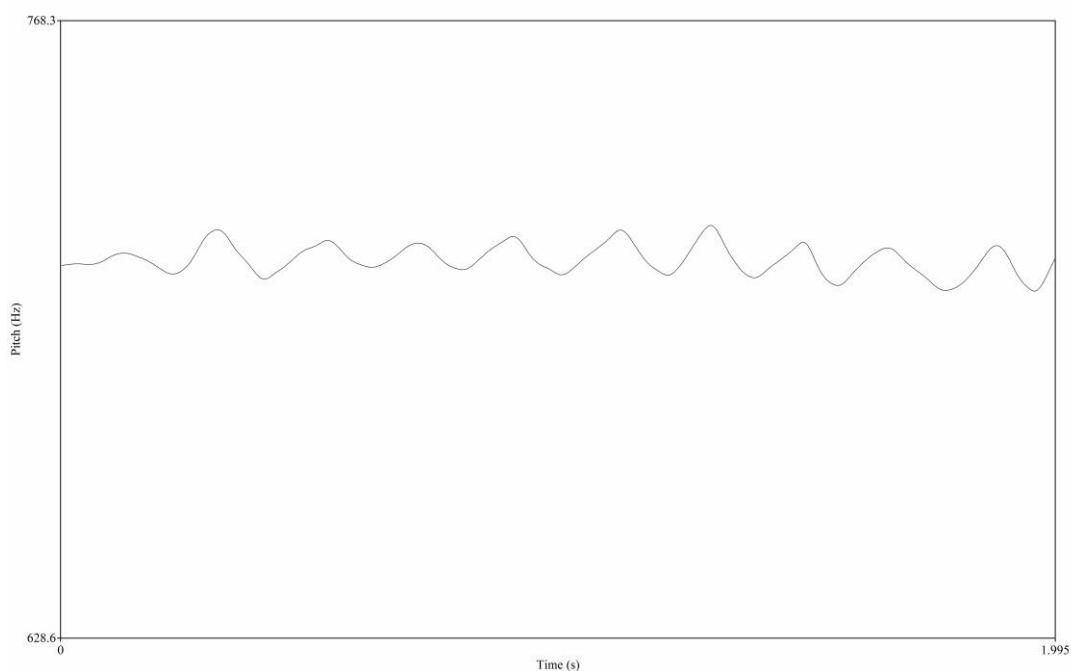
dos trechos estáveis foi a análise visual dos gráficos. As Figuras 13, 14 e 15 ilustram os recortes feitos nas amostras de nossa pesquisa.



**Figura 13:** Círculos indicando as partes eliminadas das amostras, gráfico de frequência x tempo.



**Figura 14:** Retângulo indicando os dois segundos selecionados da amostra, gráfico de frequência x tempo.



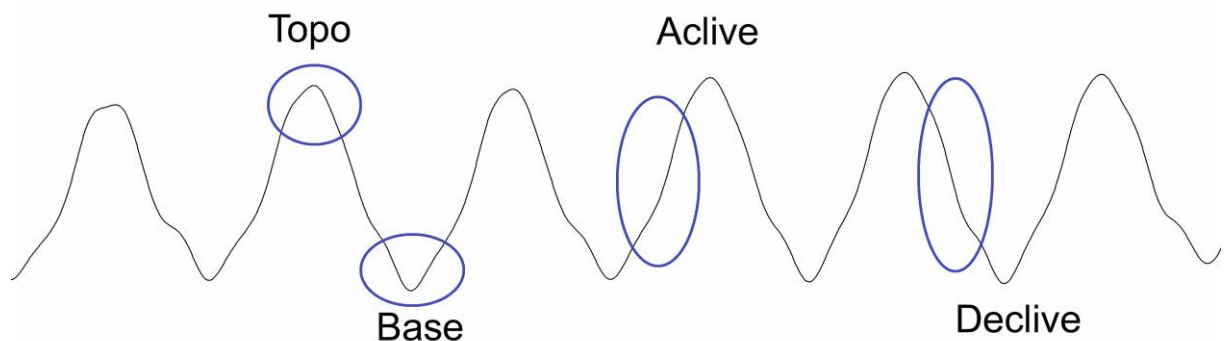
**Figura 15:** Modelo definitivo de representação das amostras, gráfico de frequência x tempo.

A seguir, apresentaremos o capítulo referente aos resultados de nossa pesquisa. Os gráficos gerados pelo *software* PRAAT estarão disponíveis, assim como as observações feitas para cada conjunto de amostras coletadas por este trabalho.

## **4 RESULTADOS**

## 4 RESULTADOS

Os gráficos obtidos através dos procedimentos descritos na metodologia de nossa pesquisa serão apresentados neste capítulo. Para facilitar a apresentação das características das ondas do vibrato de cada amostra, foi necessário estabelecer alguns termos descritivos, tais como *topo*, *base*, *aclive* e *declive*. A Figura 16 ilustra essas definições.

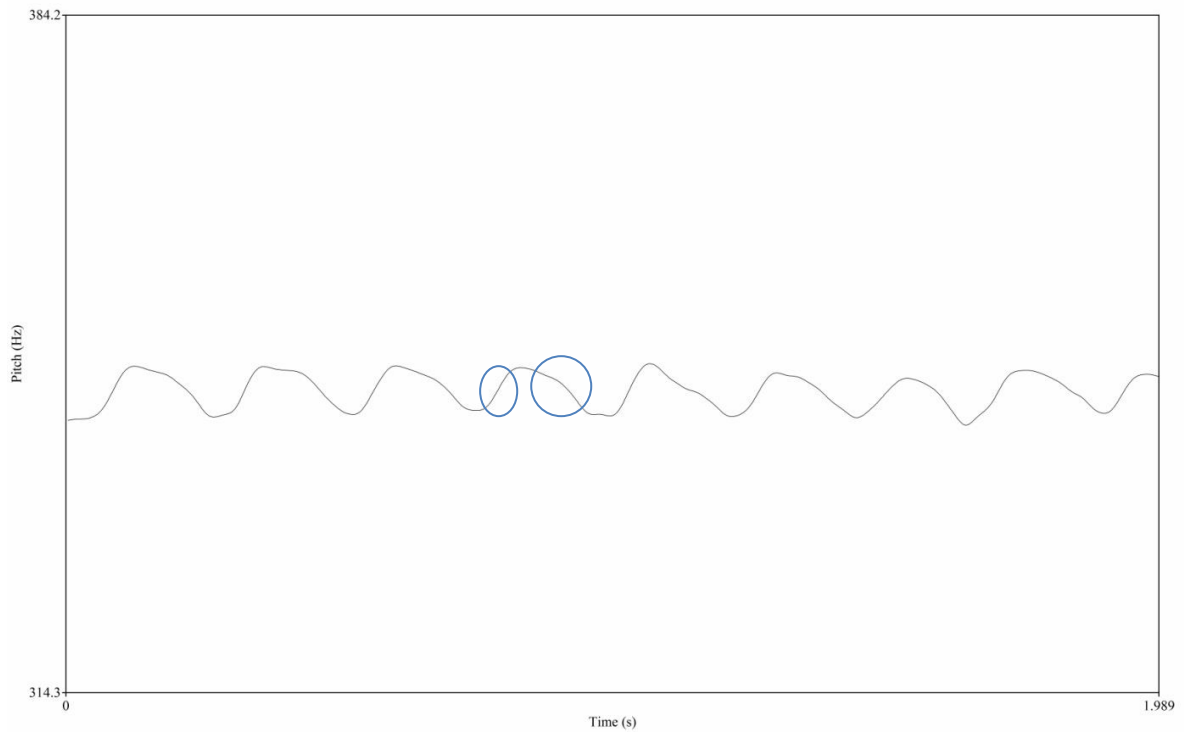


**Figura 16:** Termos descritivos para a forma da onda do vibrato.

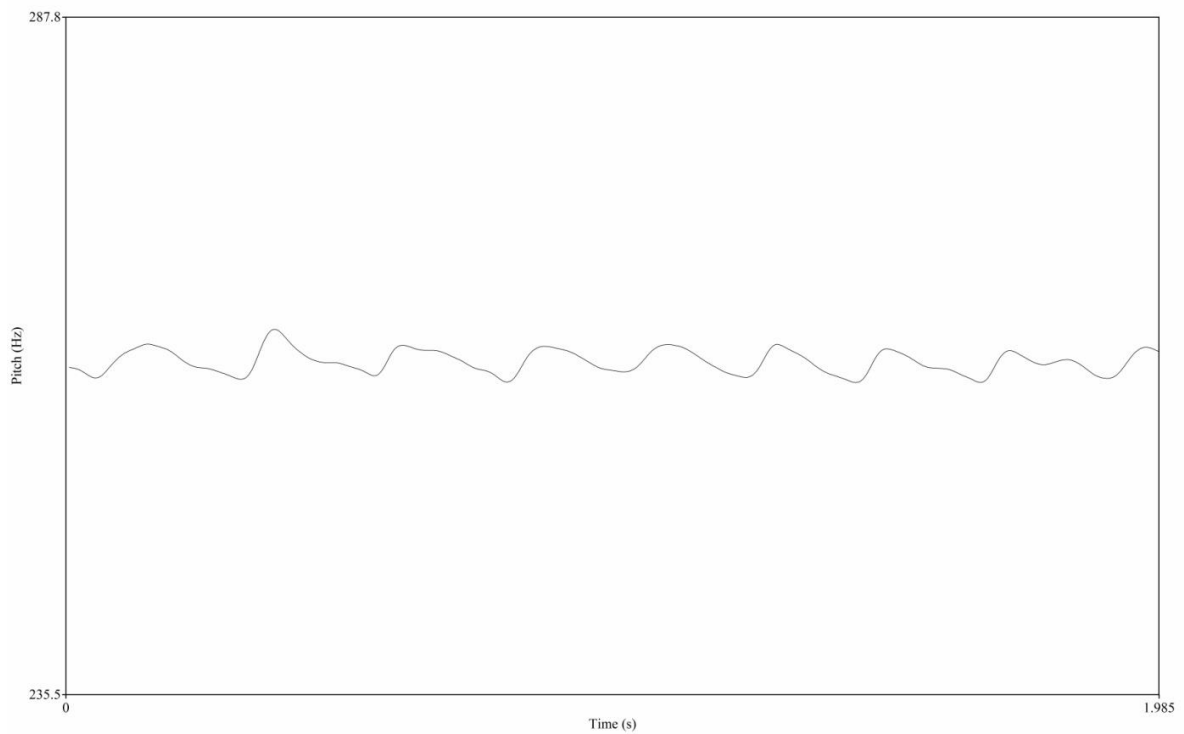
A forma da onda do vibrato dos flautistas participantes foi classificada com base nas características de cada um dos termos descritivos presentes na Figura 16. Além disso, utilizamos como referência os três padrões básicos de contorno da modulação de frequência empregados por Horii: senoidal, triangular e trapezoidal.

Assim sendo, de acordo com a análise visual dos gráficos, observamos as tendências de *aclive mais curto que o declive*, *aclive mais longo que o declive*, *picos na base da onda*, *senoidal*, *triangular* e *trapezoidal*. Aqueles gráficos que apresentaram irregularidades ou que no decorrer do tempo selecionado de dois segundos mostraram alguma semelhança com as tendências descritas, foram classificadas como: *Irregular*, *pouco irregular* e *pequena tendência*.

**Flautista 1 - registro grave: aclave mais curto que o declive.**

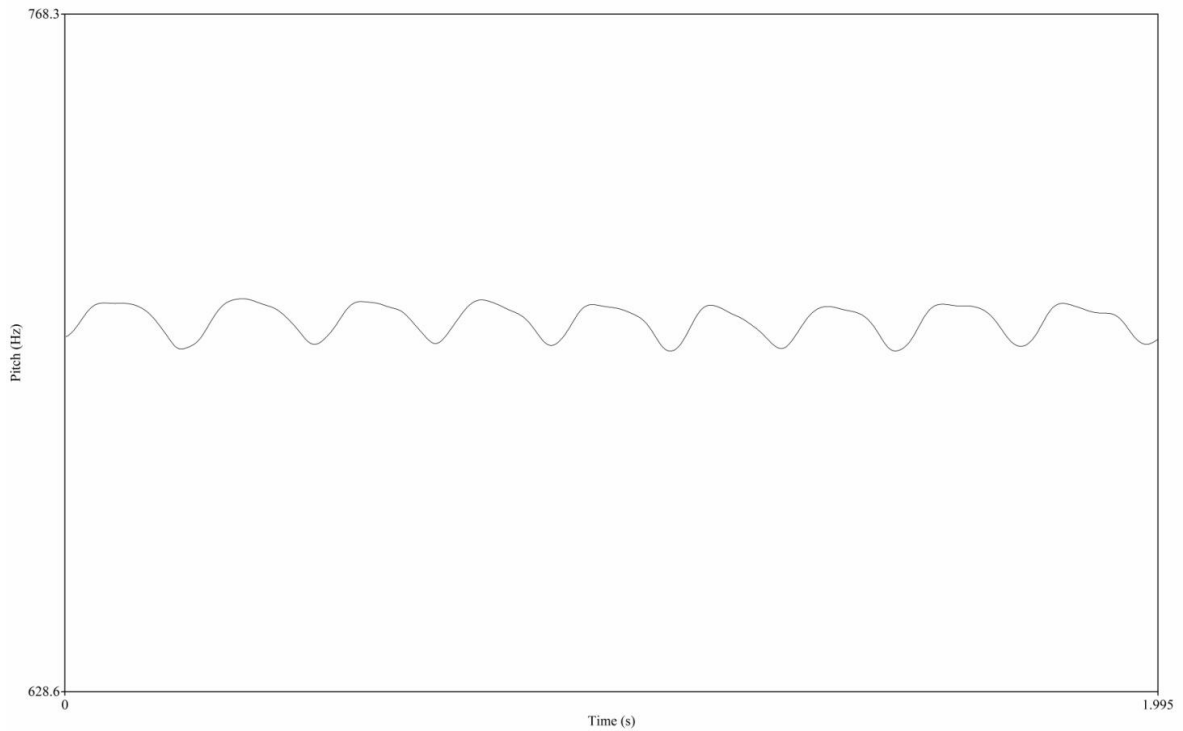


**Figura 17:** Flautista 1 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

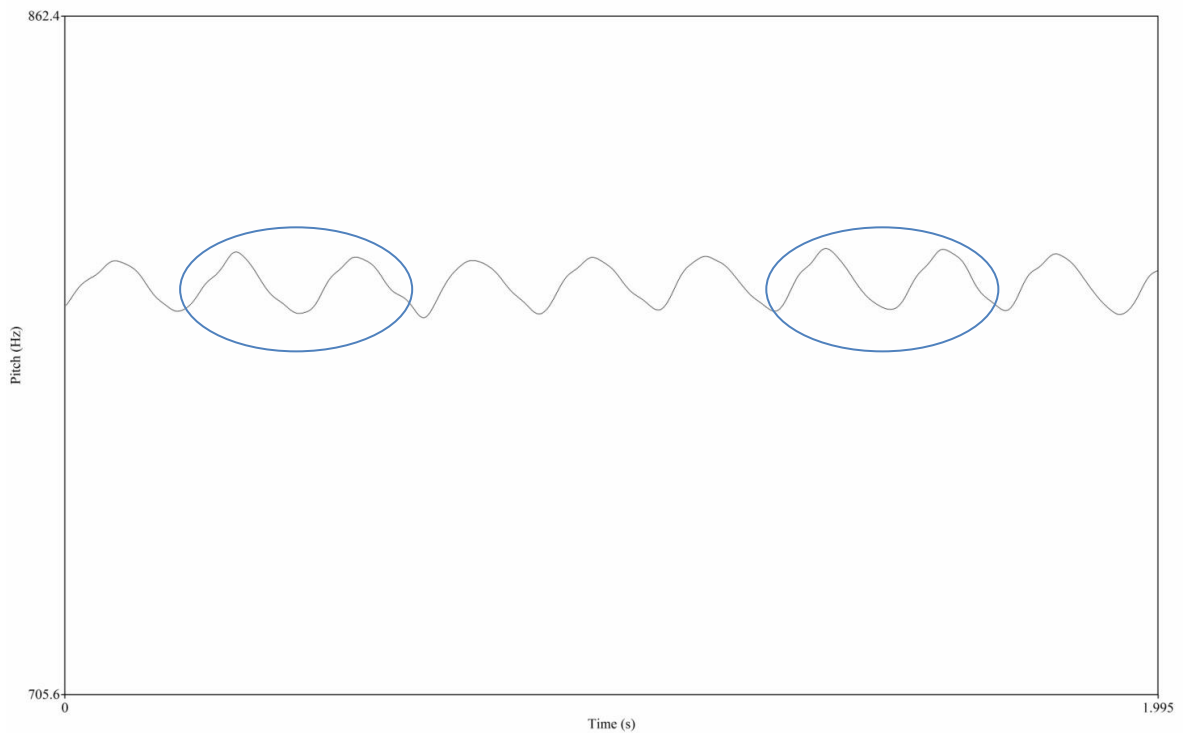


**Figura 18:** Flautista 1 - nota Dó 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 1 - registro médio:** aclave mais curto que o declive. Nota Sol 4 com pequena tendência triangular.

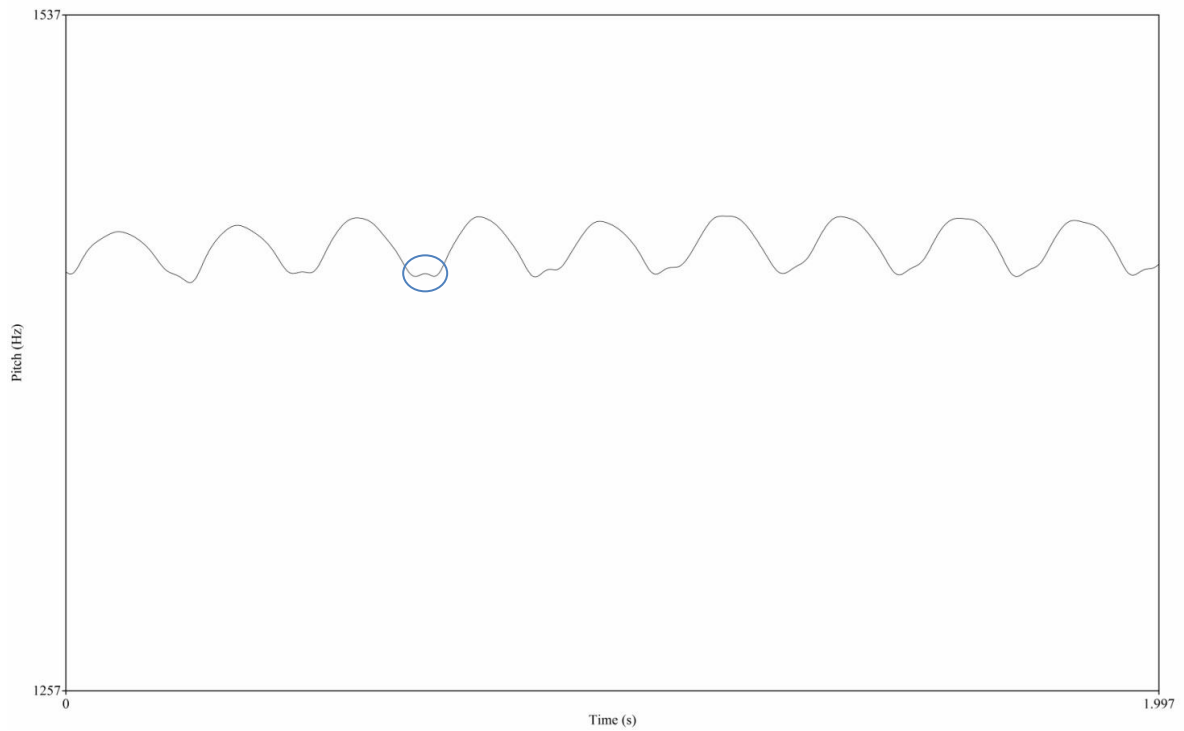


**Figura 19:** Flautista 1 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

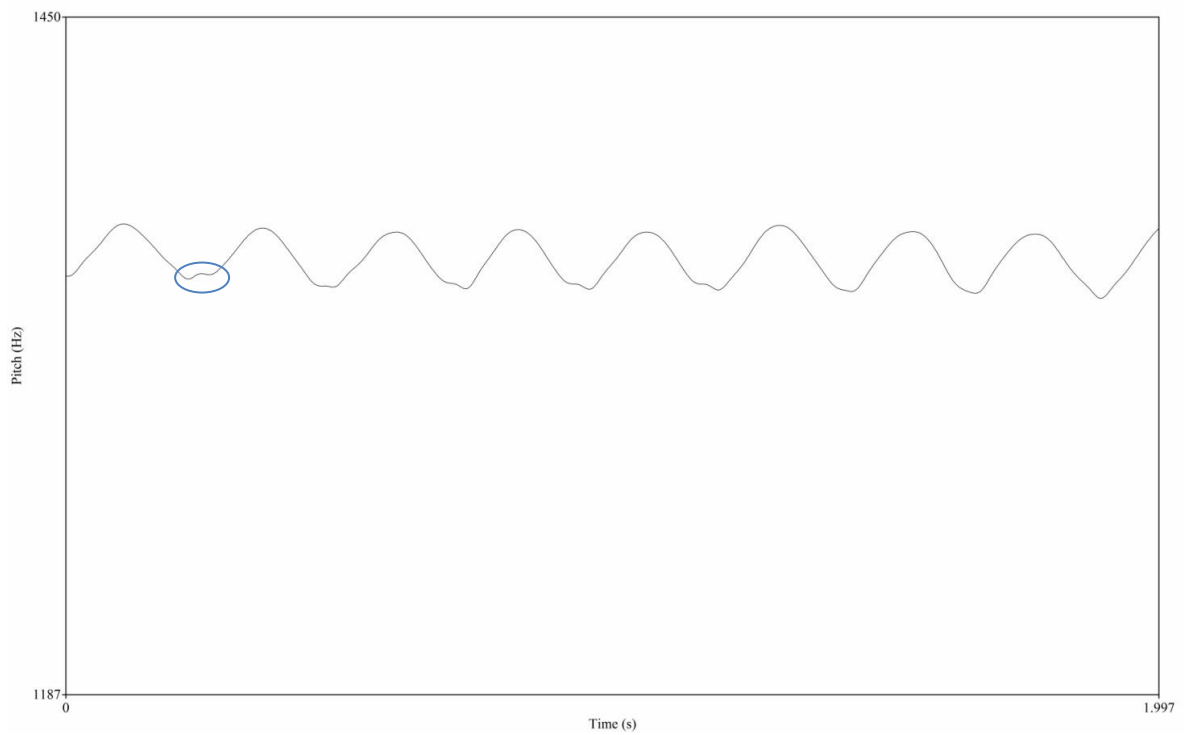


**Figura 20:** Flautista 1 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 1 - registro agudo:** pequenos picos na base da onda.

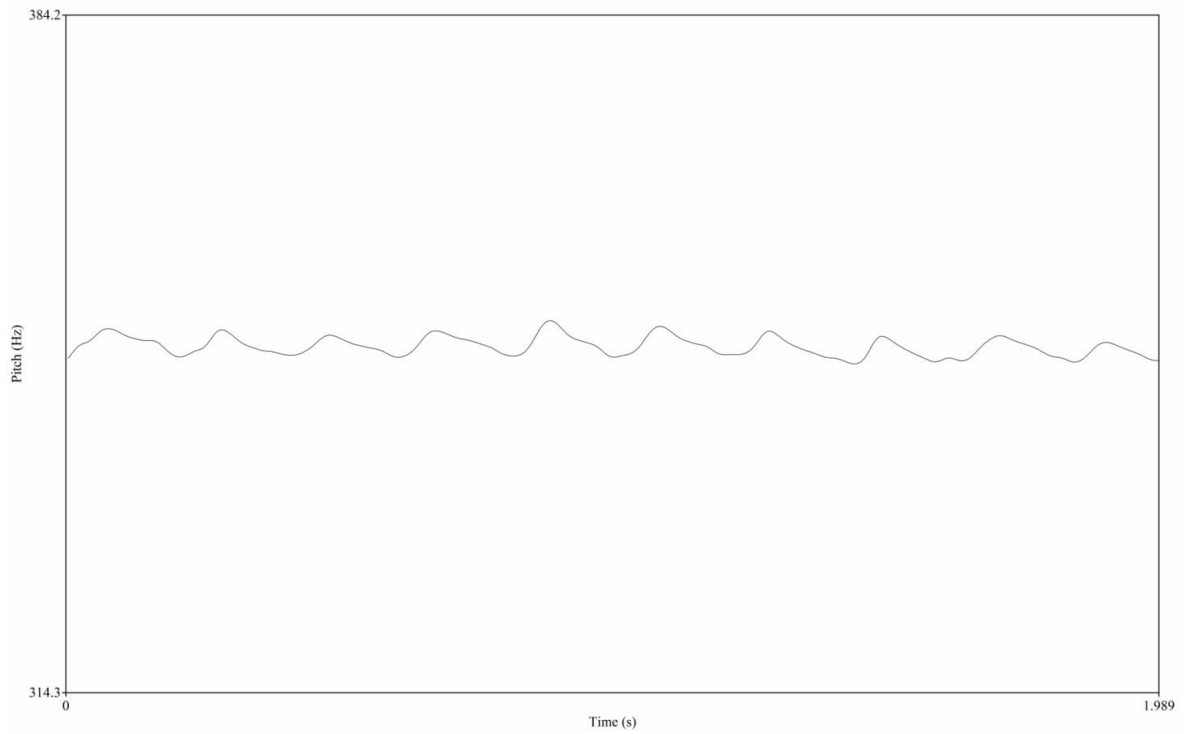


**Figura 21:** Flautista 1 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

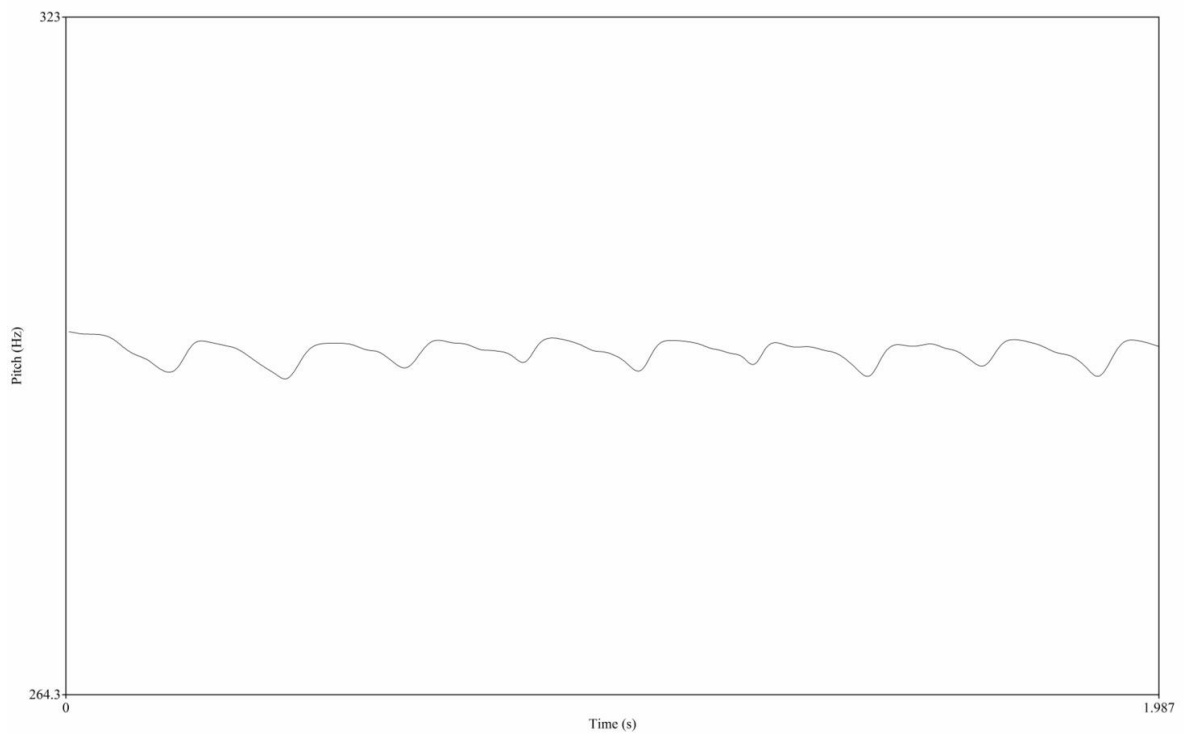


**Figura 22:** Flautista 1 - nota Mi 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 2 - registro grave: aclave mais curto que o declive.**

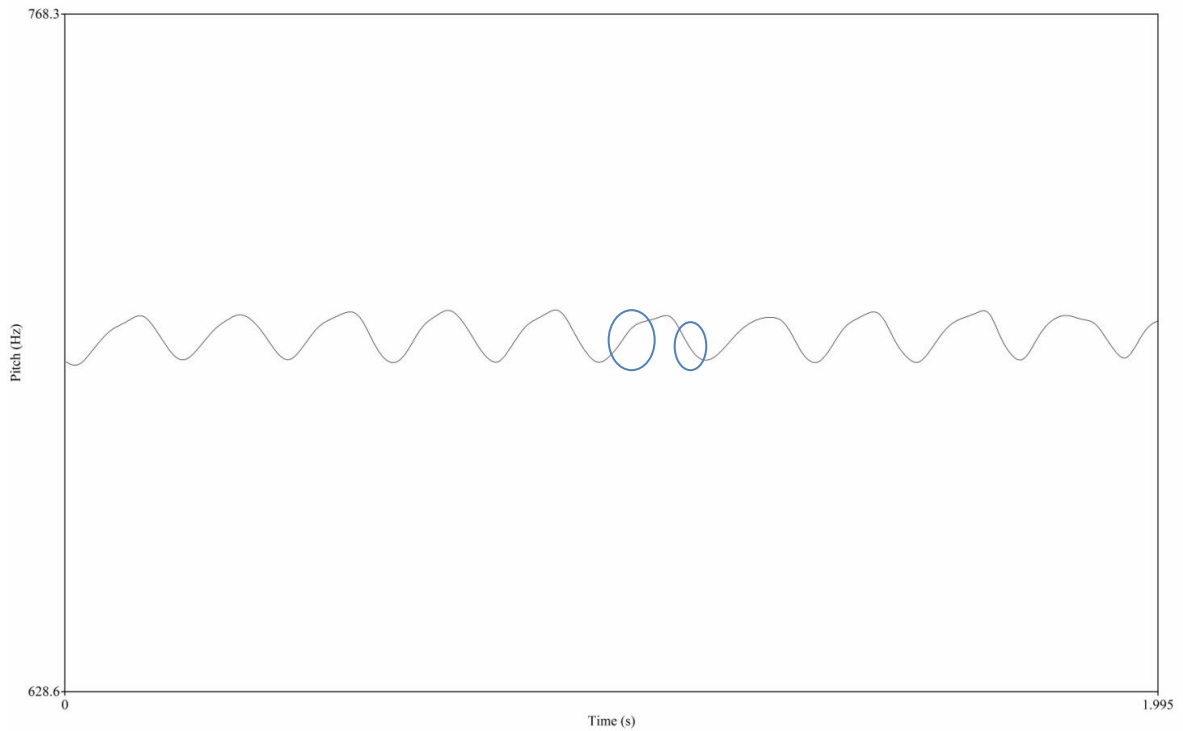


**Figura 23:** Flautista 2 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

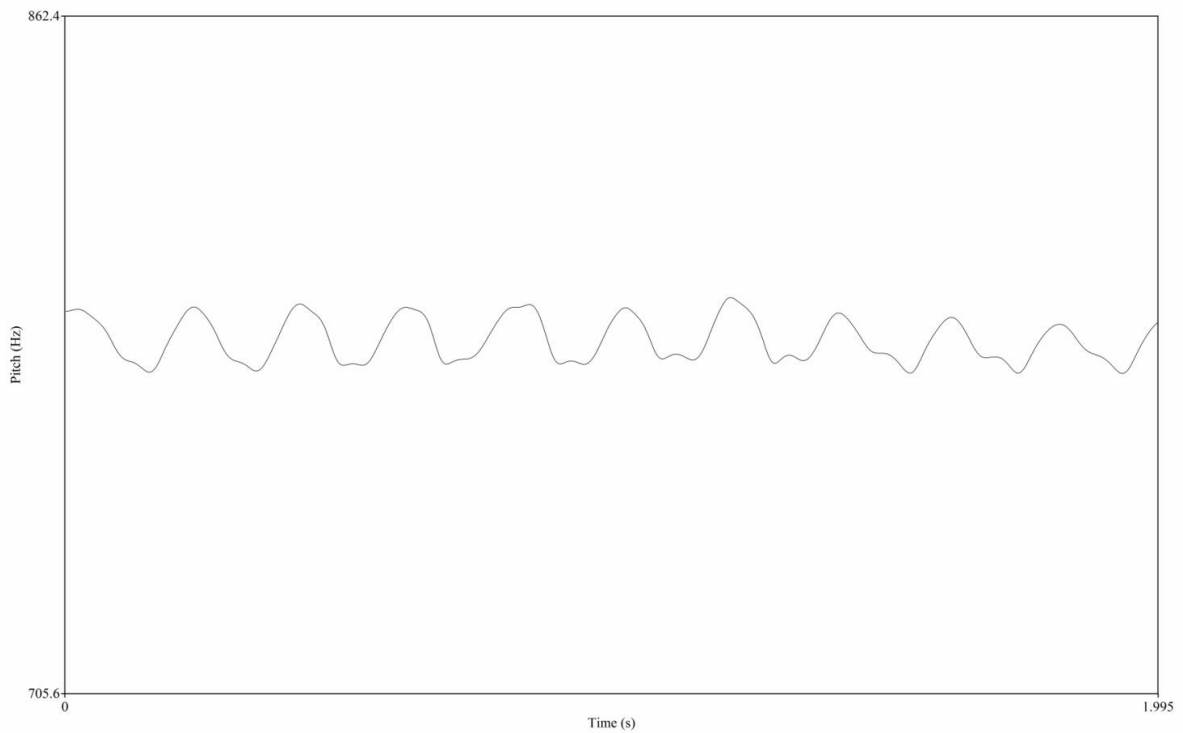


**Figura 24:** Flautista 2 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 2 - registro médio:** Fá 4 com a parte mais longa que o declive e Sol 4 com picos na base da onda.

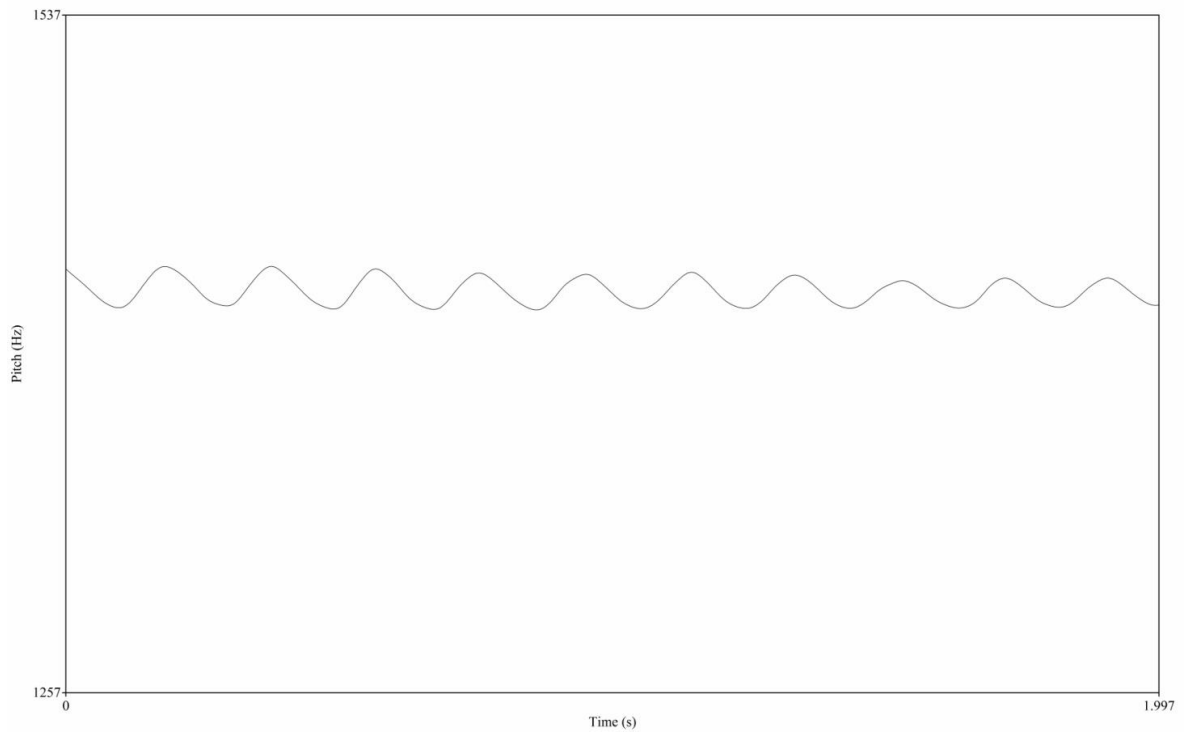


**Figura 25:** Flautista 2 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

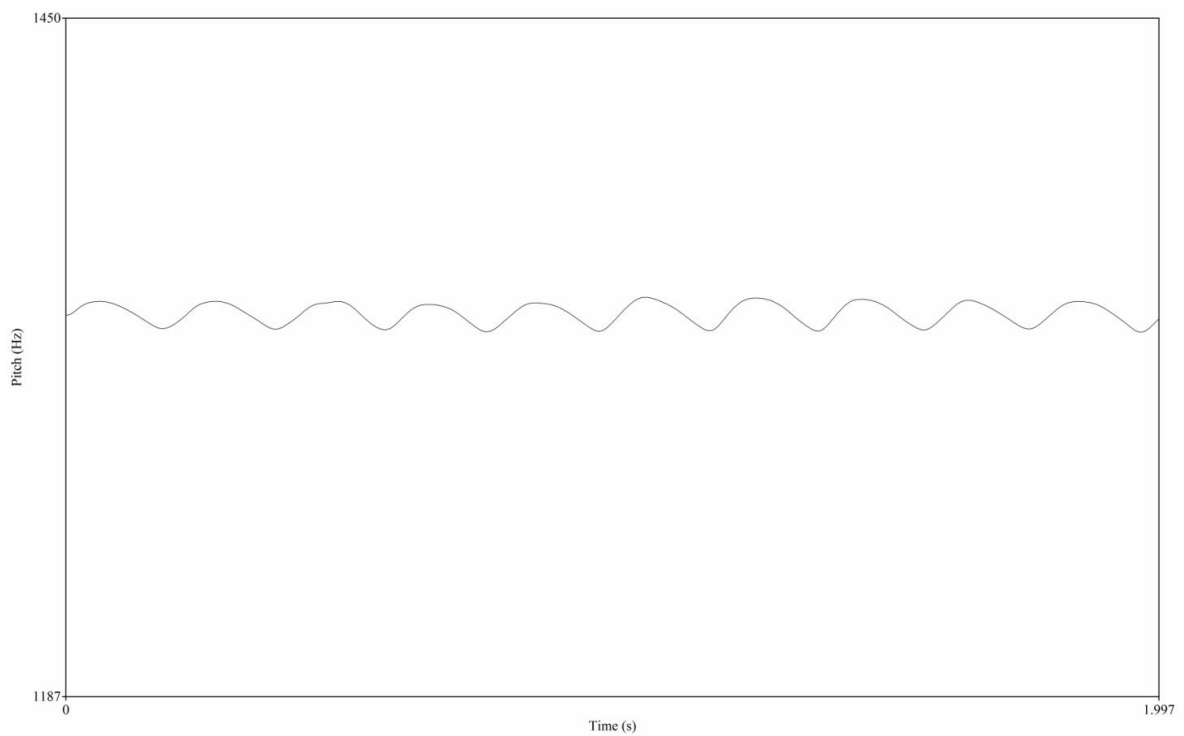


**Figura 26:** Flautista 2 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 2 - registro agudo: tendência senoidal.**

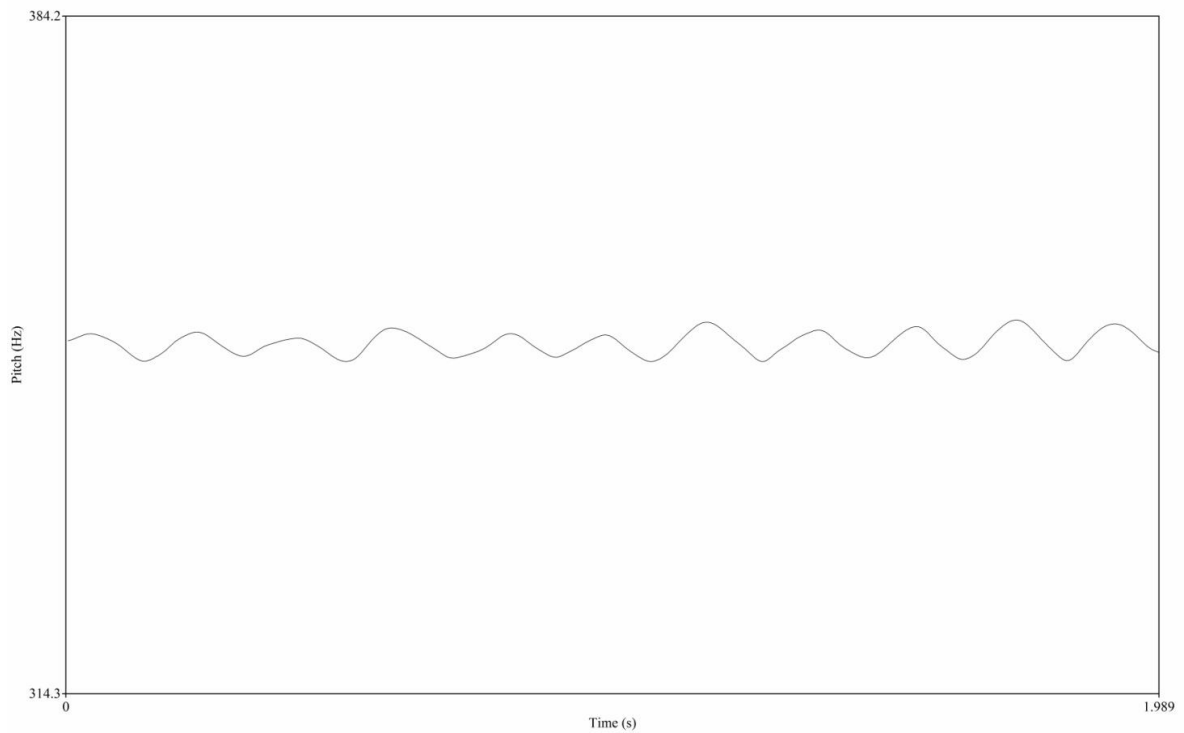


**Figura 27:** Flautista 2 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

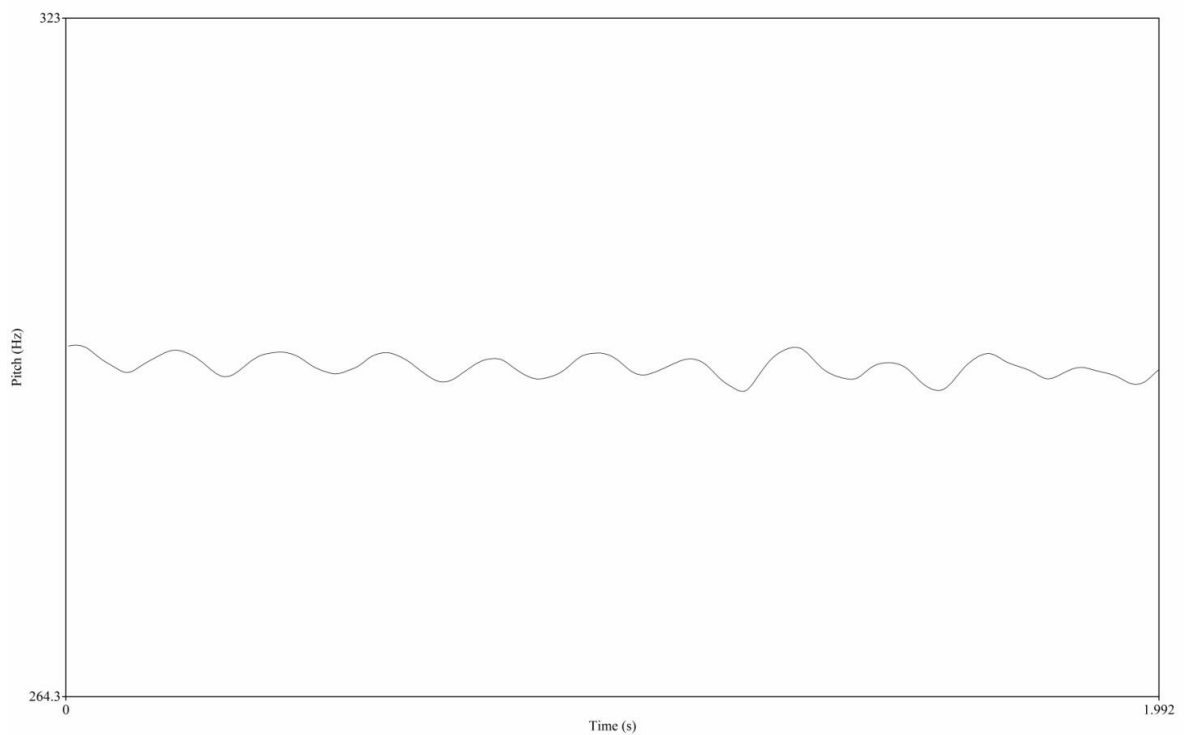


**Figura 28:** Flautista 2 - nota Mi 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 3 - registro grave:** um pouco irregular. Pequena tendência triangular na nota Fá 3 e pequena tendência senoidal na nota Ré 3.

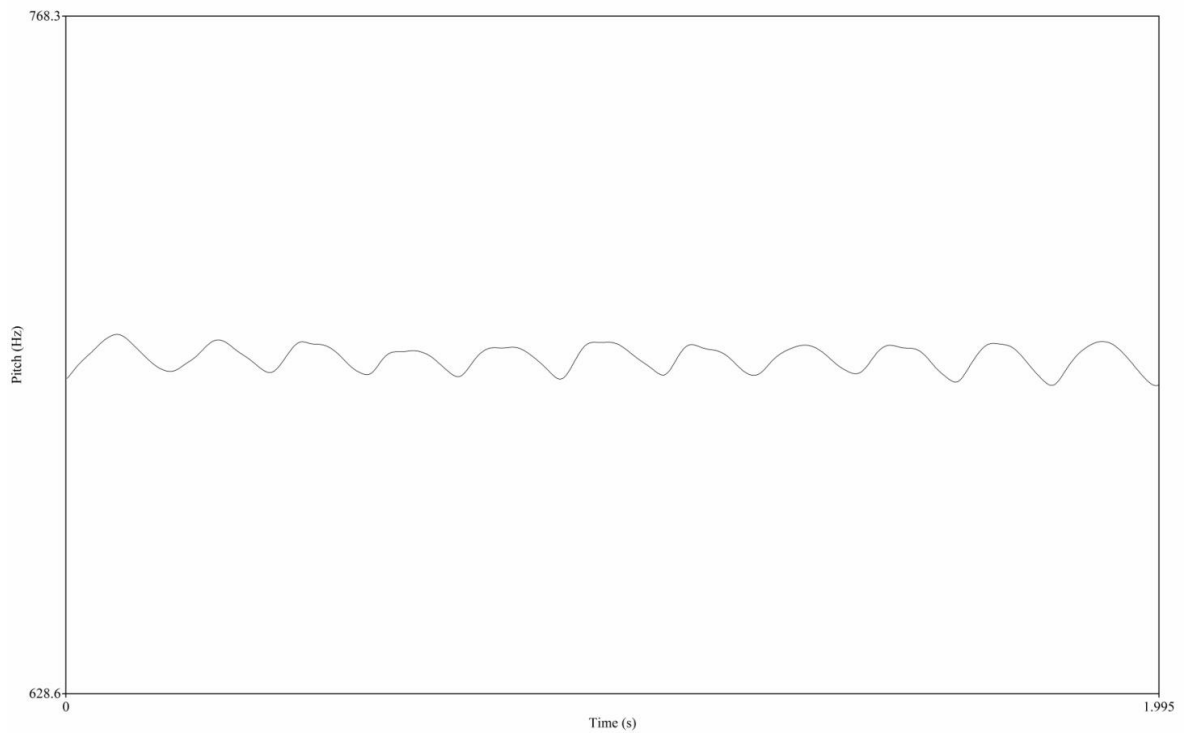


**Figura 29:** Flautista 3 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

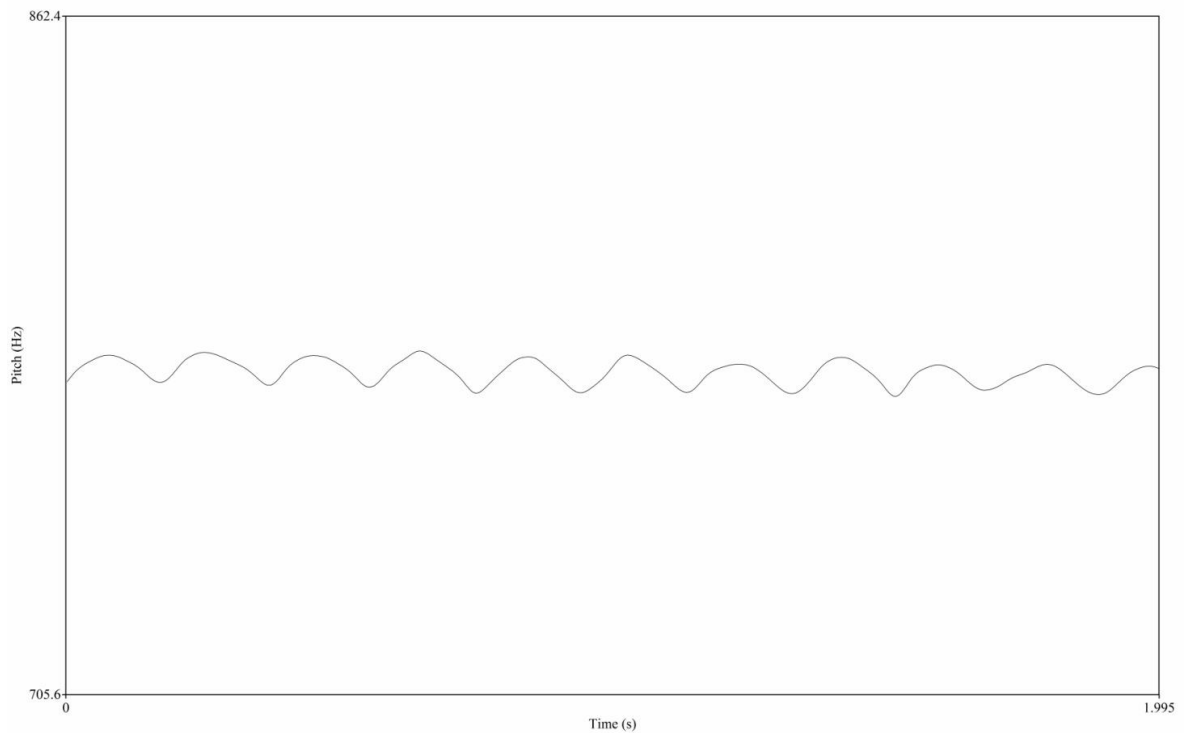


**Figura 30:** Flautista 3 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 3 - registro médio:** Fá 4 com a cive mais curto que o declive e Sol 4 um pouco irregular, algumas ondas triangulares e outras com o topo alongado.

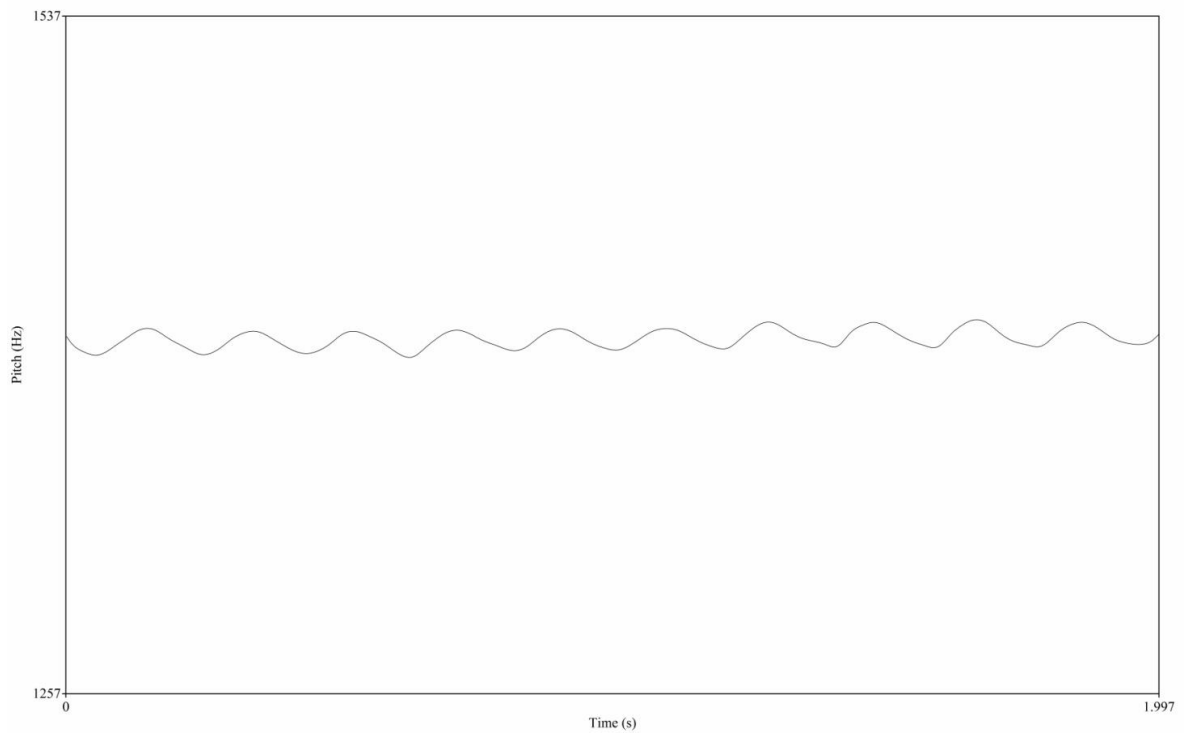


**Figura 31:** Flautista 3 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

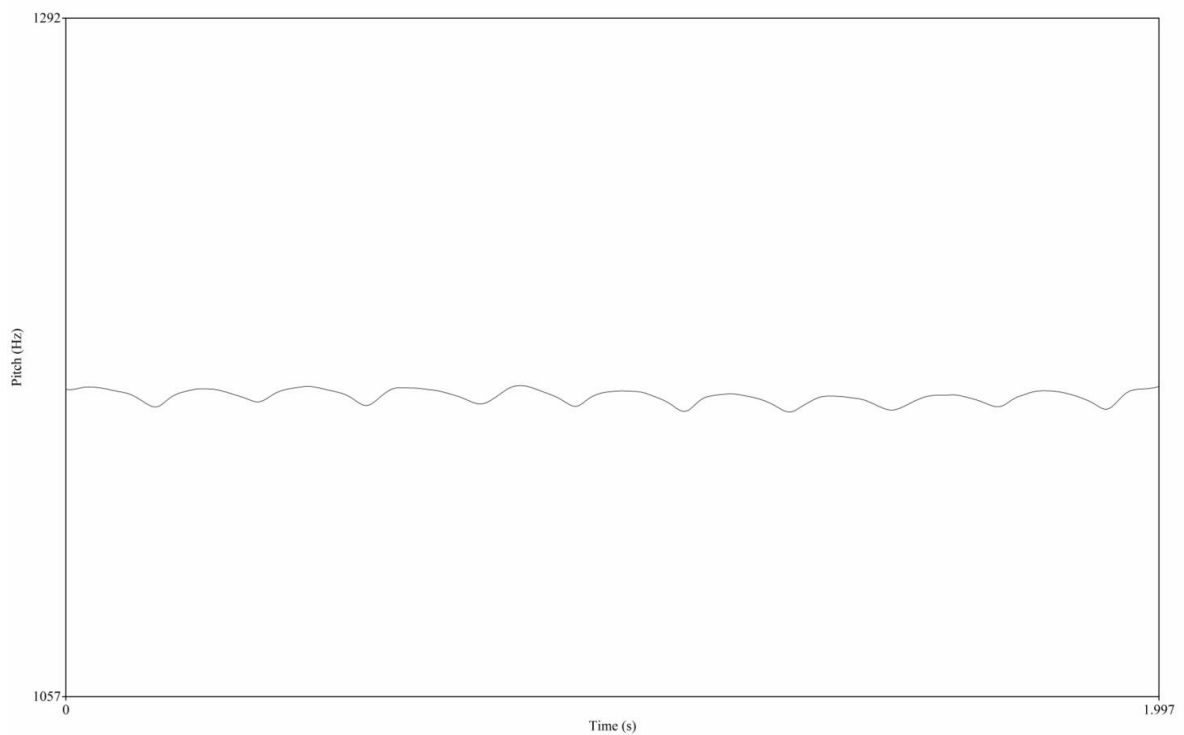


**Figura 32:** Flautista 3 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 3 - registro agudo:** Fá 5 com tendência senoidal e Ré 5 com o topo alongado (senoidal no topo e triangular na base).

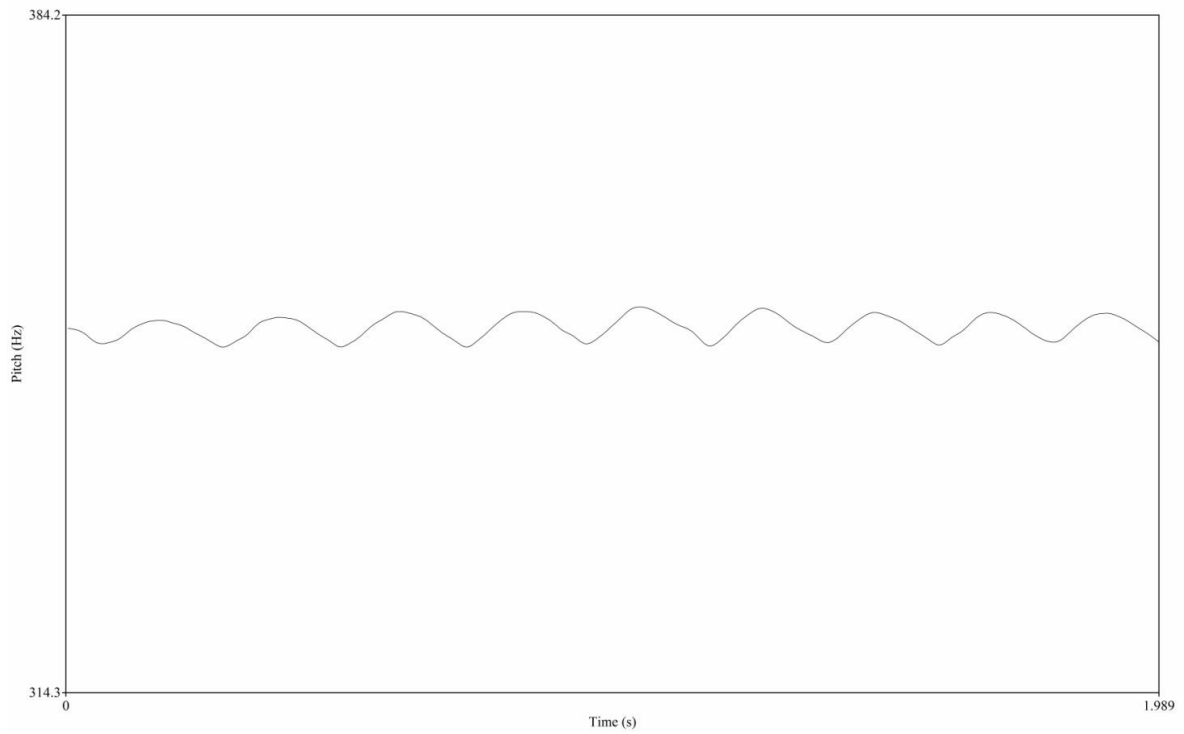


**Figura 33:** Flautista 3 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

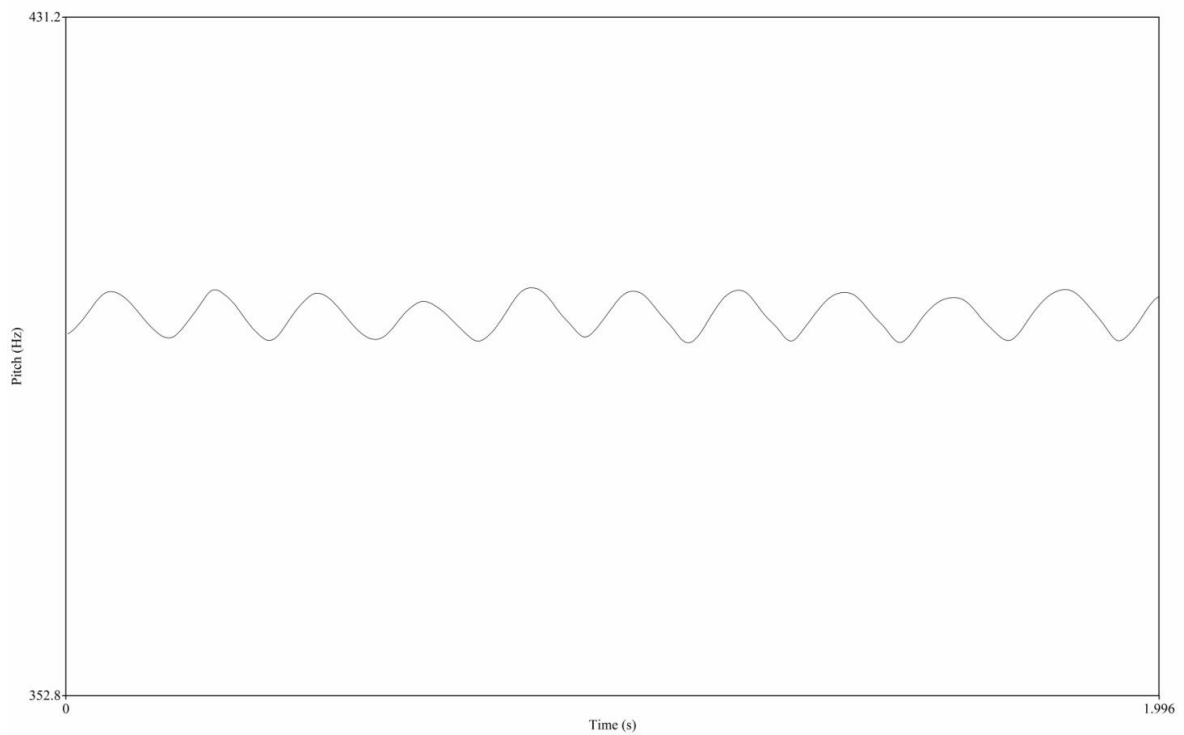


**Figura 34:** Flautista 3 - nota Ré 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 4 - registro grave:** um pouco irregular com tendência senoidal.

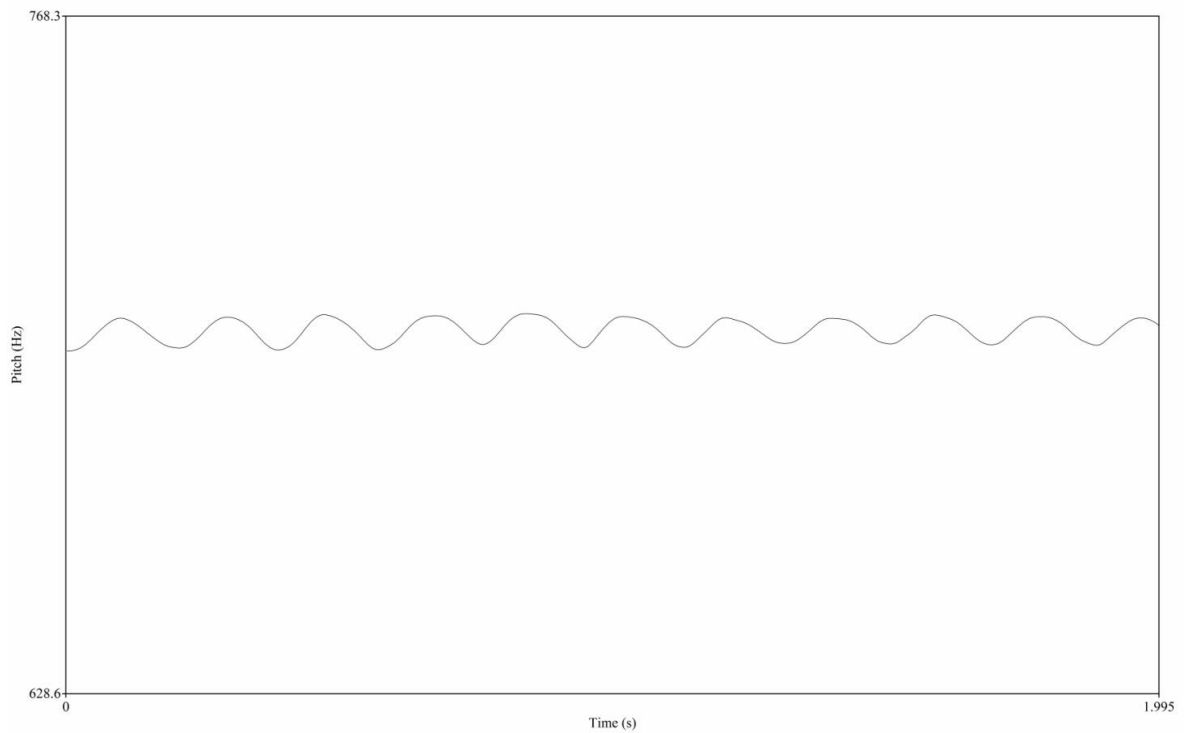


**Figura 35:** Flautista 4 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

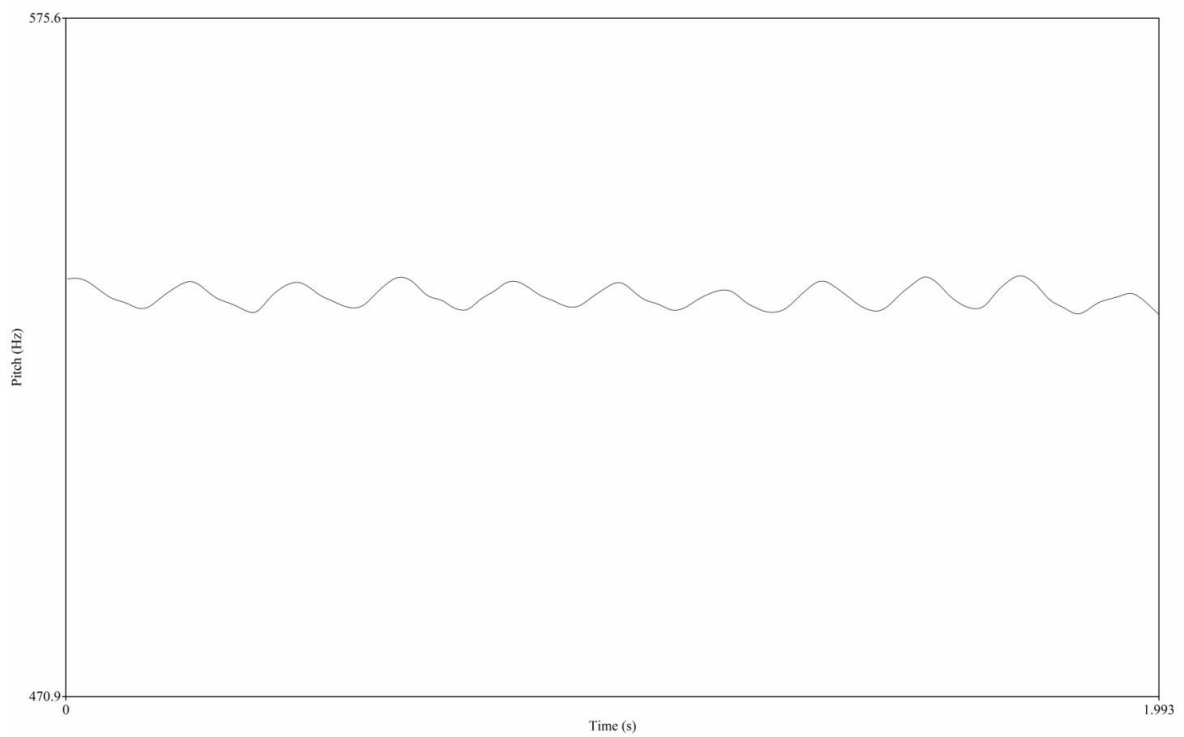


**Figura 36:** Flautista 4 - nota Sol 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 4 - registro médio:** Fá 4 com tendência senoidal e Dó 4 com tendência triangular.

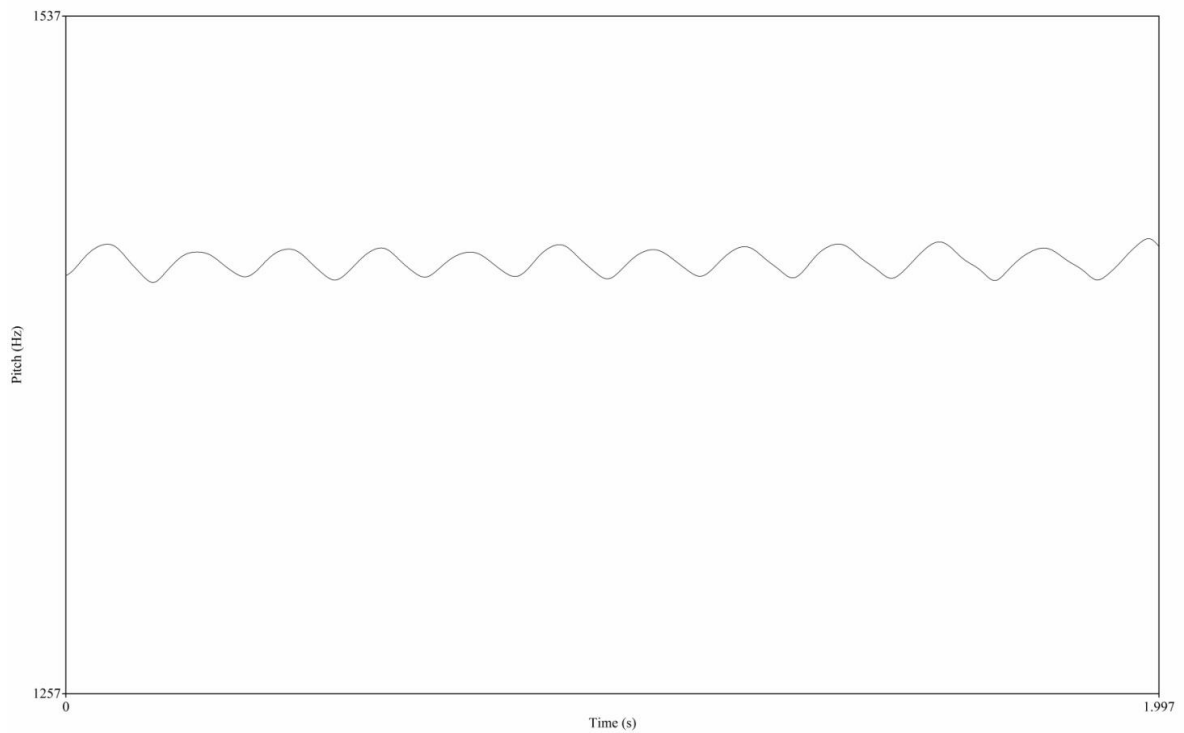


**Figura 37:** Flautista 4 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

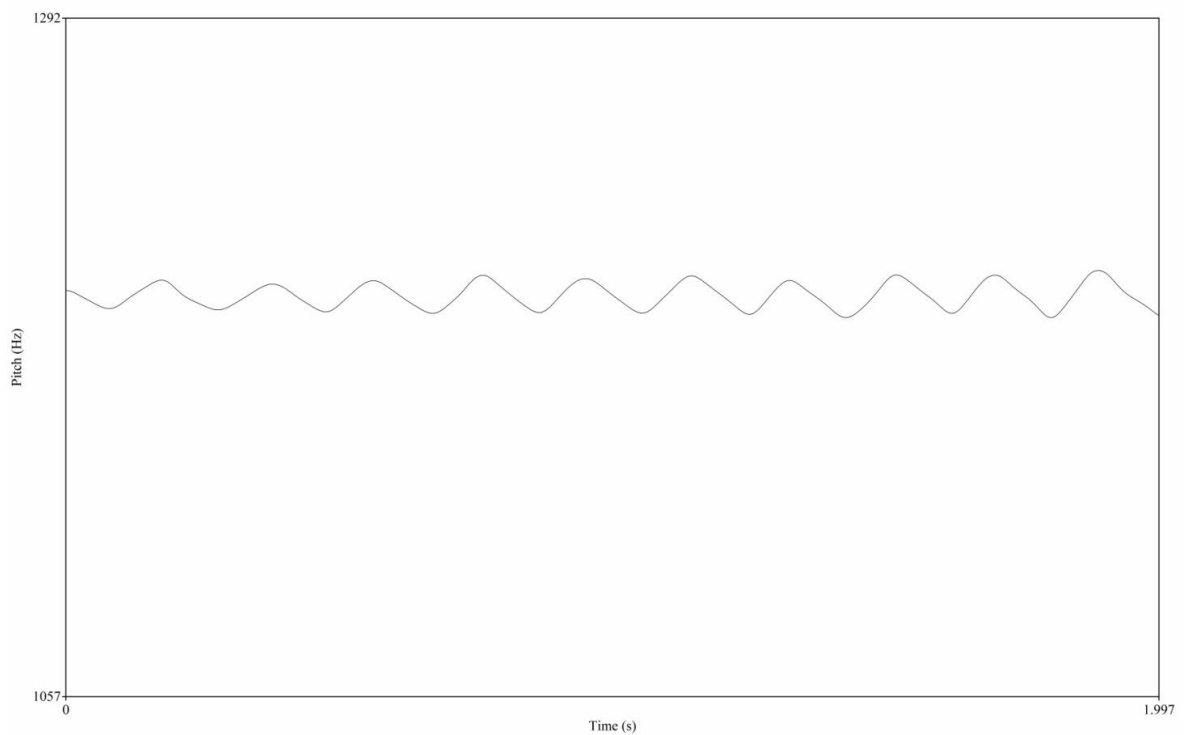


**Figura 38:** Flautista 4 - nota Dó 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 4 - registro agudo:** nota Fá 5 com tendência senoidal e nota Ré 5 com tendência triangular.

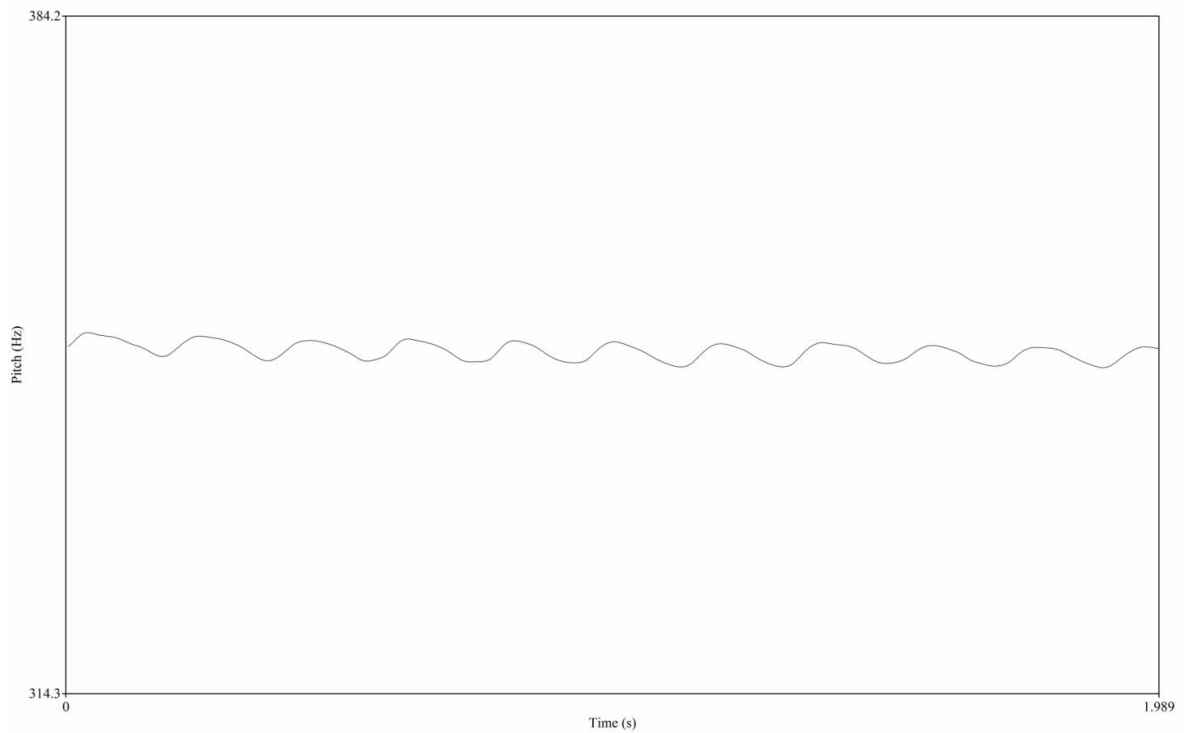


**Figura 39:** Flautista 4 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

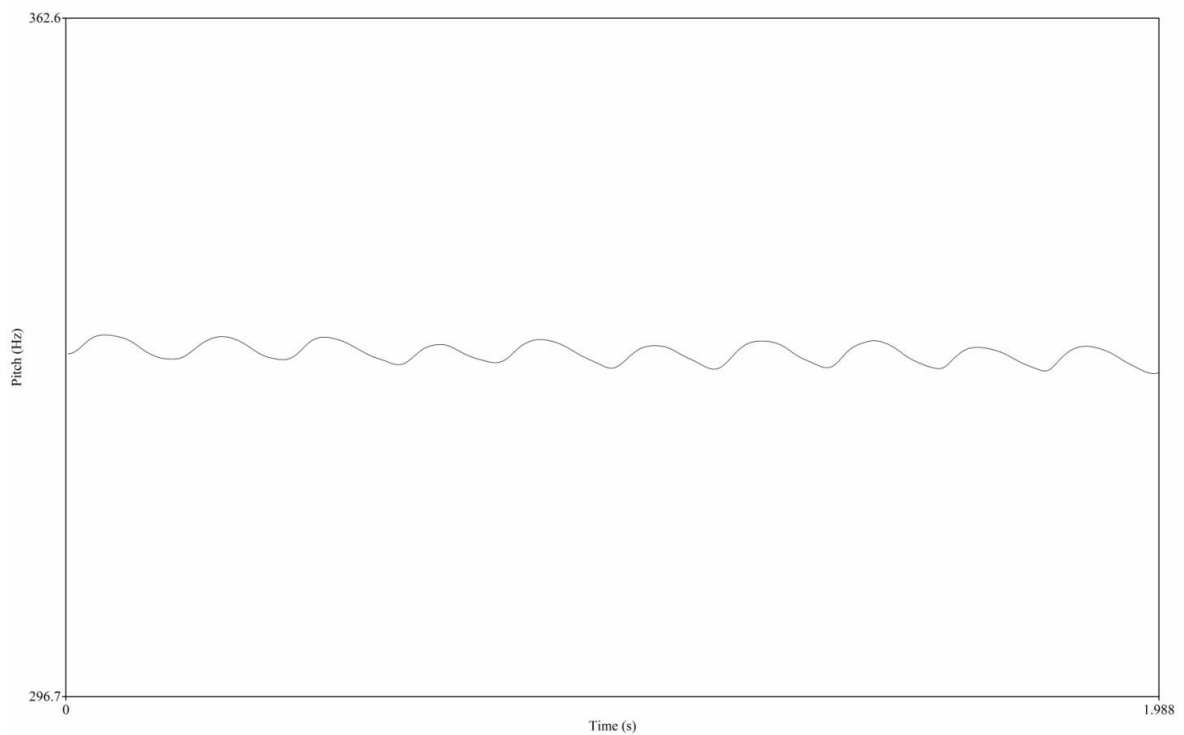


**Figura 40:** Flautista 4 - nota Ré 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 5 - registro grave:** aclave mais curto que o declive e pequena tendência senoidal.

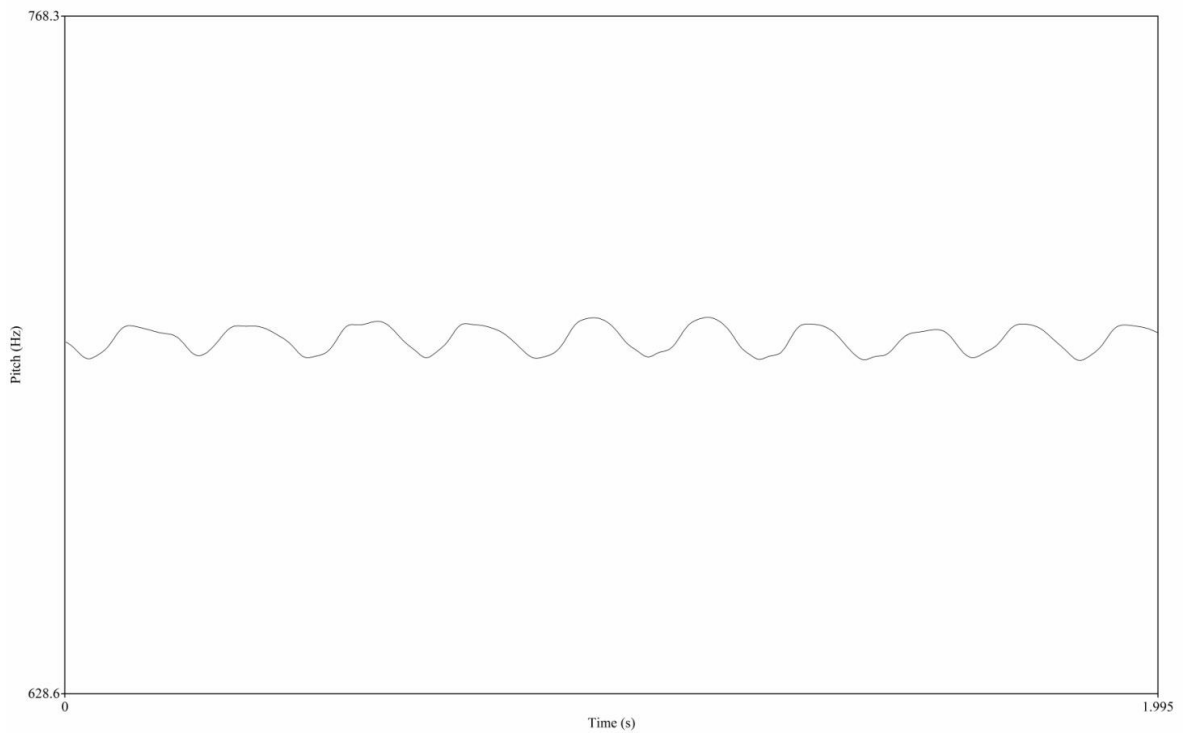


**Figura 41:** Flautista 5 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

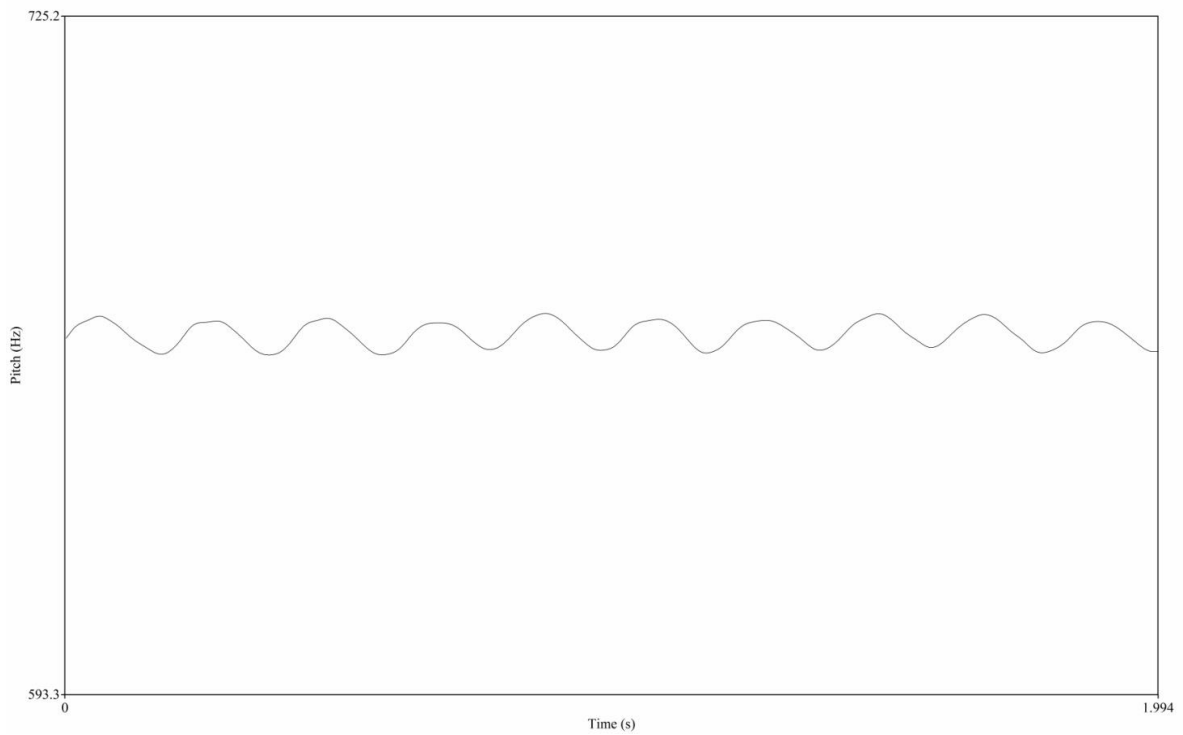


**Figura 42:** Flautista 5 - nota Mi 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 5 - registro médio:** Nota Fá 4 um pouco irregular e Mi 4 com tendência senoidal.

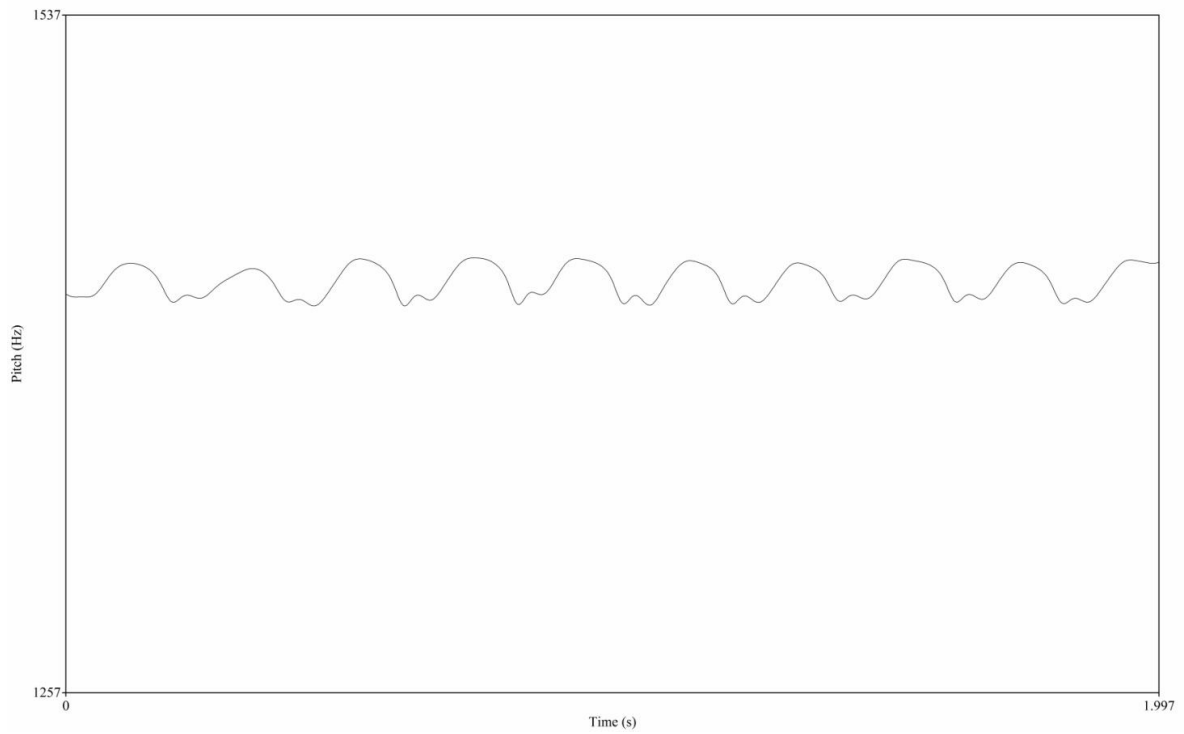


**Figura 43:** Flautista 5 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

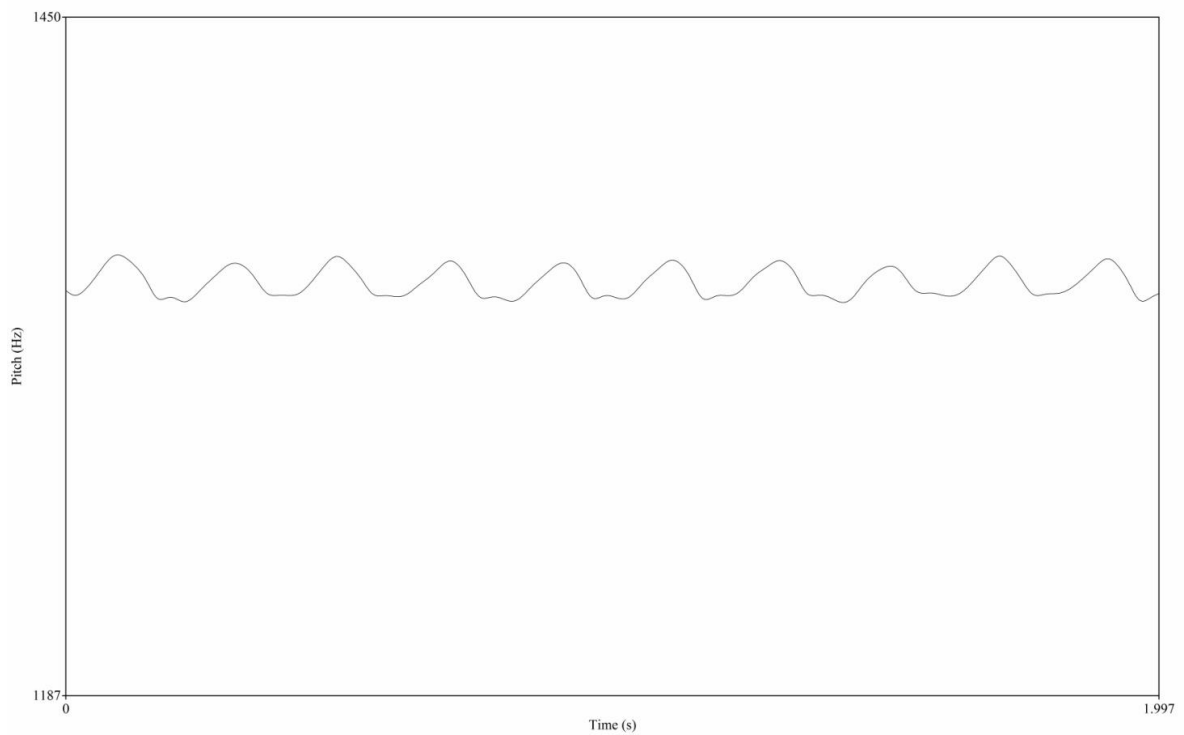


**Figura 44:** Flautista 5 - nota Mi 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 5 - registro agudo:** pequenos picos na base da onda.

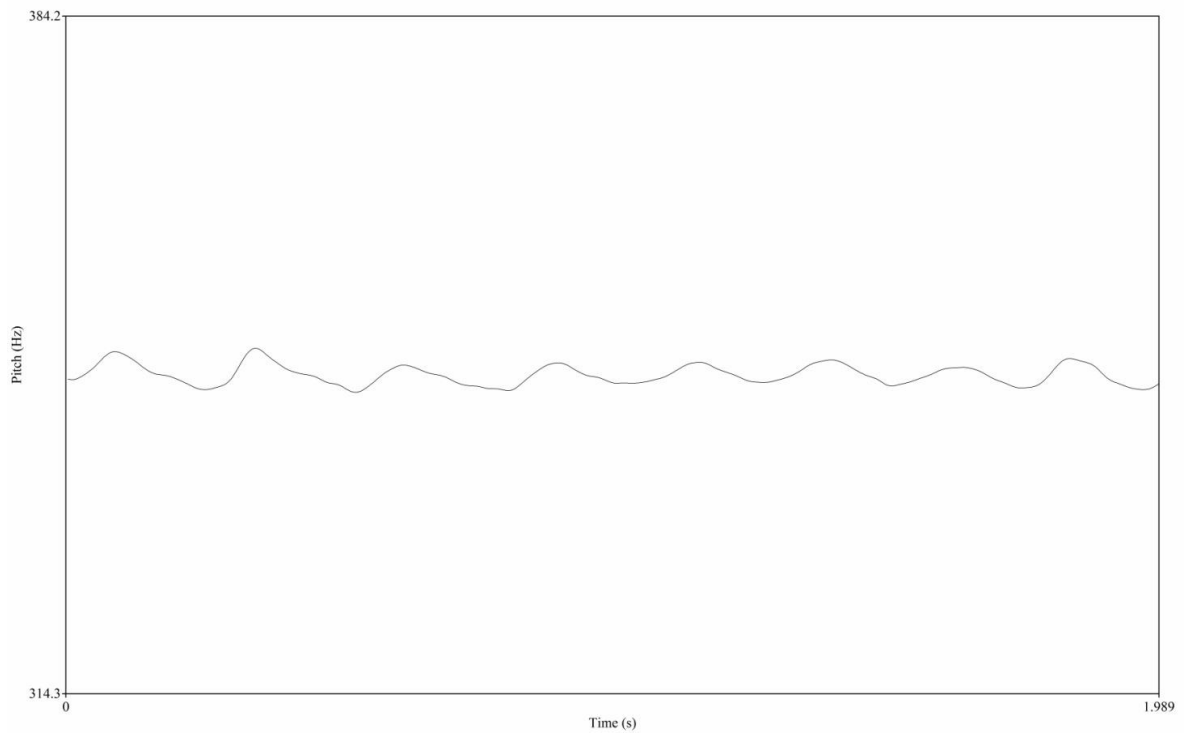


**Figura 45:** Flautista 5 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

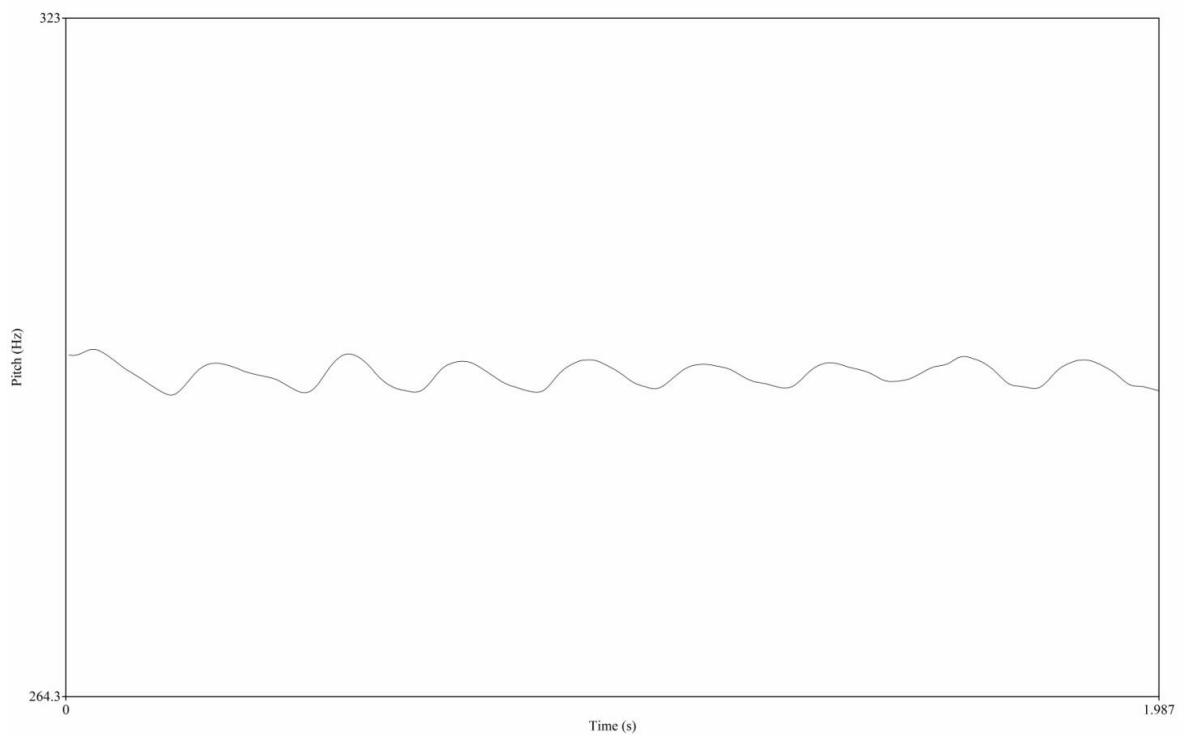


**Figura 46:** Flautista 5 - nota Mi 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 6 - registro grave:** um pouco irregular e com tendência de acentuar mais o curto que o declive.

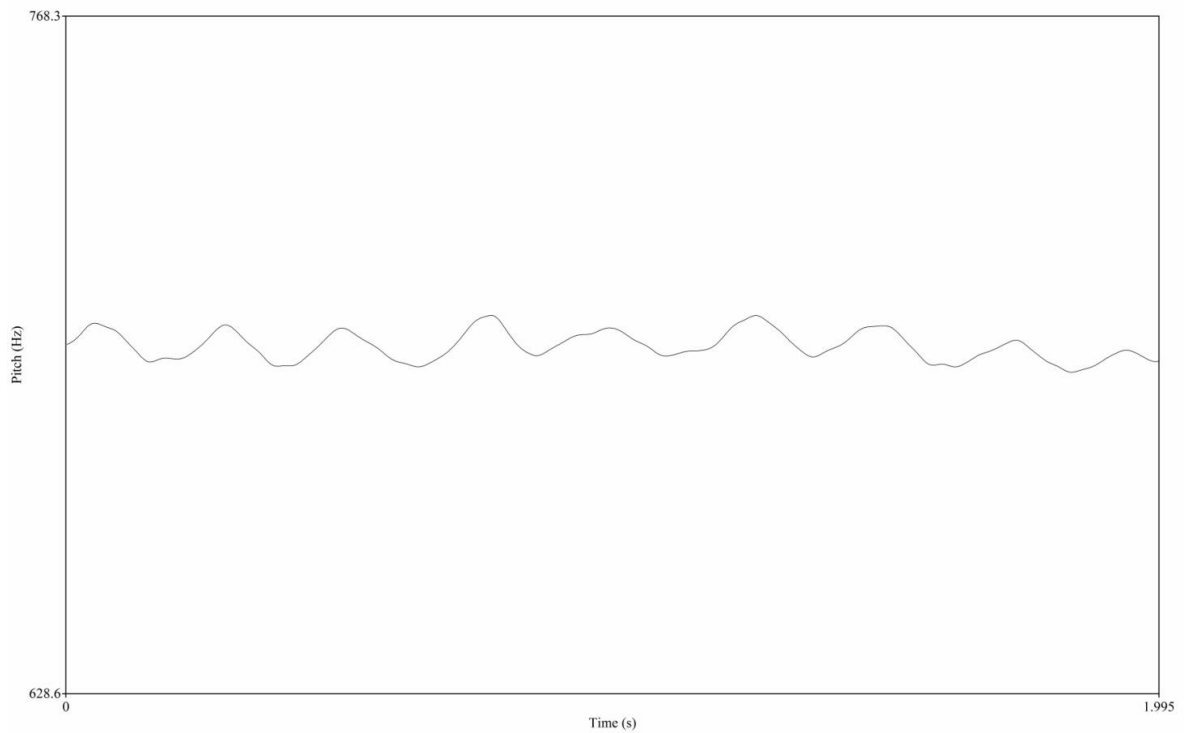


**Figura 47:** Flautista 6 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

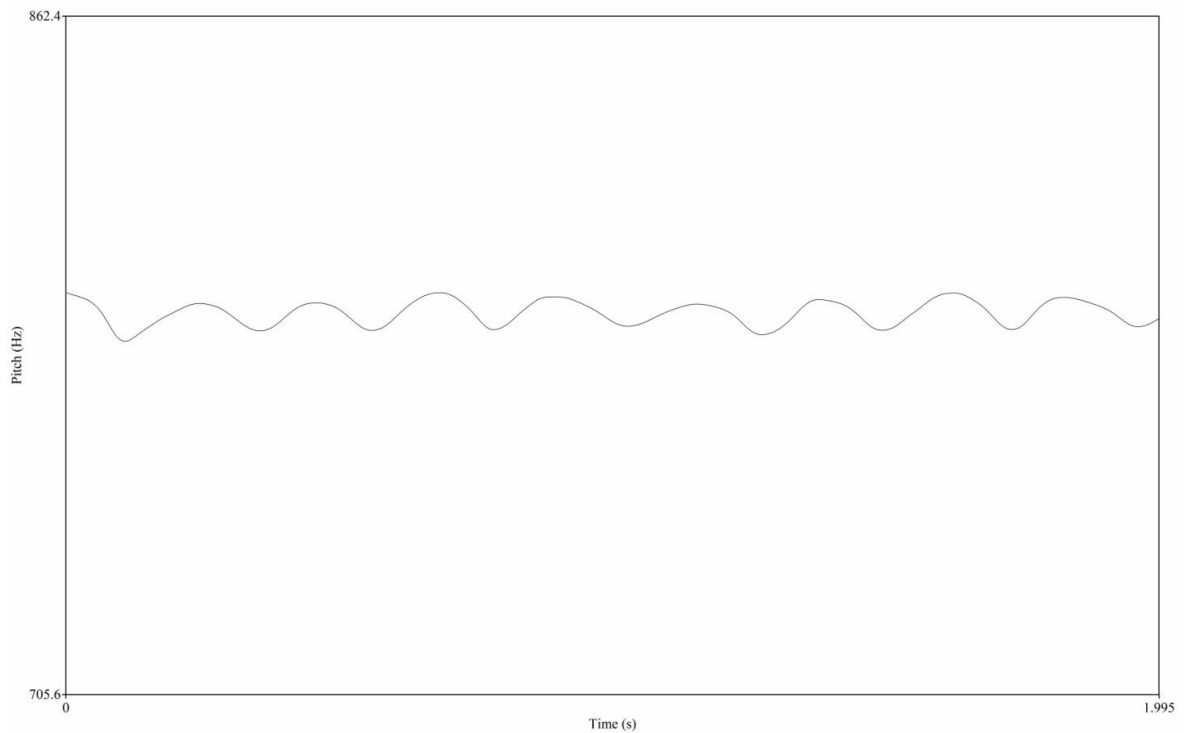


**Figura 48:** Flautista 6 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 6: registro médio:** irregular. Fá 4 com pequena tendência triangular. Sol 4 com pequena tendência senoidal.

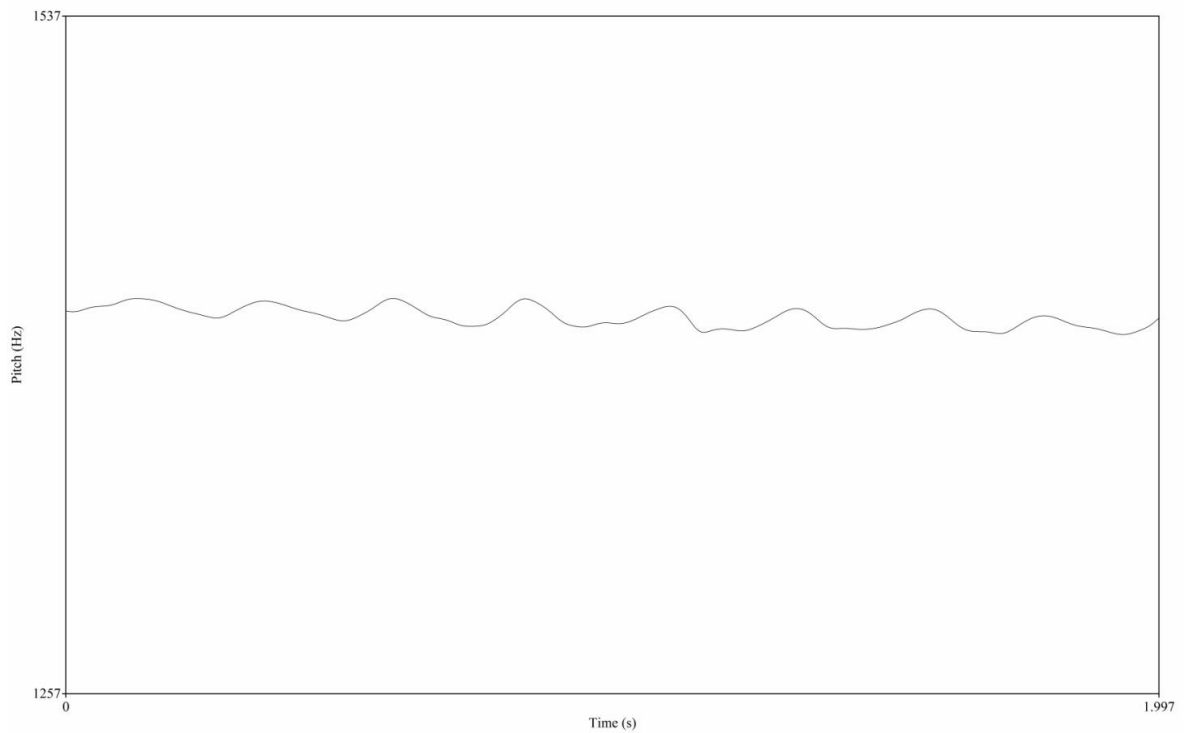


**Figura 49:** Flautista 6 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

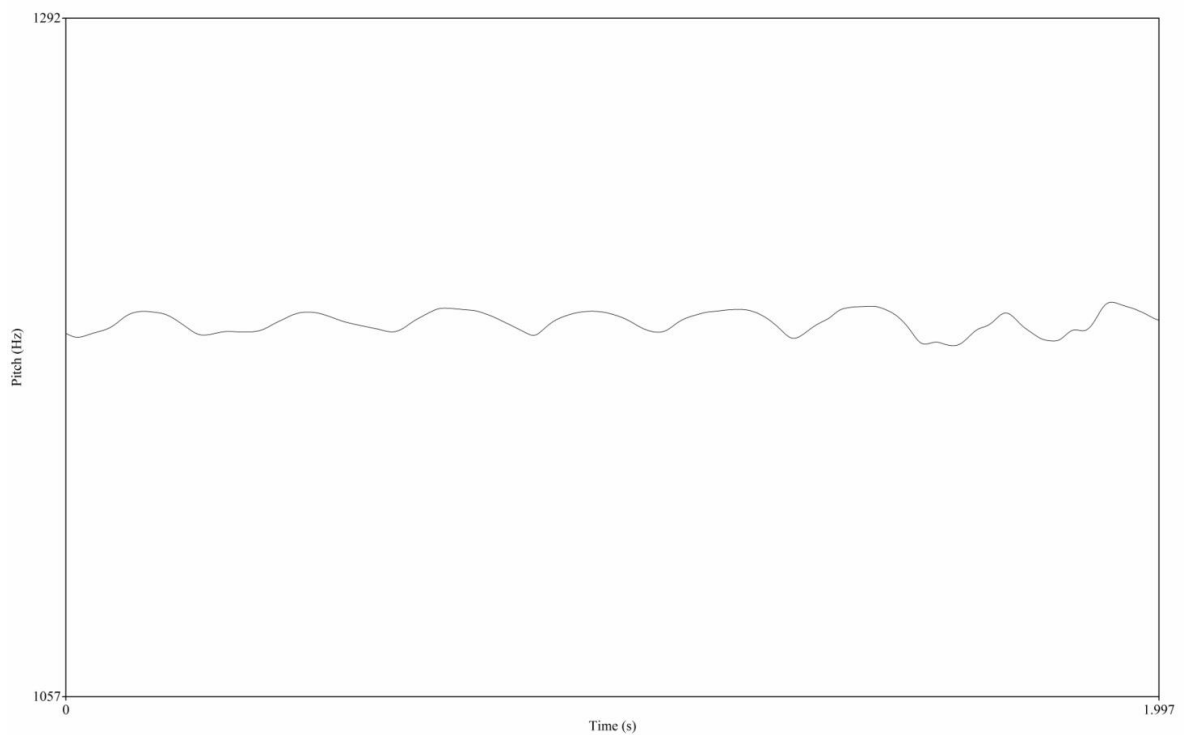


**Figura 50:** Flautista 6 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

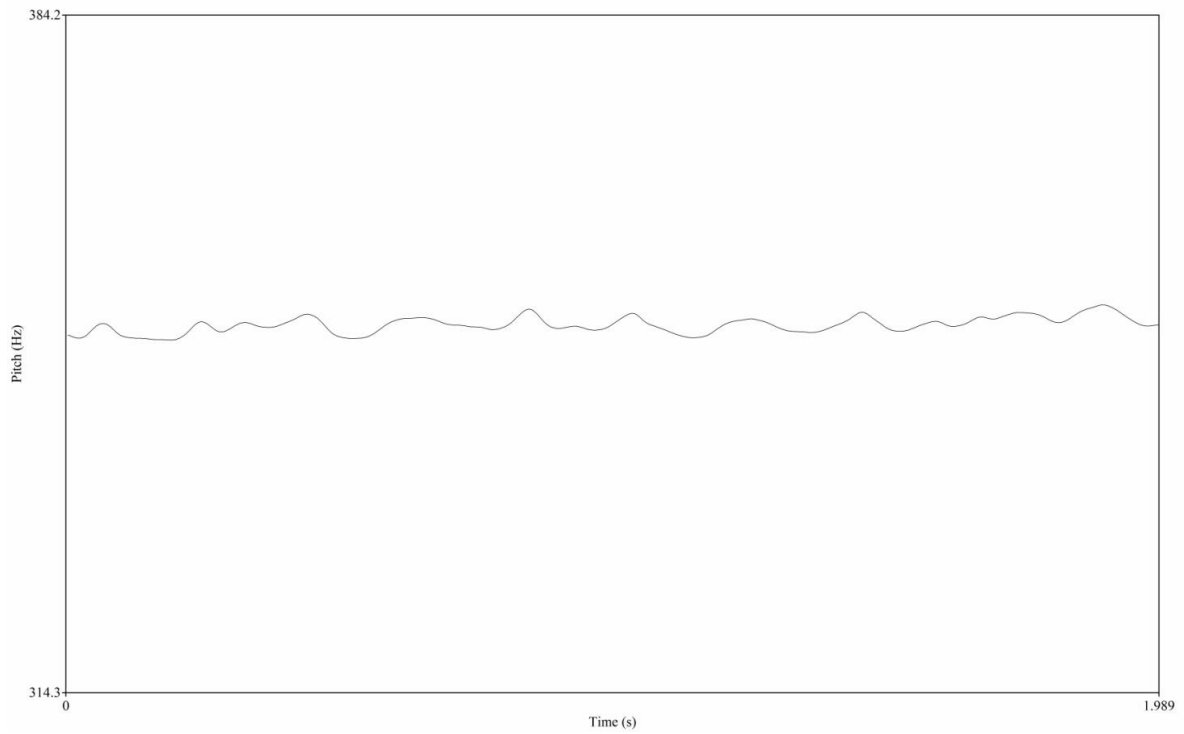
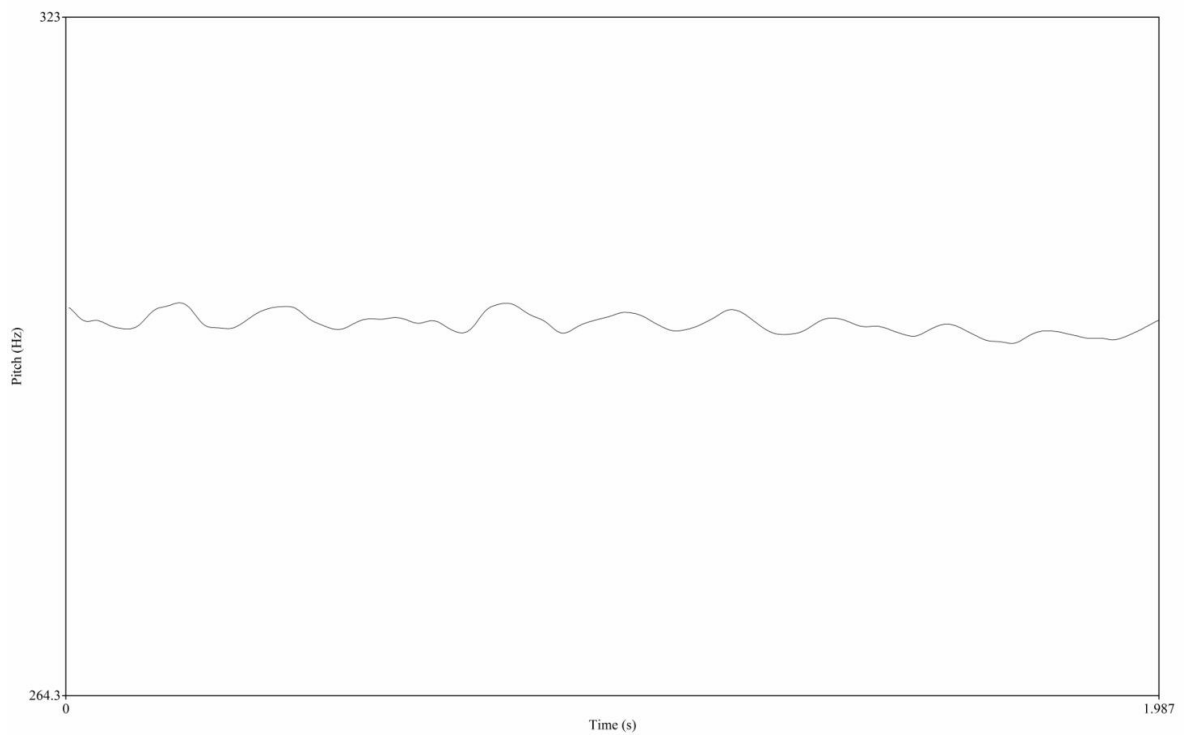
**Flautista 6 - registro agudo:** irregular. Nota Fá 5 com pequena tendência de pico na base da onda e nota Ré 5 com pequena tendência de topo alongado.



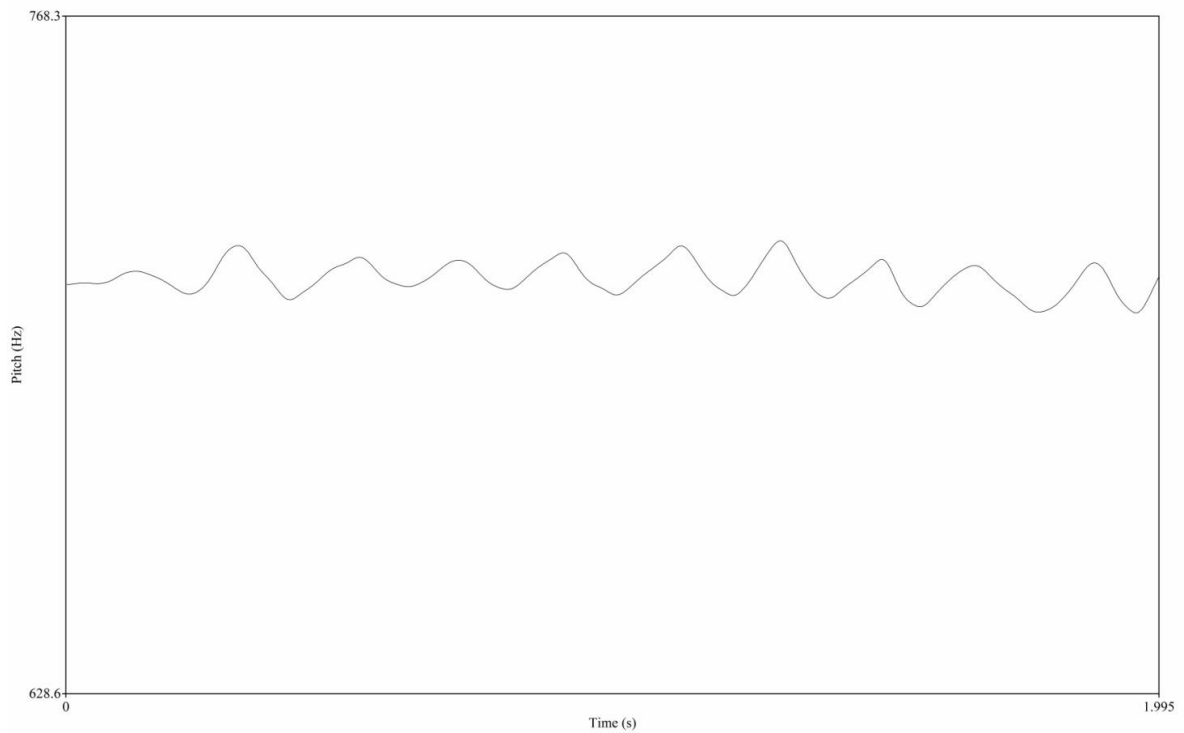
**Figura 51:** Flautista 6 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.



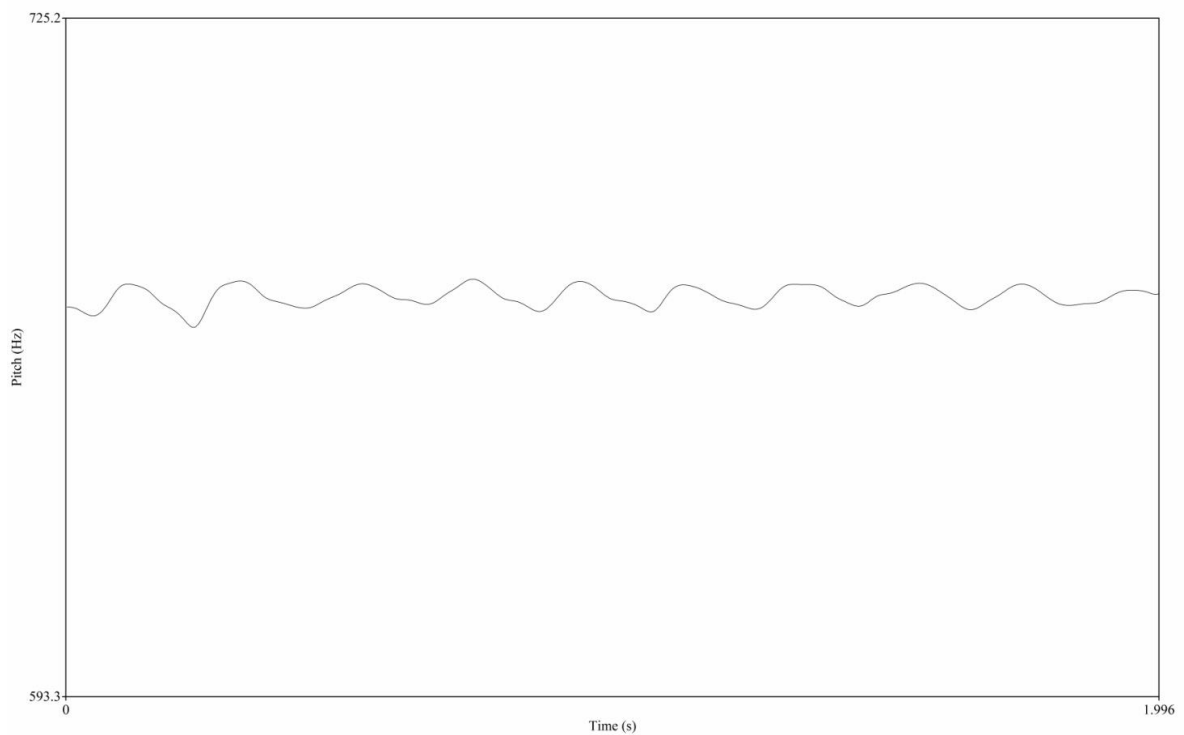
**Figura 52:** Flautista 6 - nota Ré 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 7 - registro grave: irregular.****Figura 53:** Flautista 7 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.**Figura 54:** Flautista 7 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 7 - registro médio:** irregular. Em sua parte estável a nota Fá apresentou-se com tendência triangular e a Mi com acento mais curto que o declive.

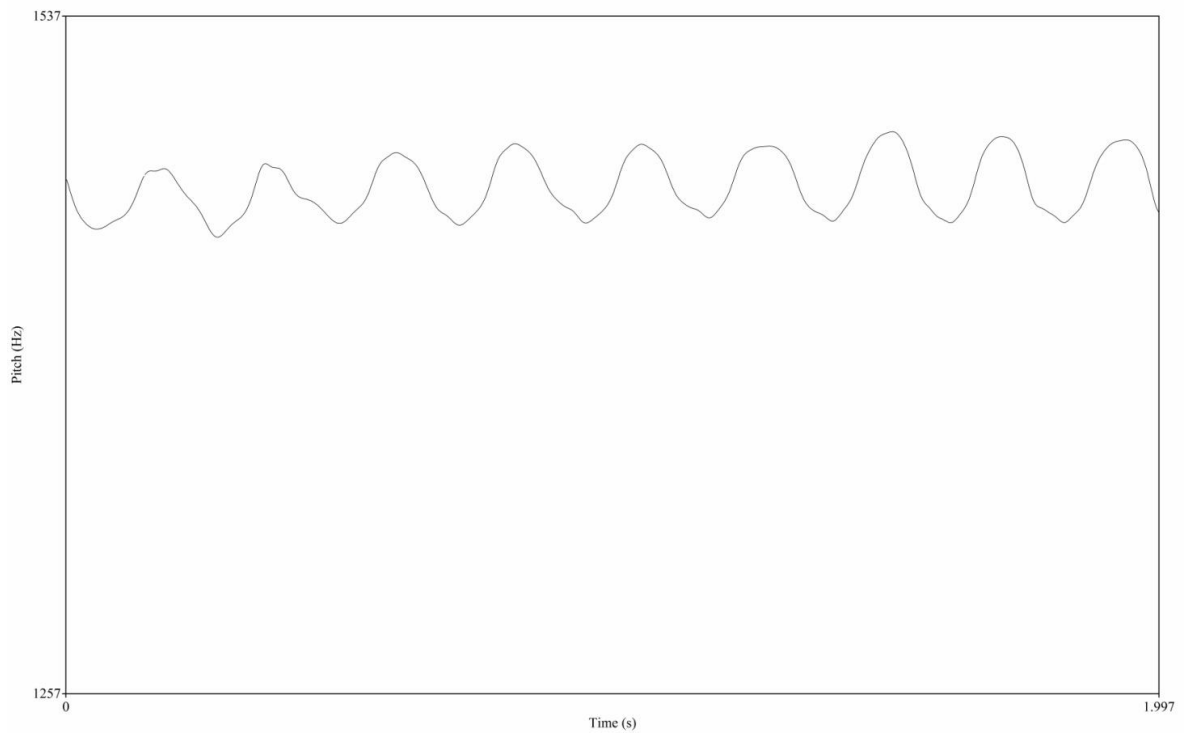


**Figura 55:** Flautista 7 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

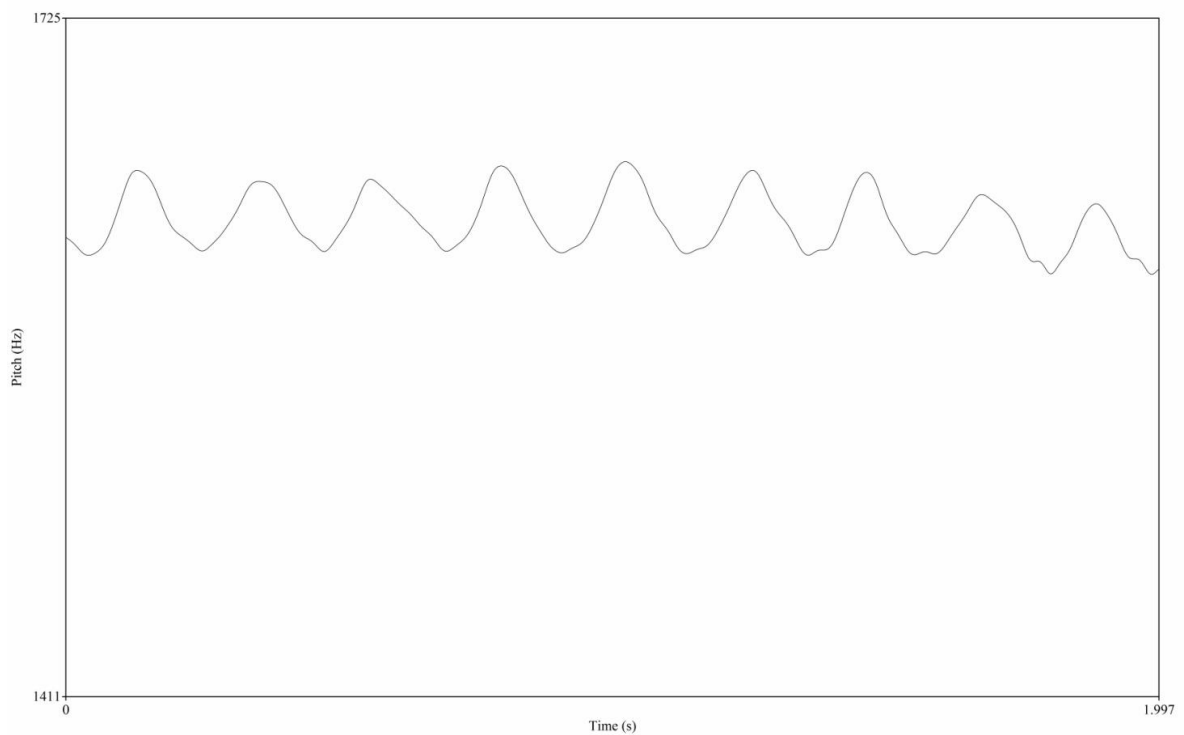


**Figura 56:** Flautista 7 - nota Mi 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 7 - registro agudo:** irregular. Formas desse flautista parecem crescer exponencialmente entre os registros.

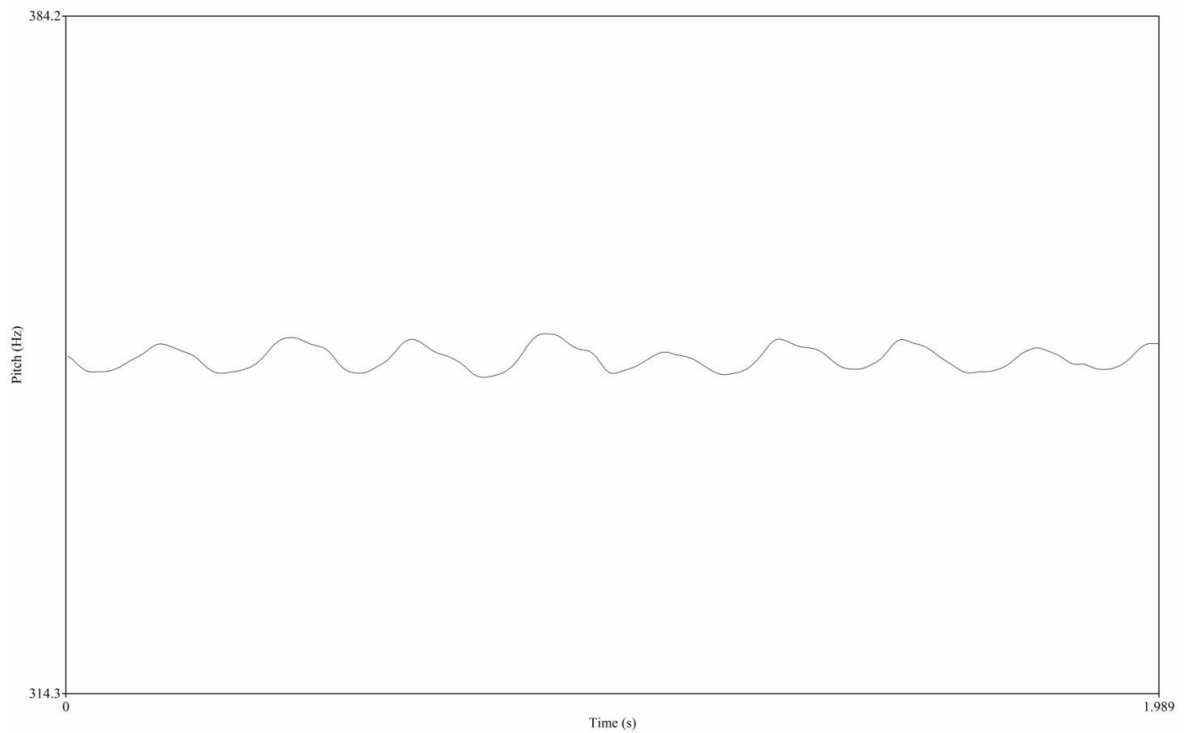


**Figura 57:** Flautista 7 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

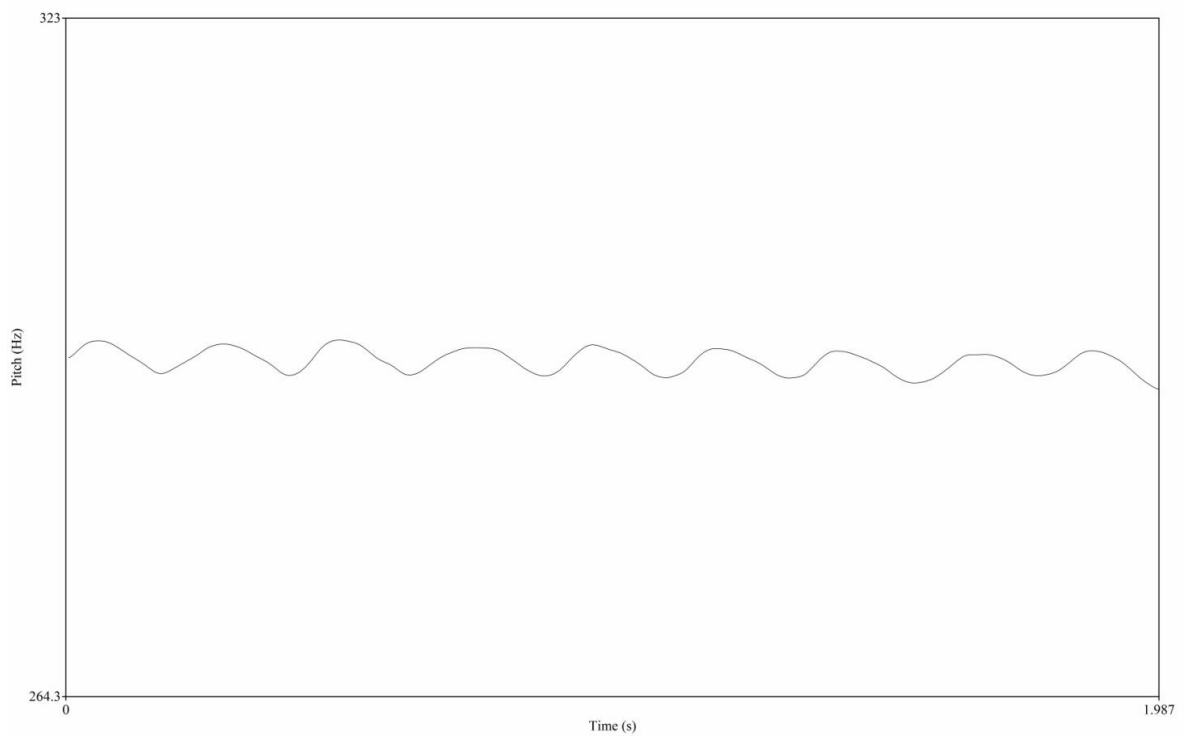


**Figura 58:** Flautista 7 - nota Sol 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 8 - registro grave: aclave mais curto que o declive.**

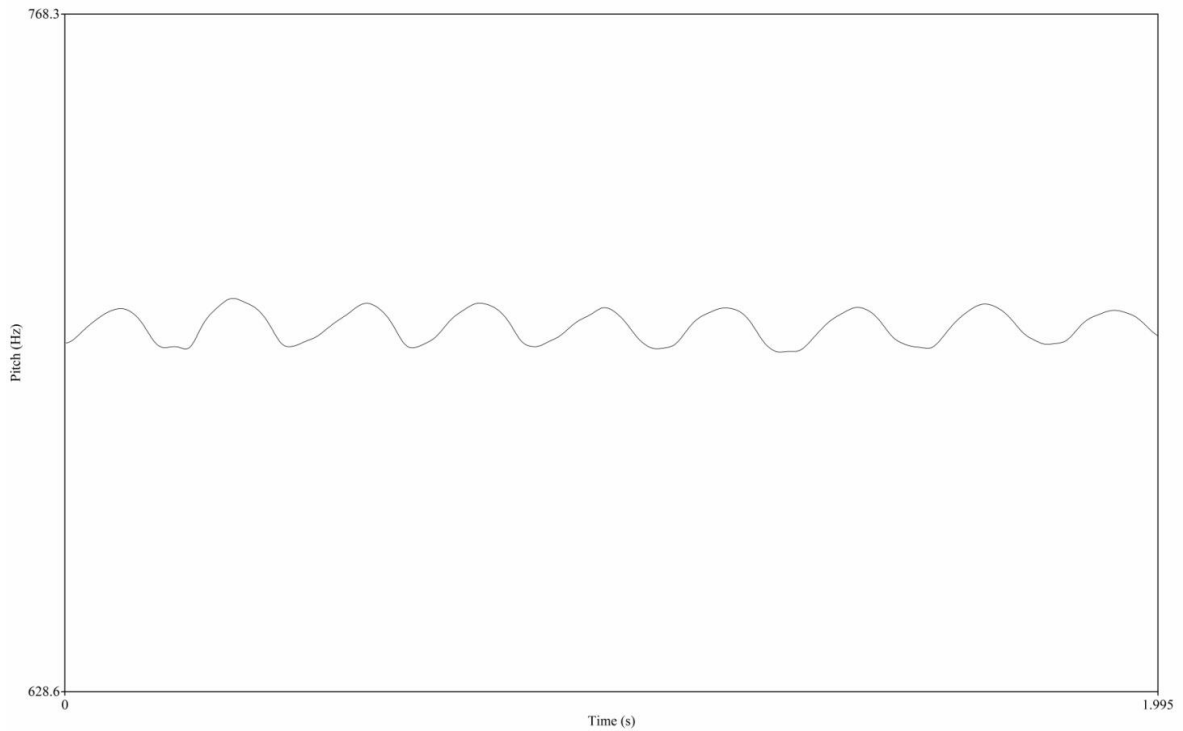


**Figura 59:** Flautista 8 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

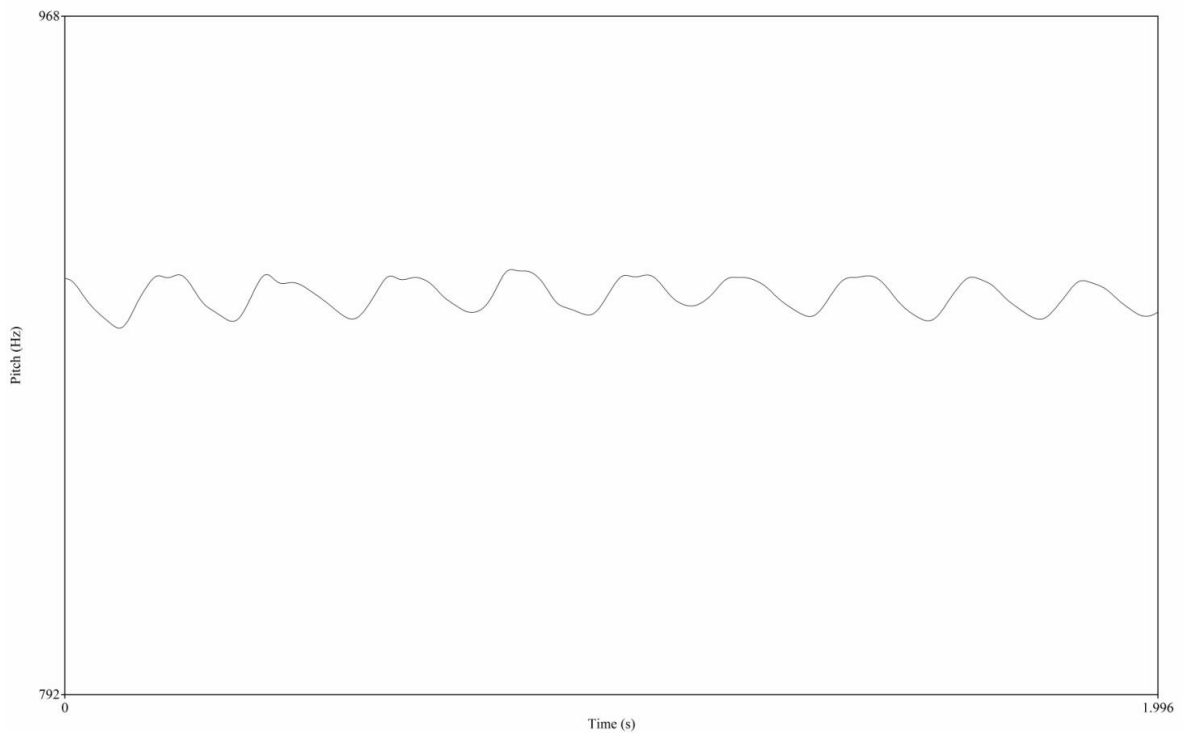


**Figura 60:** Flautista 8 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 8 - registro médio:** nota Fá com aclave mais longo que o declive (tendência contrária) e Lá com pequenas depressões no topo da onda.

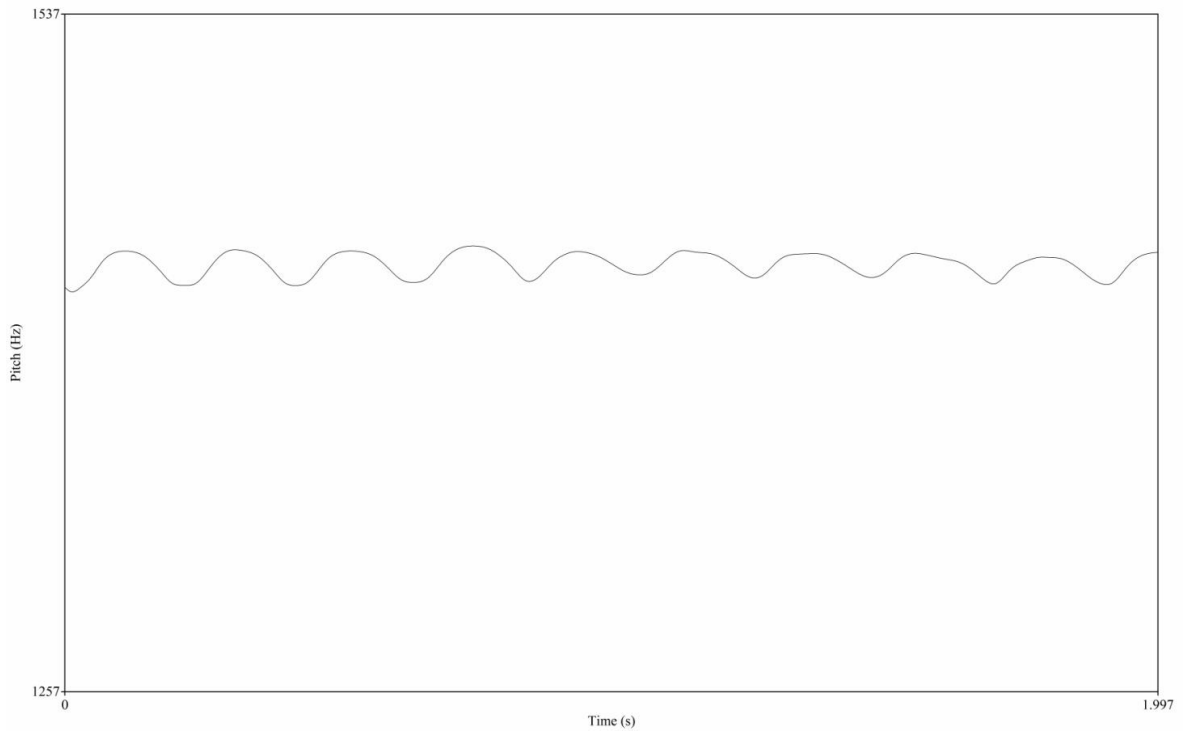


**Figura 61:** Flautista 8 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

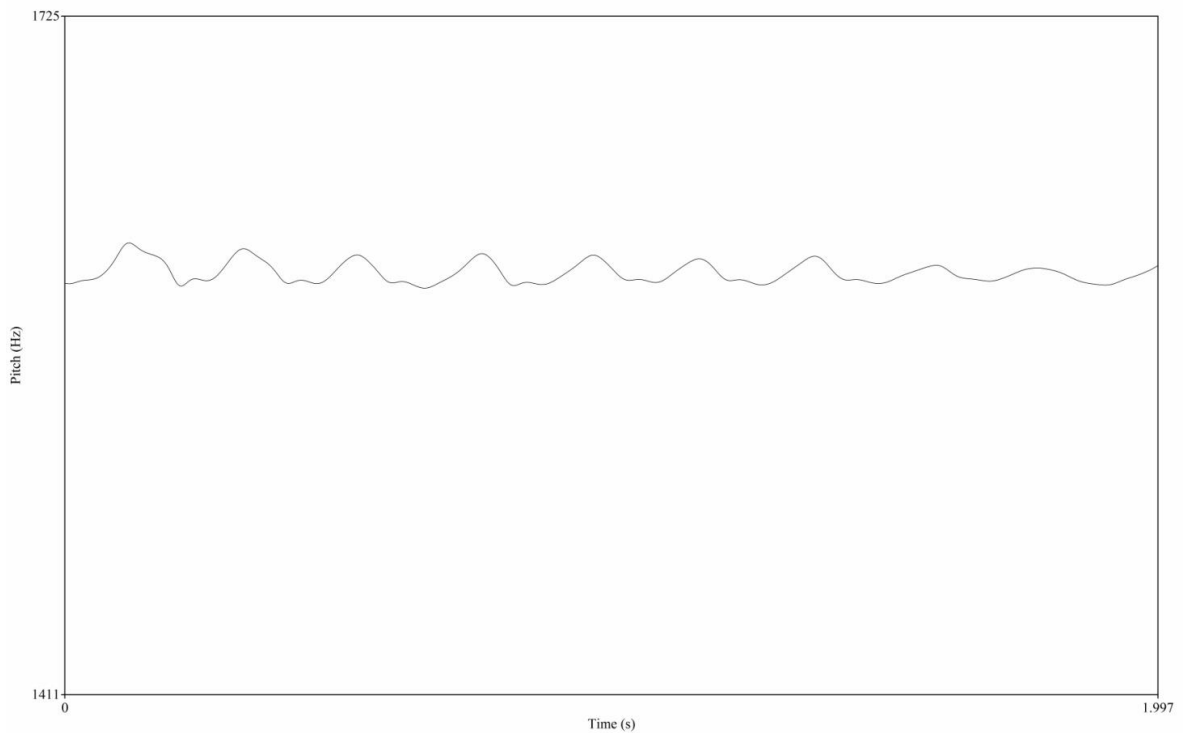


**Figura 62:** Flautista 8 - nota Lá 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 8 - registro agudo:** primeira metade da nota Fá tem tendência senoidal e segunda metade com acento mais curto que o declive, nota Sol com pequenos picos na base da onda.

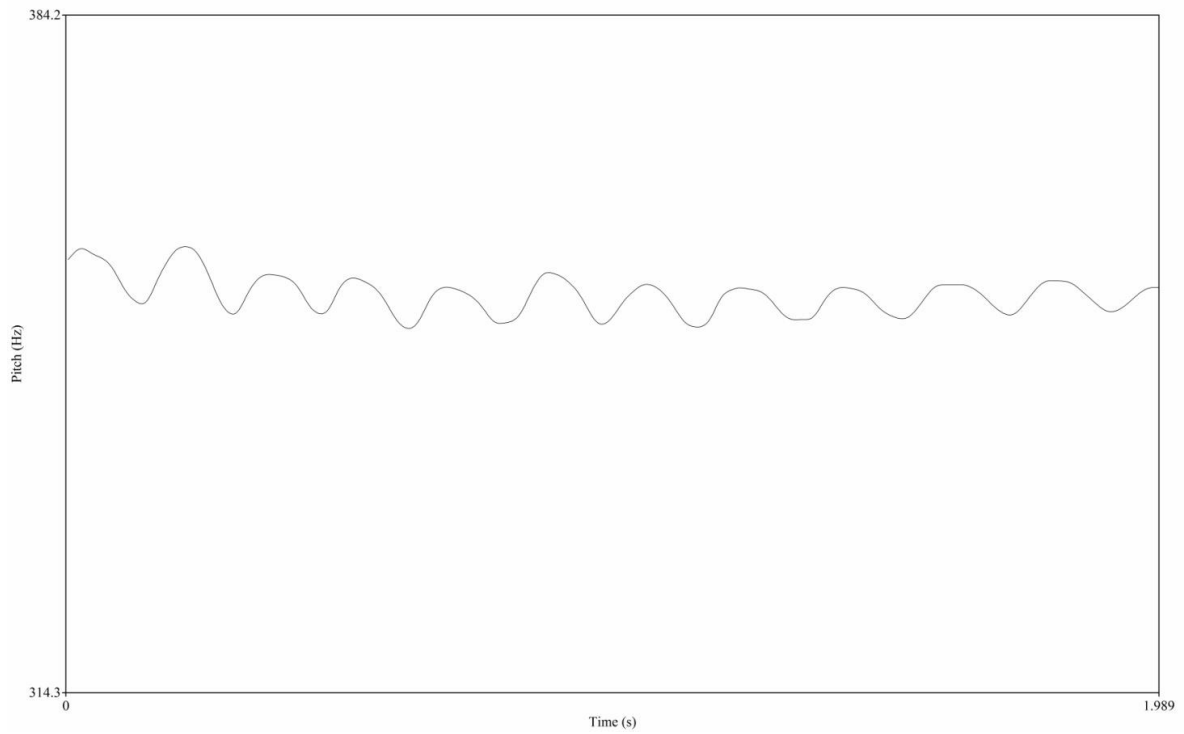


**Figura 63:** Flautista 8 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

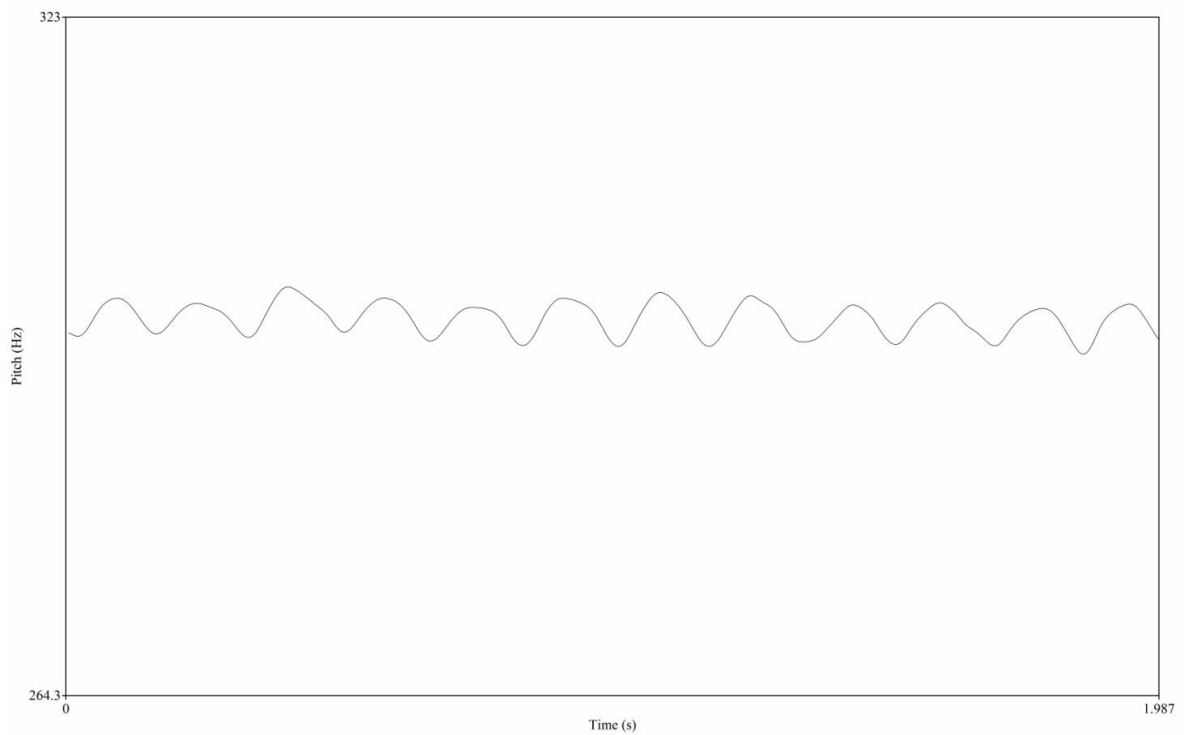


**Figura 64:** Flautista 8 - nota Sol 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 9 - registro grave:** um pouco irregular. Pequena tendência senoidal.

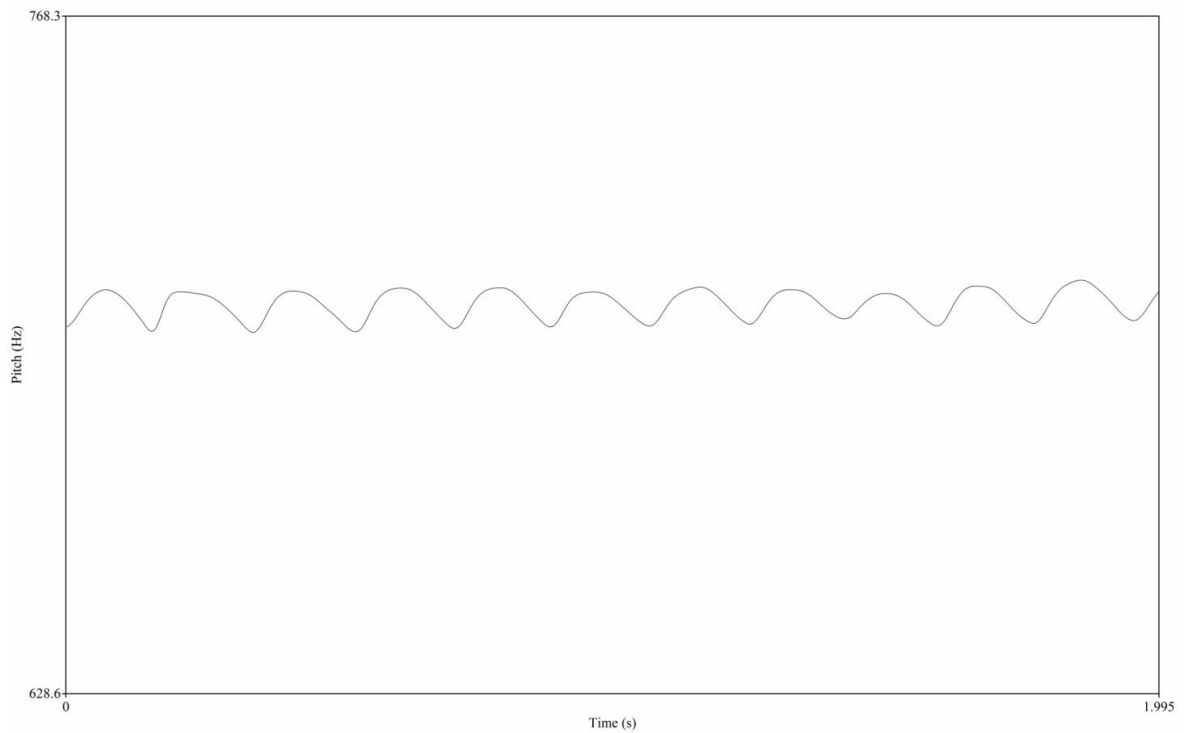


**Figura 65:** Flautista 9 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

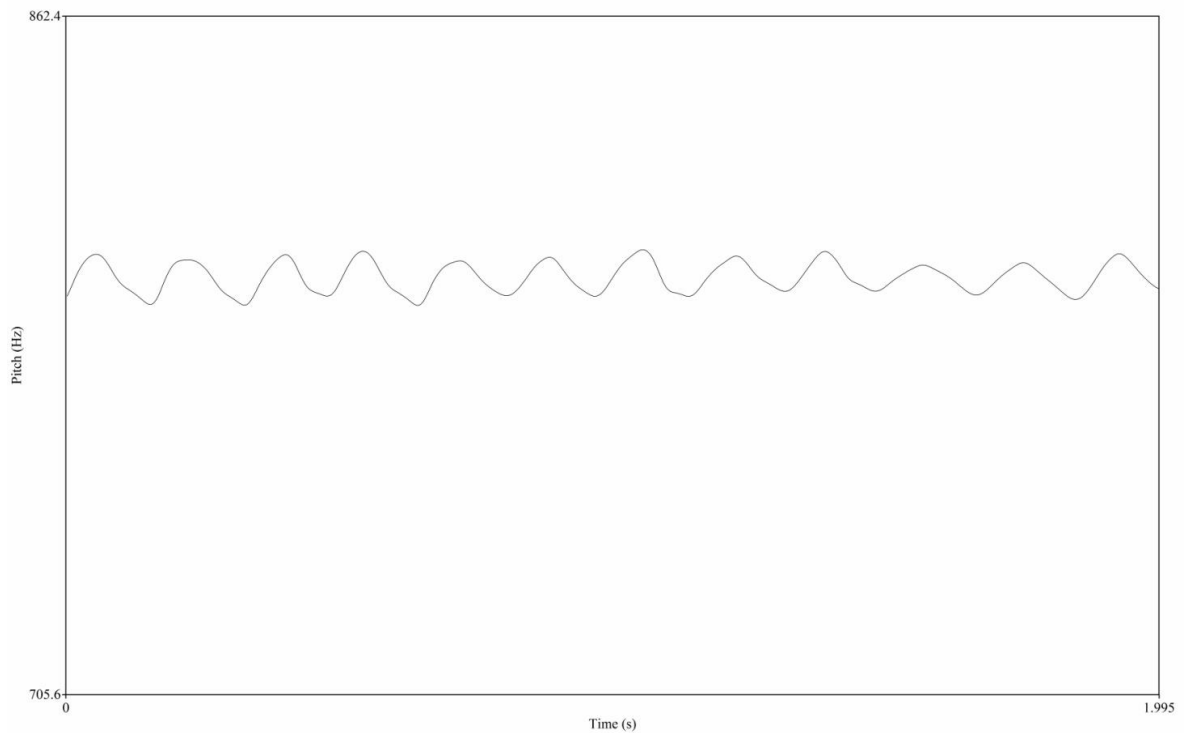


**Figura 66:** Flautista 9 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 9 - registro médio:** nota Fá 4 com pequena tendência senoidal e acentue um pouco menor que o declive. Nota Sol 4 com onda irregular.

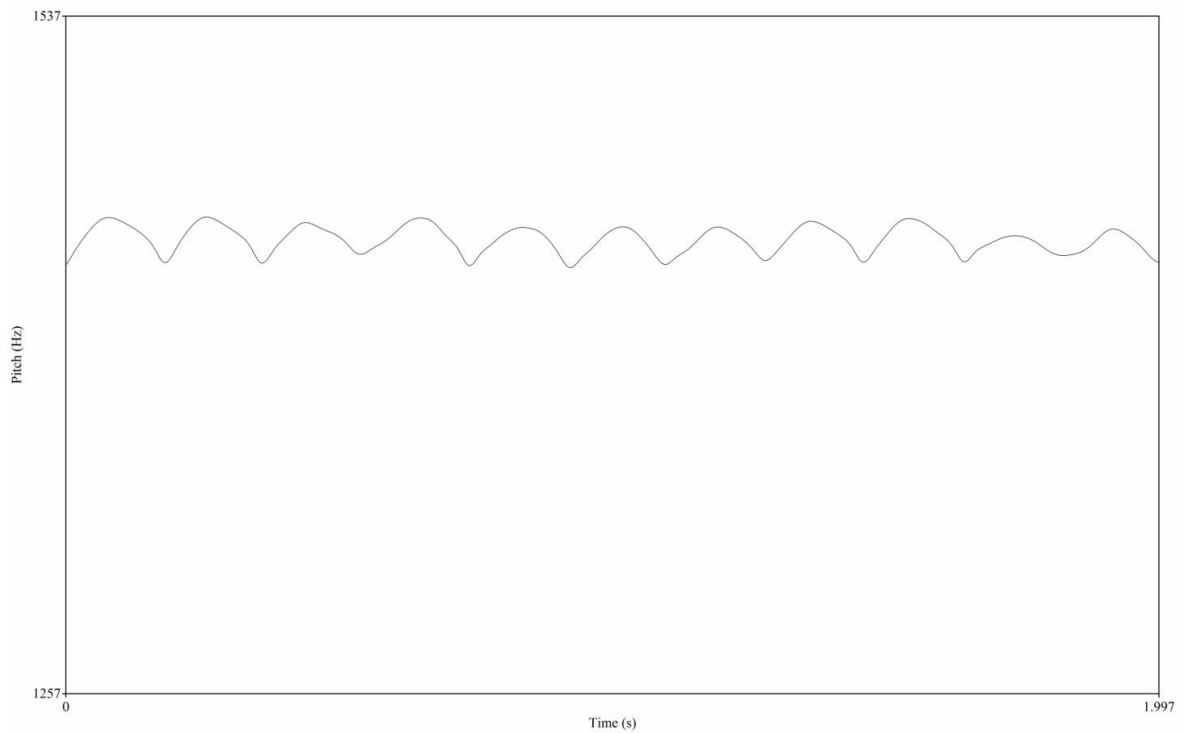


**Figura 67:** Flautista 9 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

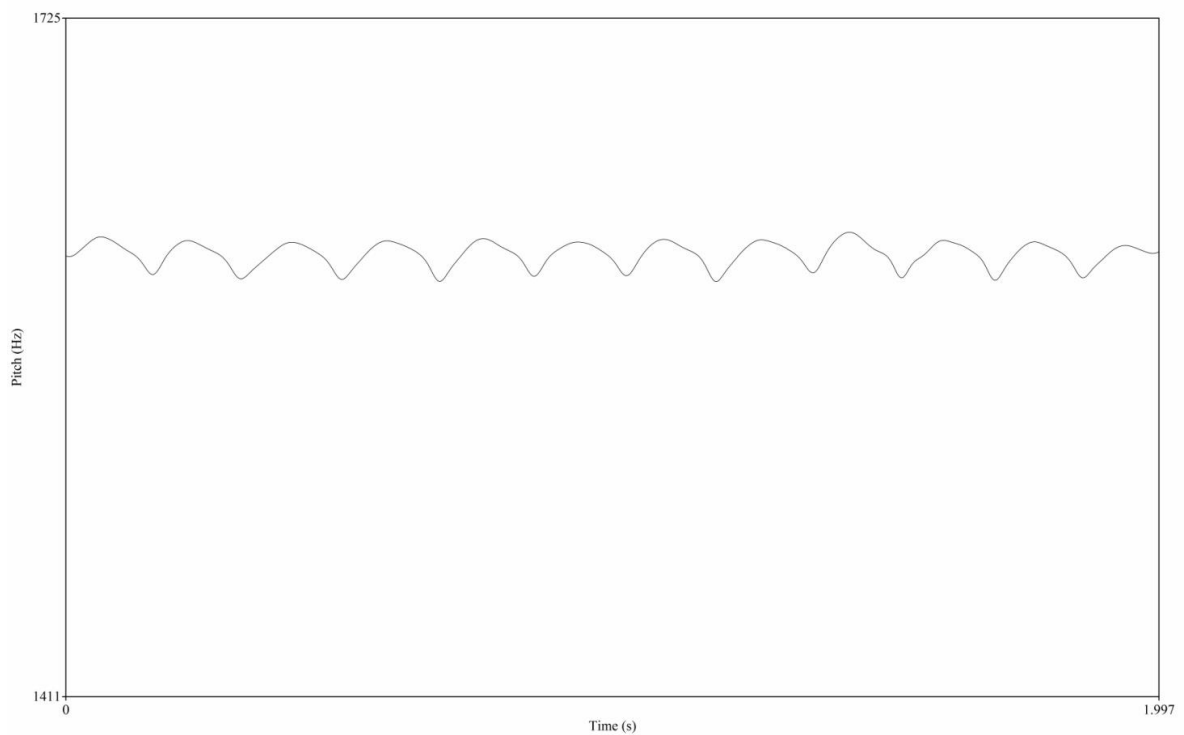


**Figura 68:** Flautista 9 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 9 - registro agudo:** tendência de alongamento no topo da onda. Senoidal no topo e triangular na base.

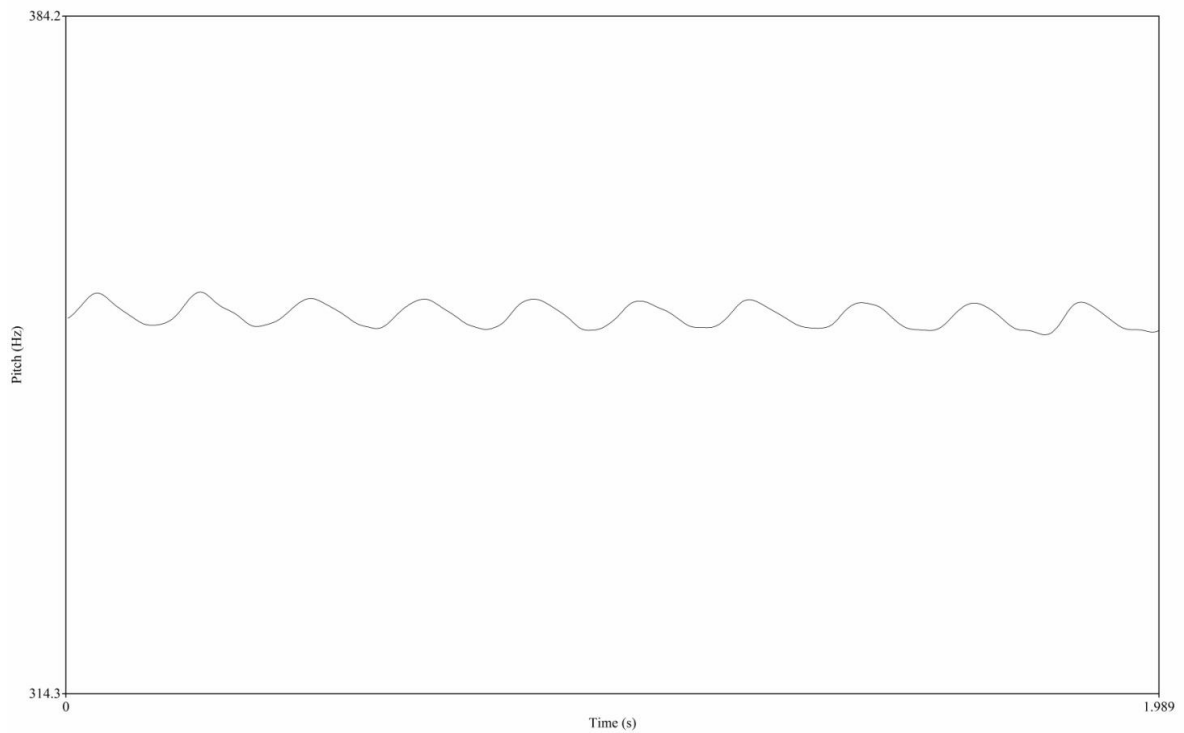


**Figura 69:** Flautista 9 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

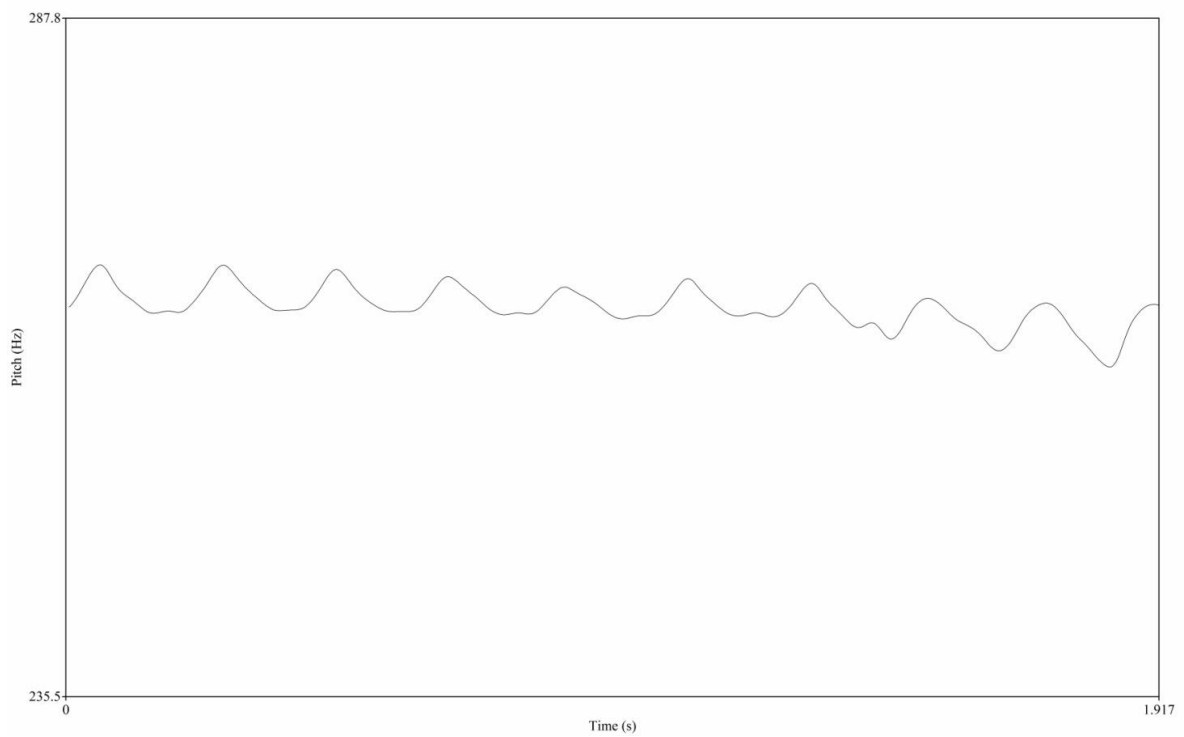


**Figura 70:** Flautista 9 - nota Sol 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 10 - registro grave:** nota Fá 3 com tendência senoidal e Dó 3 com ligeiros picos na base da onda e segunda metade irregular.

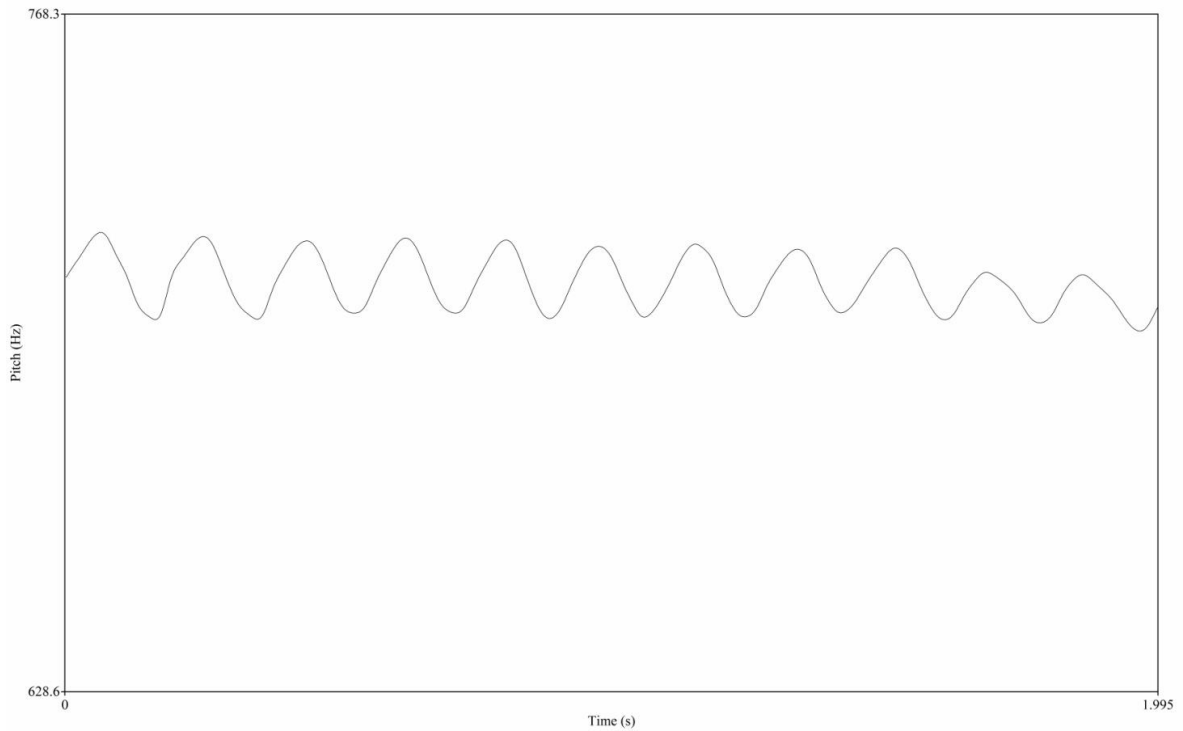


**Figura 71:** Flautista 10 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

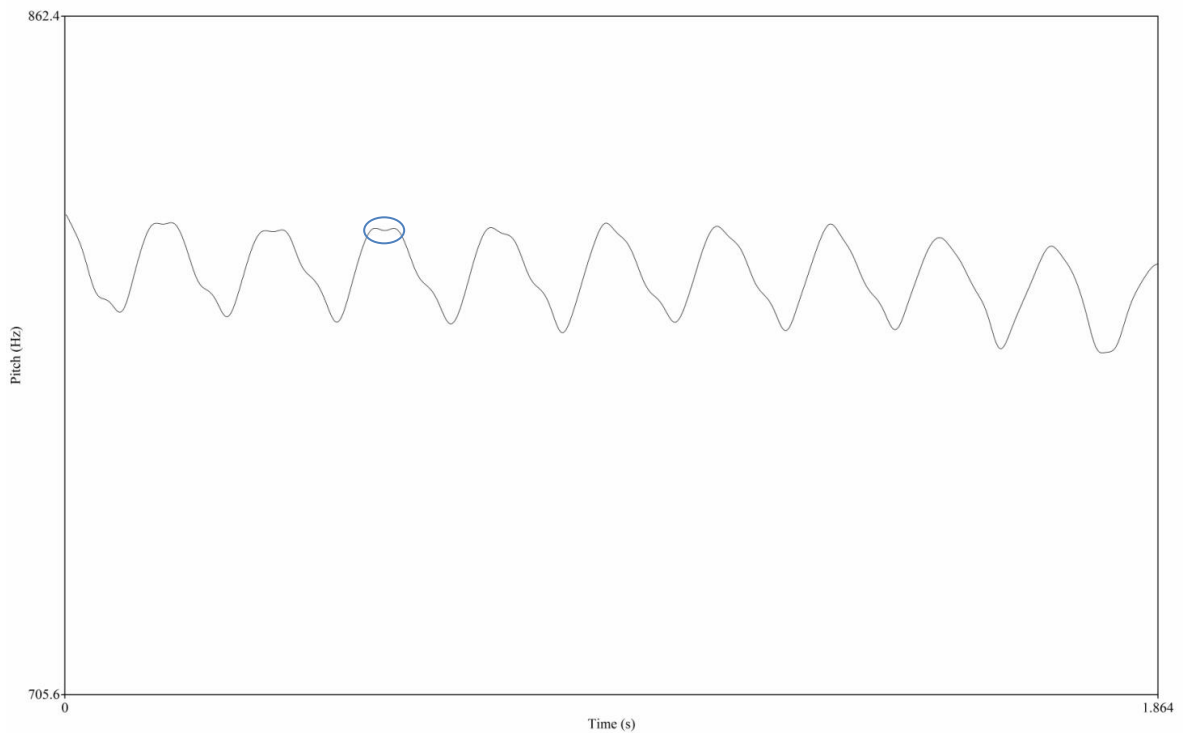


**Figura 72:** Flautista 10 - nota Dó 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 10 - registro médio:** nota Fá 4 com tendência senoidal e Sol 4 com tendência triangular, aclave mais curto que o declive e primeiras ondulações com pequenos vales no topo da onda.

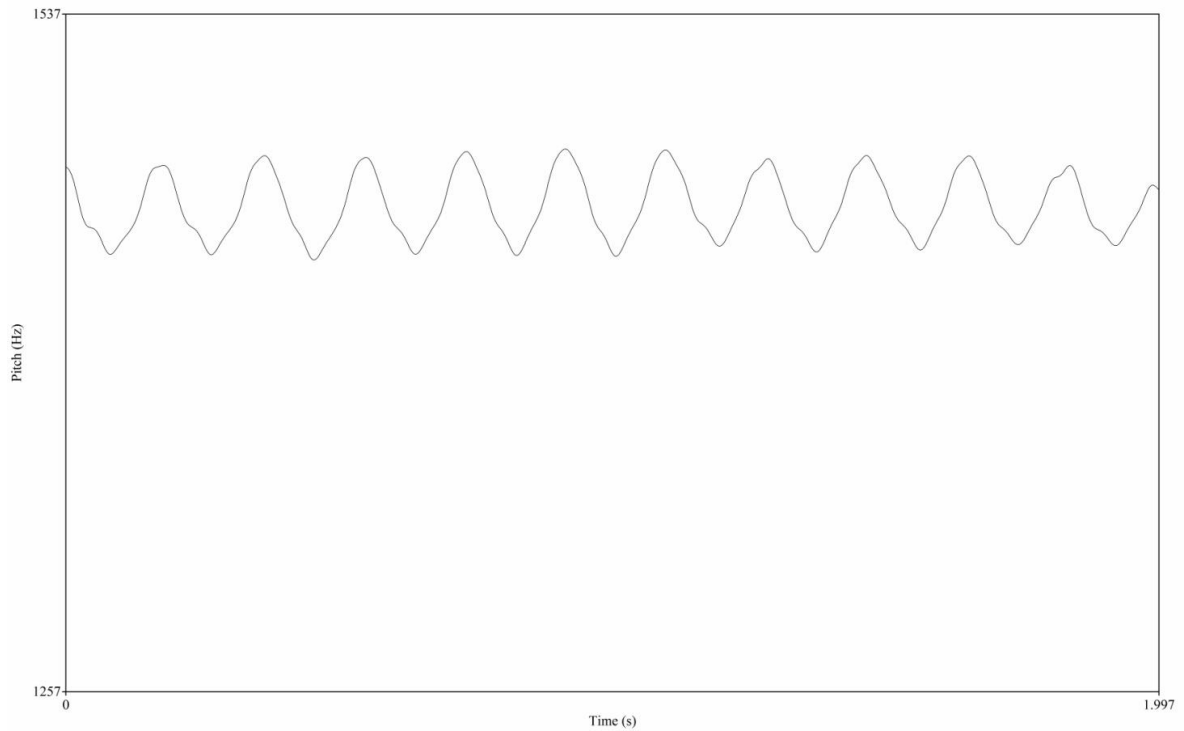


**Figura 73:** Flautista 10 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

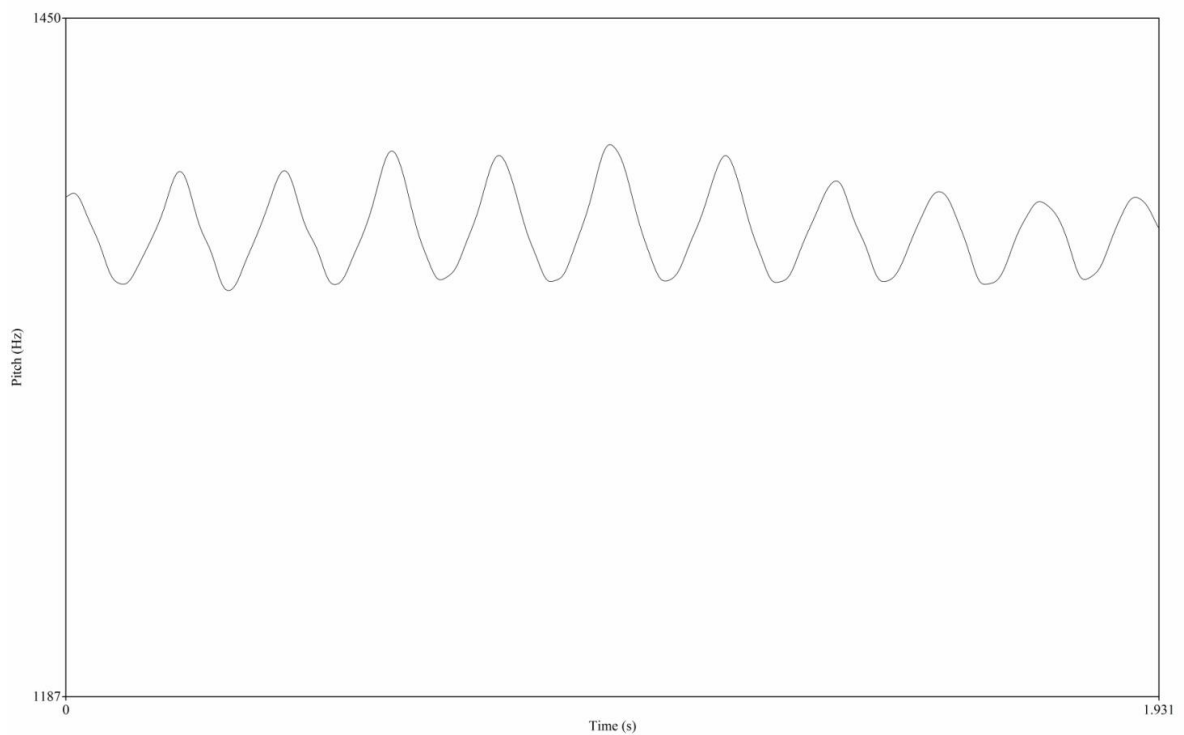


**Figura 74:** Flautista 10 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 10 - registro agudo:** tendência triangular. As formas parecem aumentar exponencialmente entre os registros.

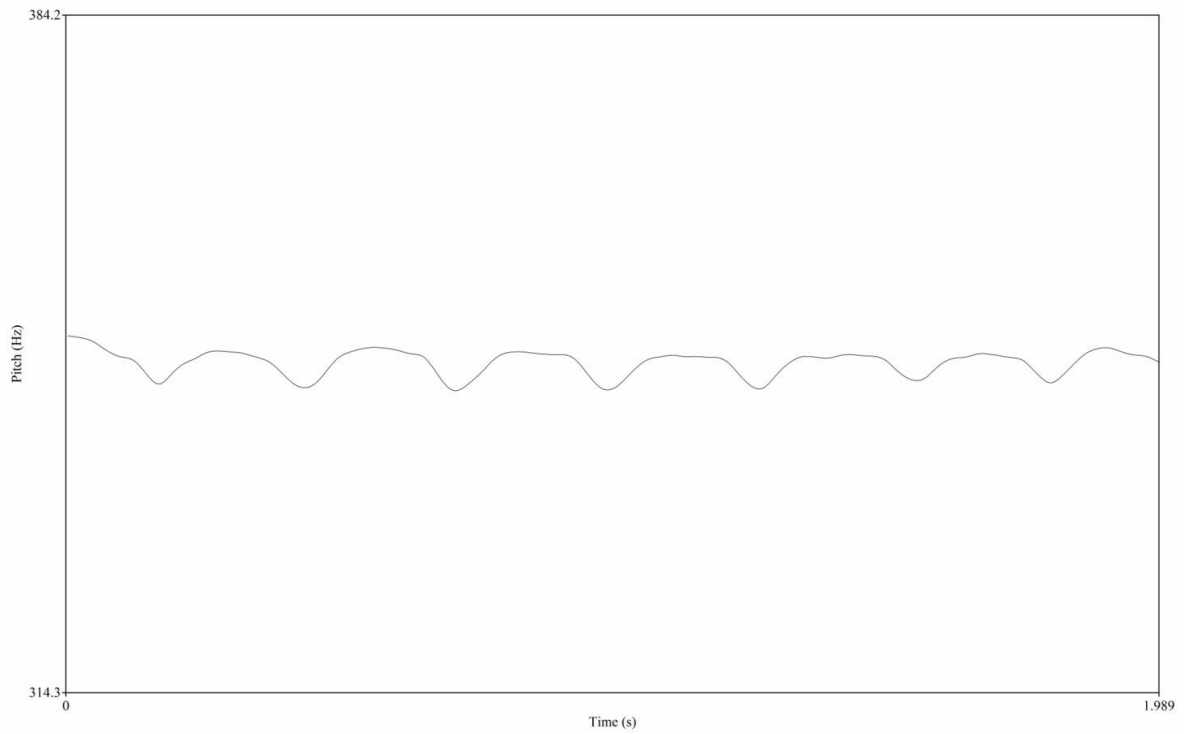


**Figura 75:** Flautista 10 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

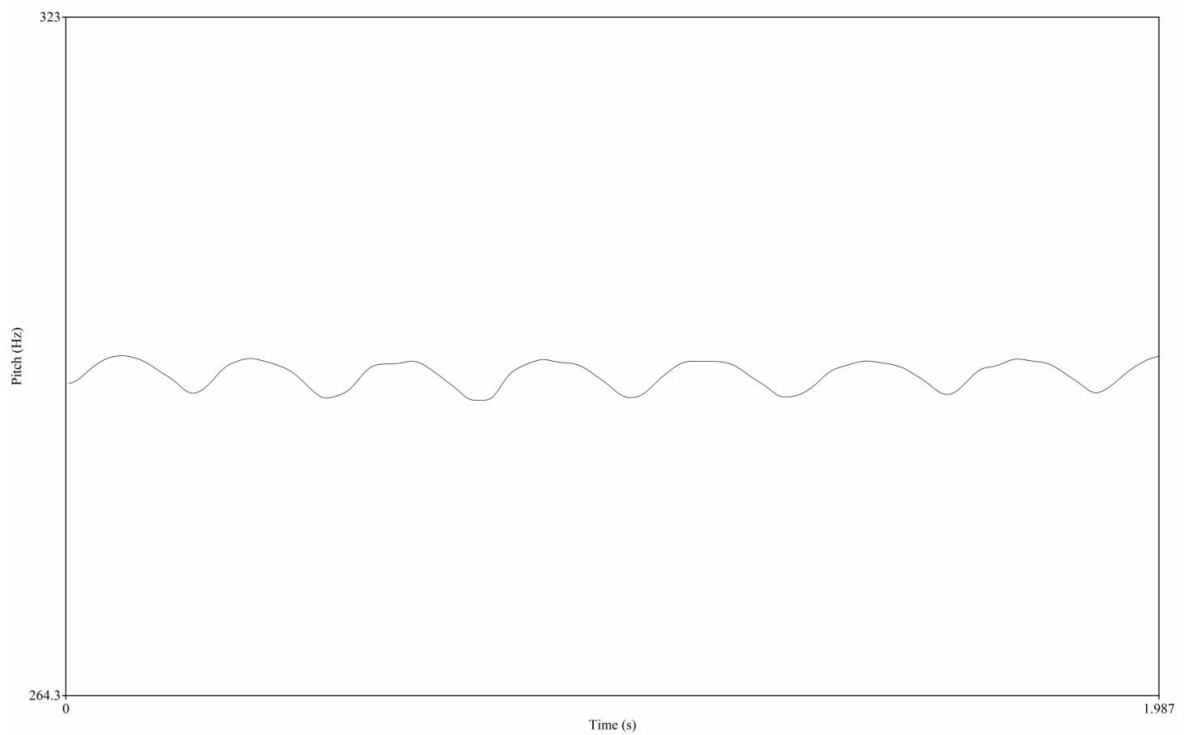


**Figura 76:** Flautista 10 - nota Mi 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 11 - registro grave:** alongamento no topo da onda, tendência trapezoidal.

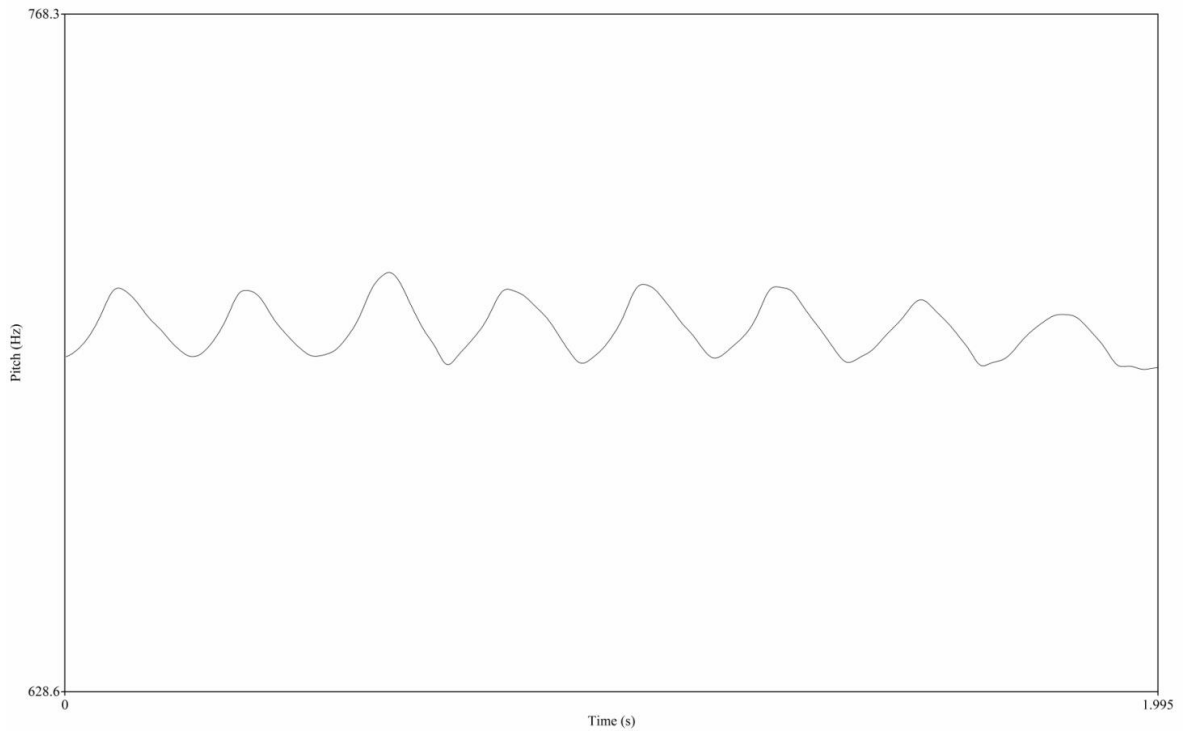


**Figura 77:** Flautista 11 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

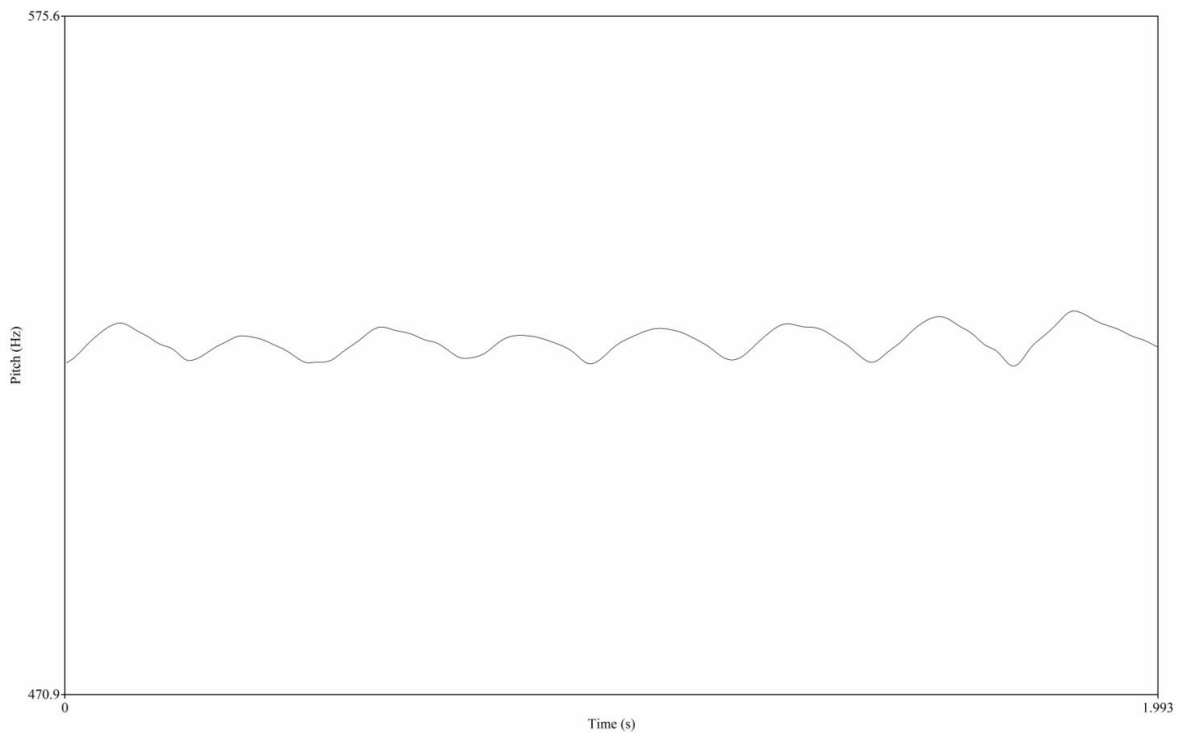


**Figura 78:** Flautista 11 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 11 - registro médio:** nota Fá 4 com tendência triangular e nota Dó 4 um pouco irregular, algumas ondas com tendência triangular e outras com alongamento no topo da onda.

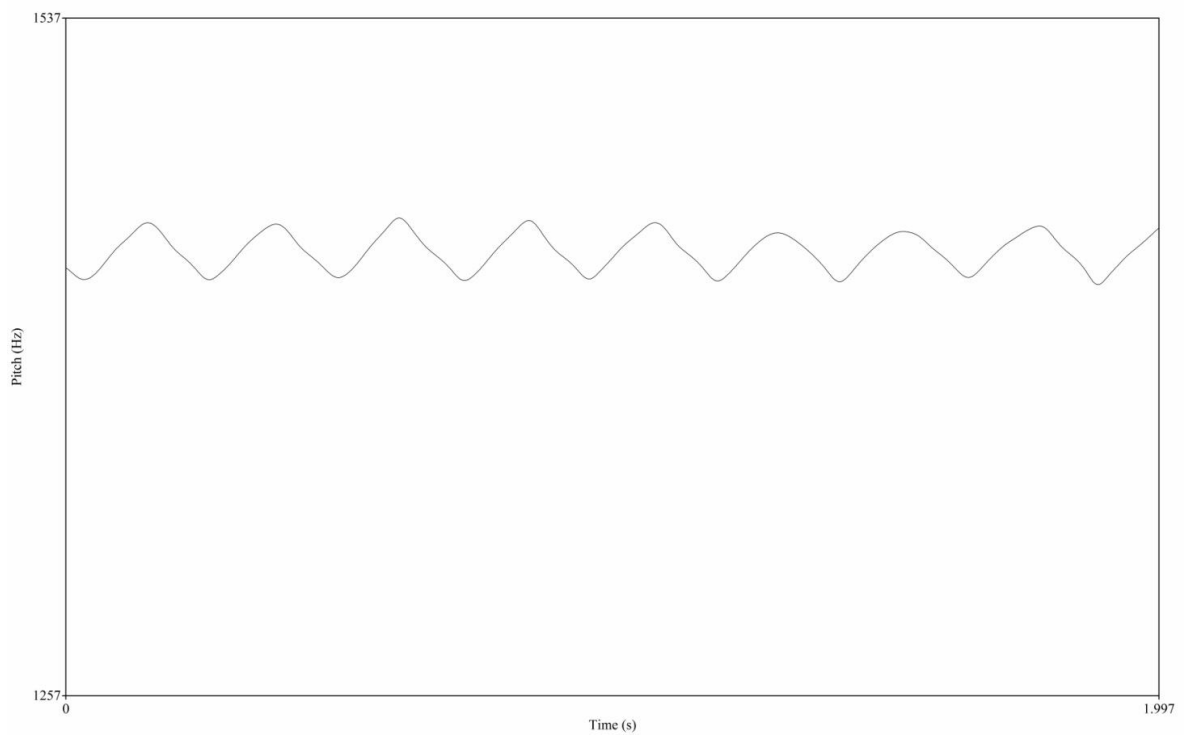


**Figura 79:** Flautista 11 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

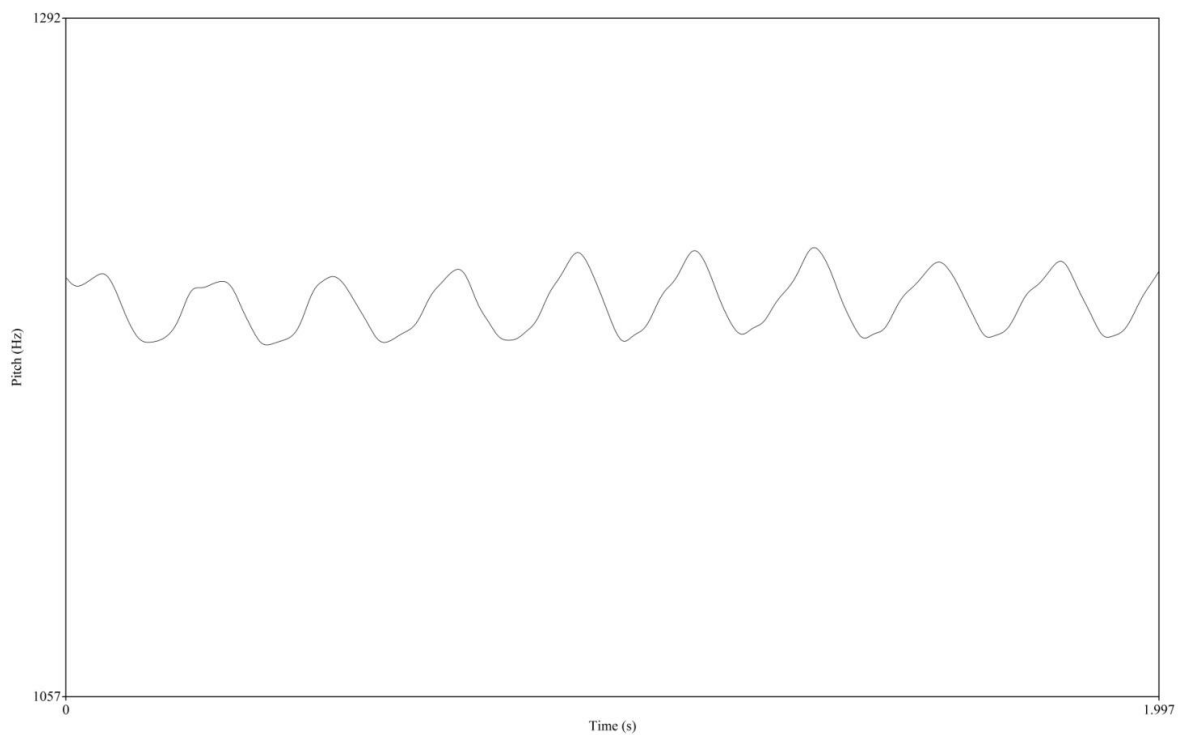


**Figura 80:** Flautista 11 - nota Dó 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 11 - registro agudo:** tendência triangular. Nota Ré 5 com pequena tendência de aclave mais longo que o declive.

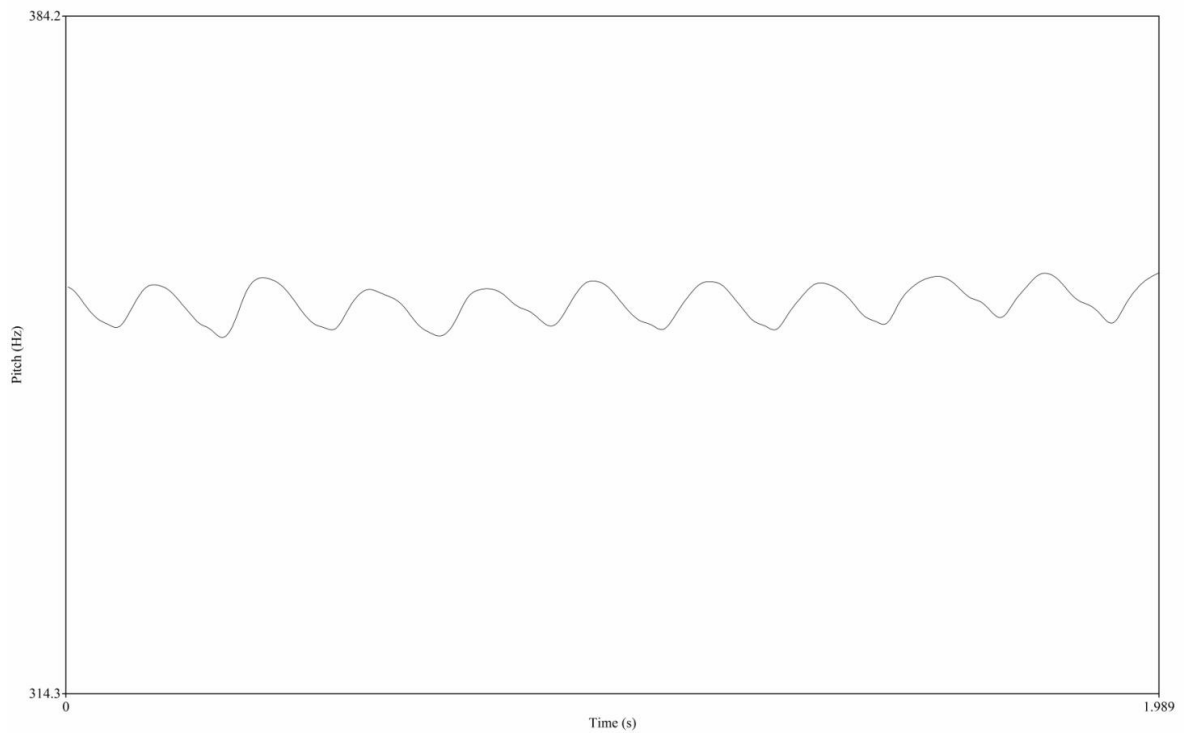


**Figura 81:** Flautista 11 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

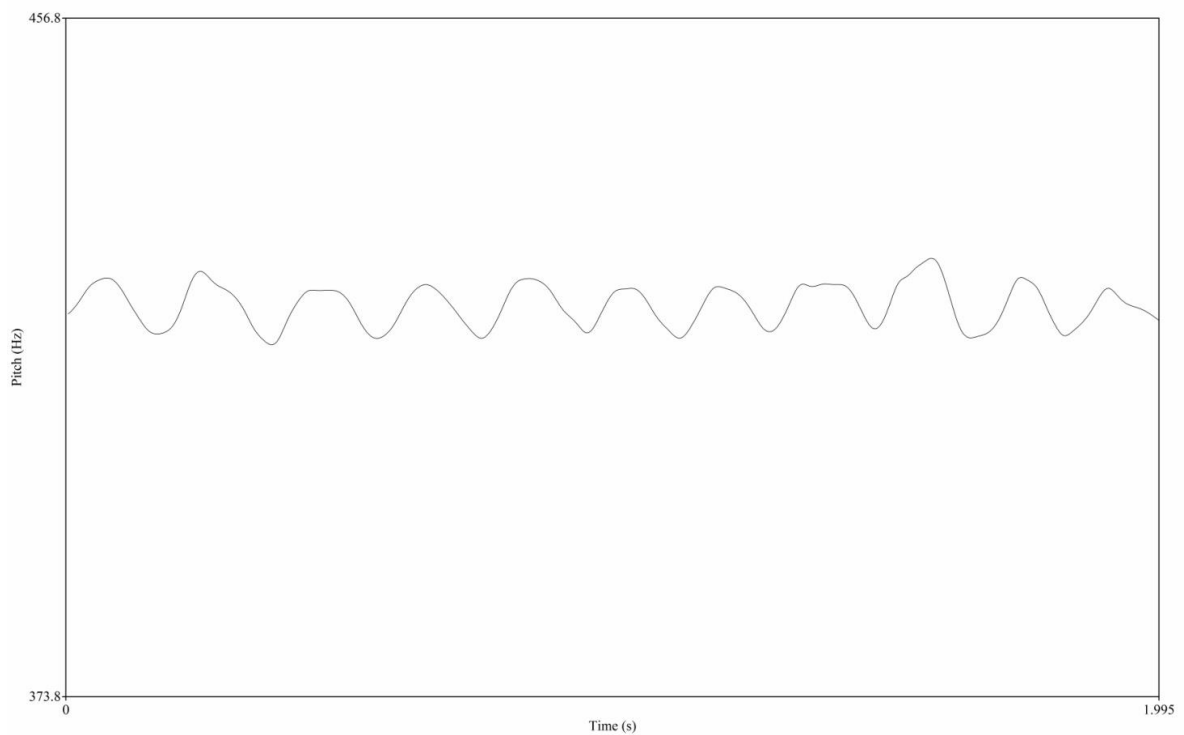


**Figura 82:** Flautista 11 - nota Ré 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 12 - registro grave:** nota Fá 3 com tendência de aclave mais curto que declive. Nota Sol suspenido 3, onda irregular.

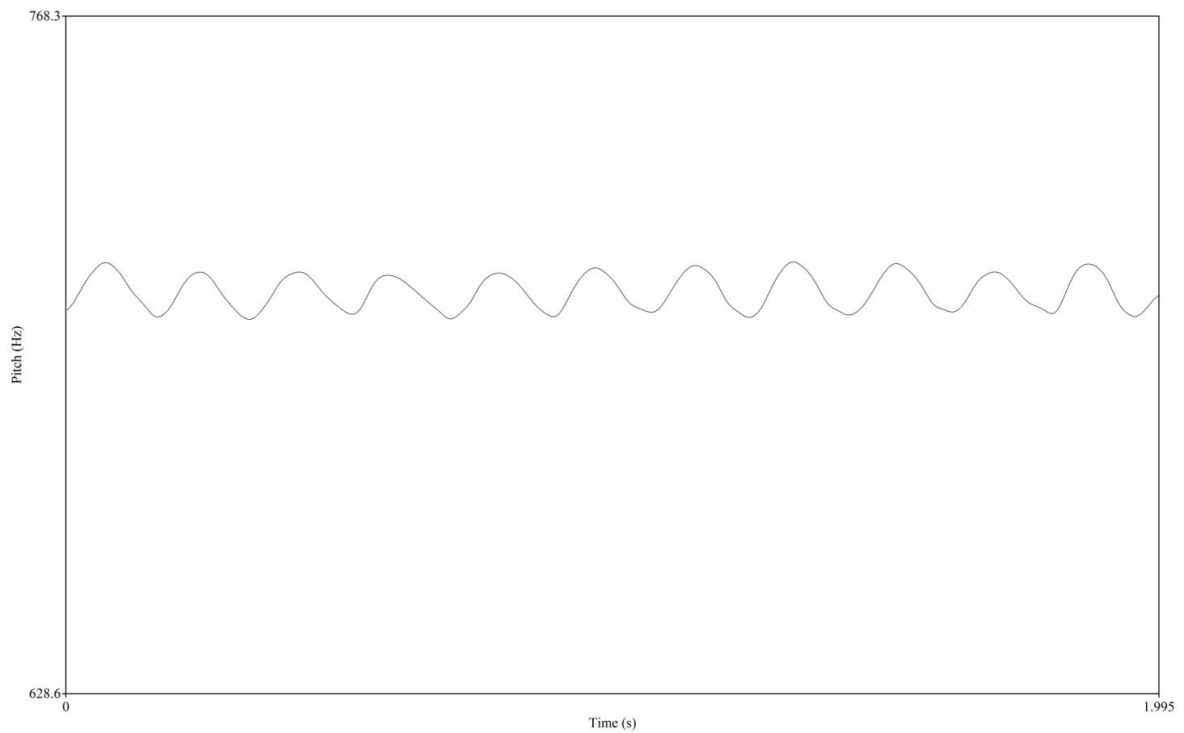


**Figura 83:** Flautista 12 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

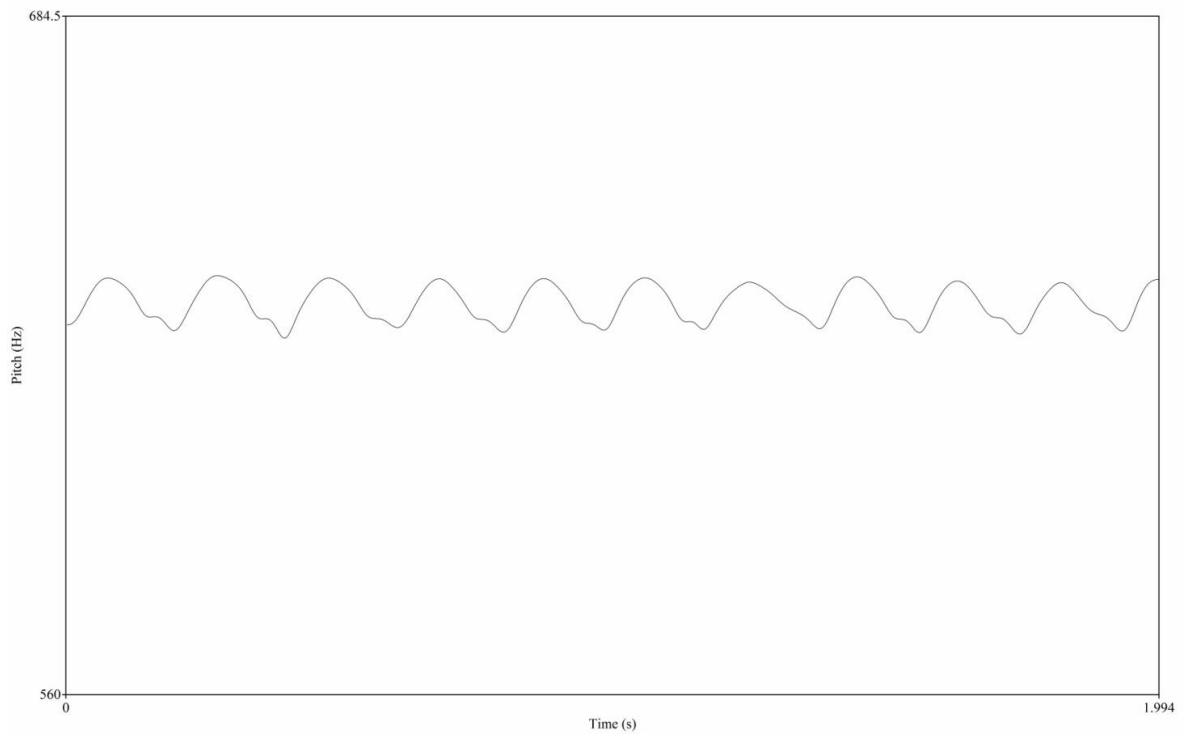


**Figura 84:** Flautista 12 - nota Sol suspenido 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 12 - registro médio:** nota Fá 4 com pequena tendência senoidal e nota Ré sustenido 4 com aclave mais curto que o declive.

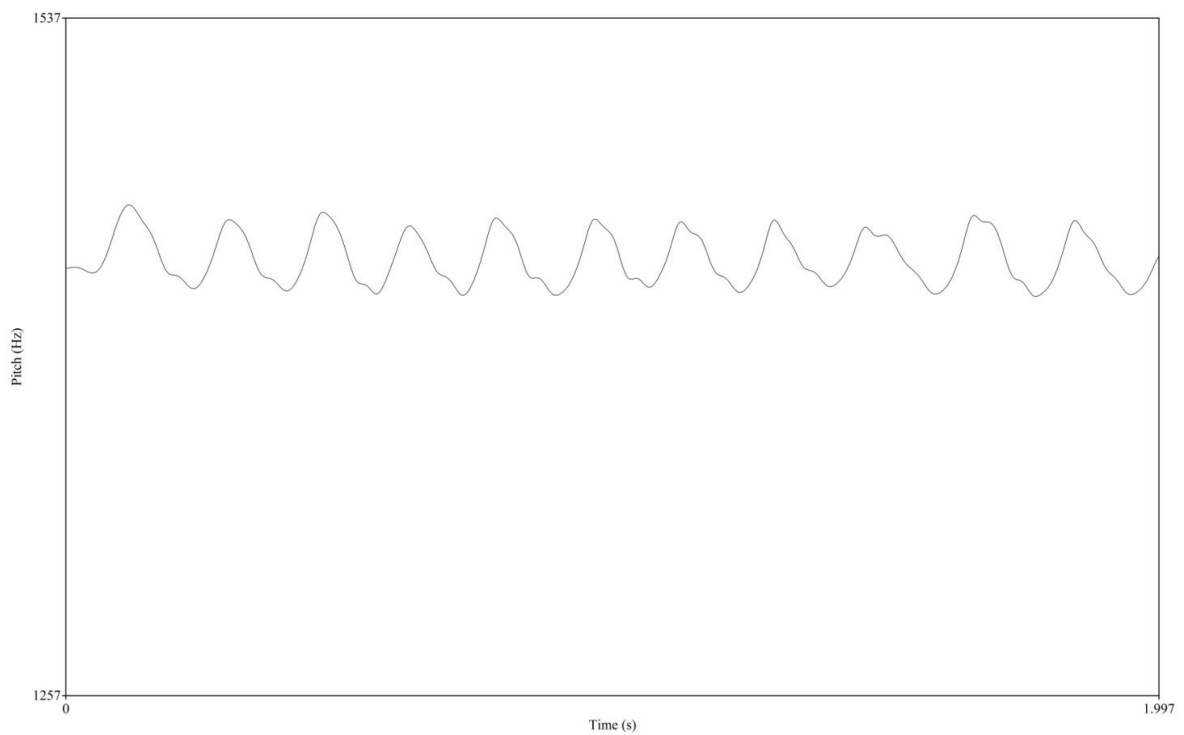


**Figura 85:** Flautista 12 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

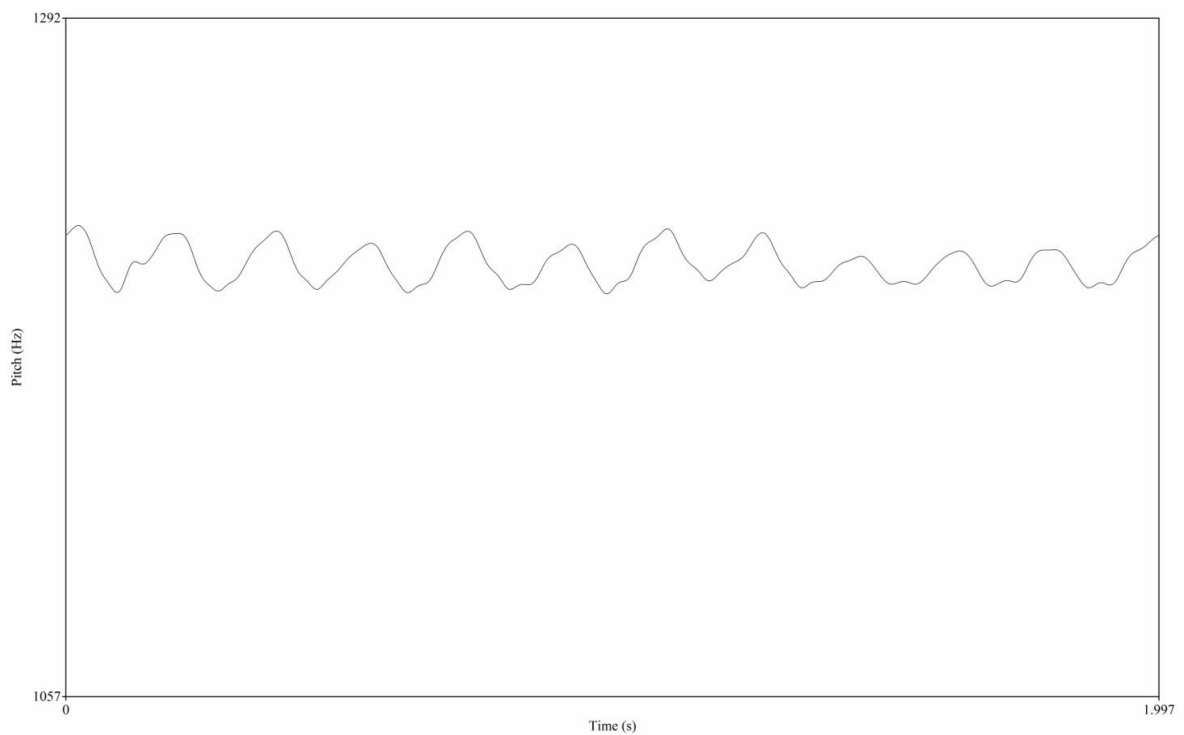


**Figura 86:** Flautista 12 - nota Ré sustenido 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 12 - registro agudo:** nota Fá 5 com aclave mais curto que o declive. Nota Ré 5 com onda irregular.

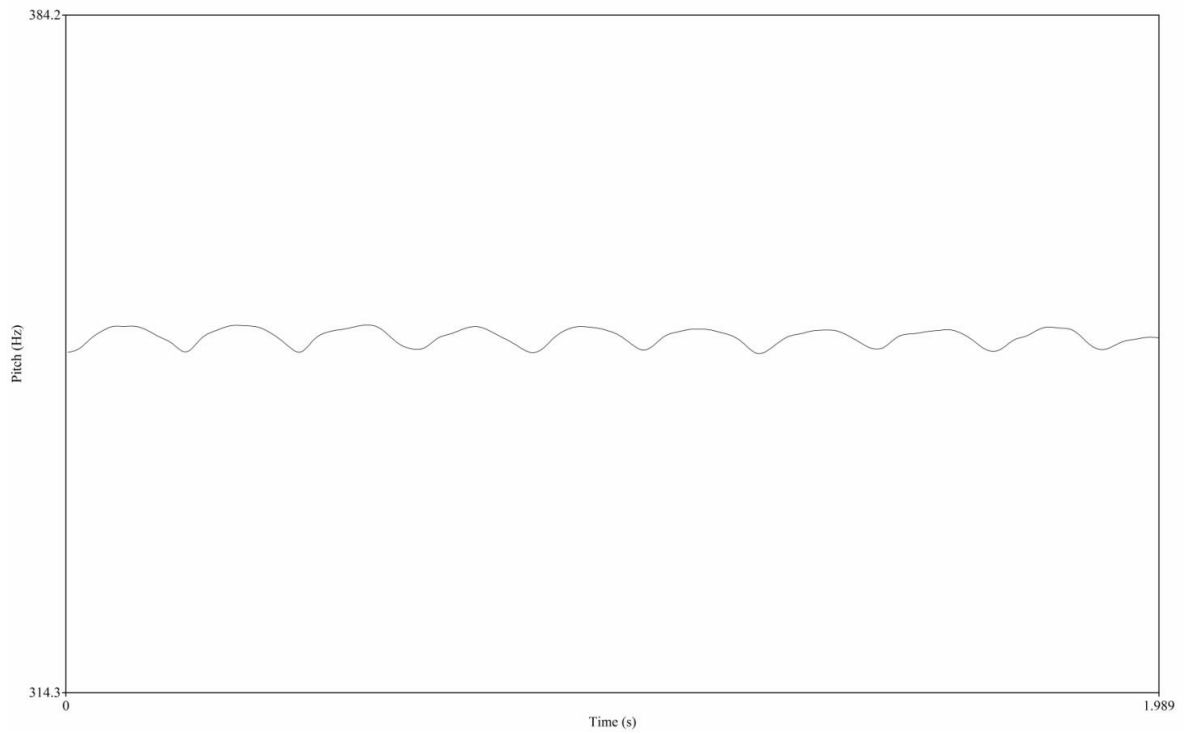


**Figura 87:** Flautista 12 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

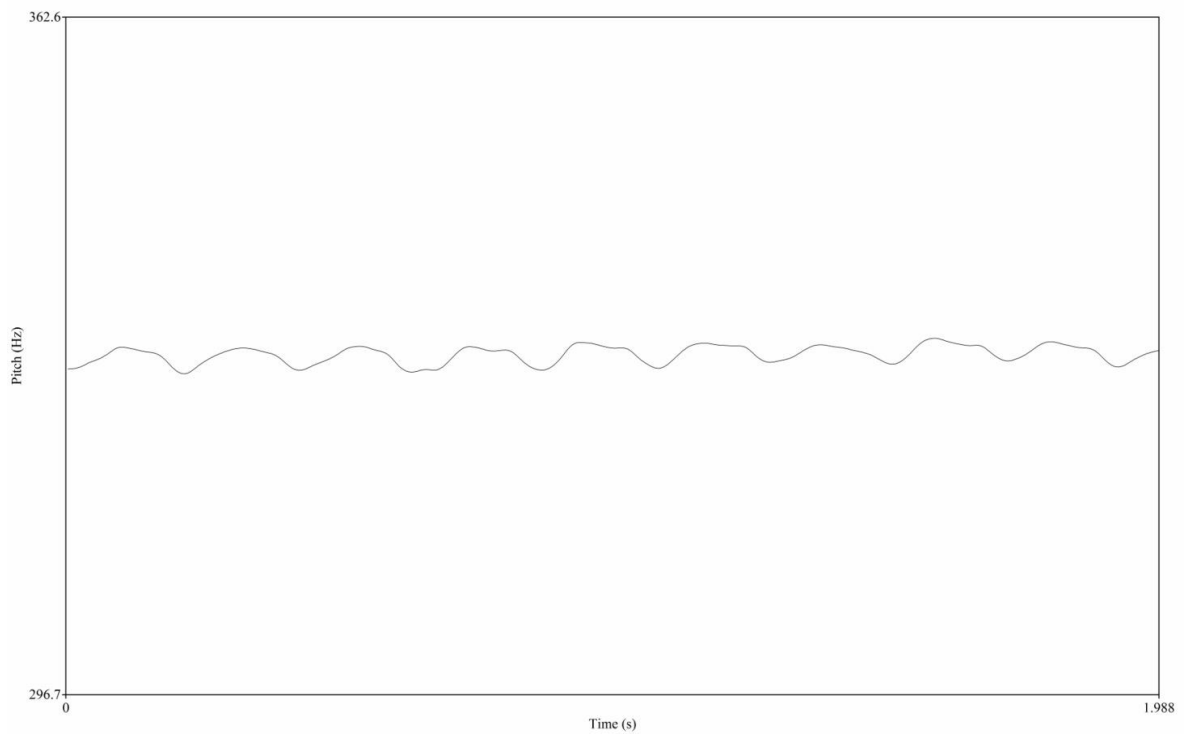


**Figura 88:** Flautista 12 - nota Ré 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 13 - registro grave: alongamentos no topo onda.**

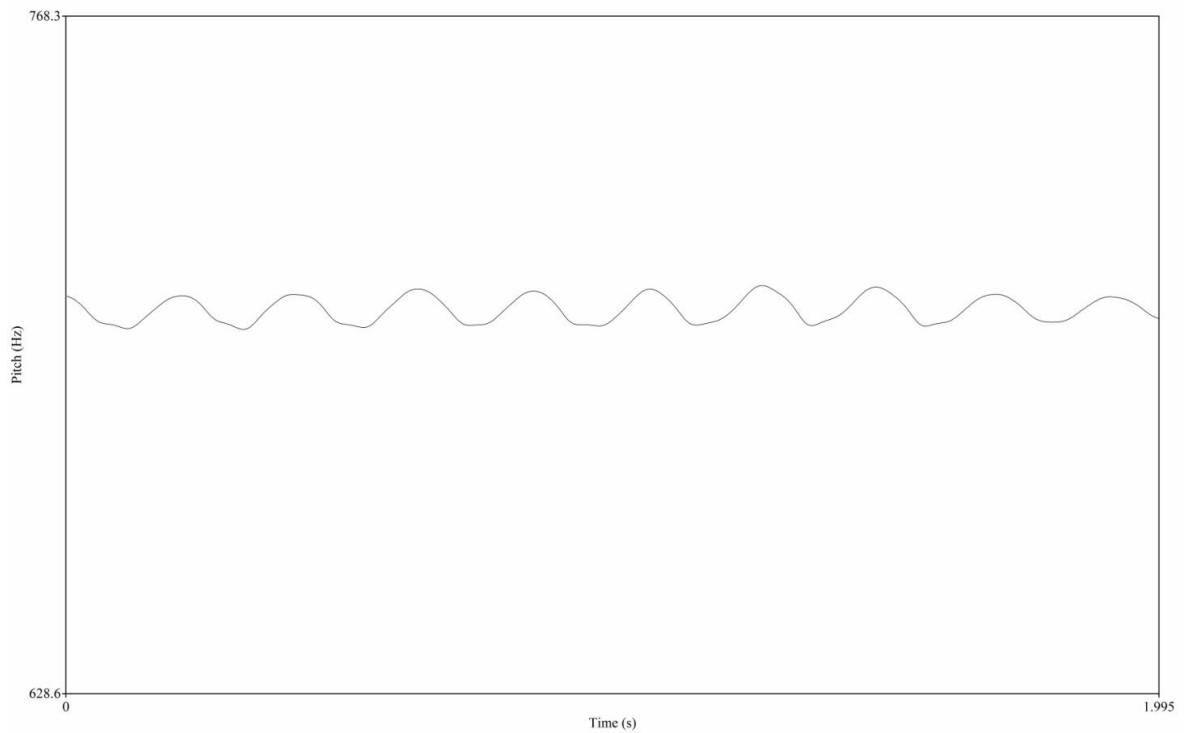


**Figura 89:** Flautista 13 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

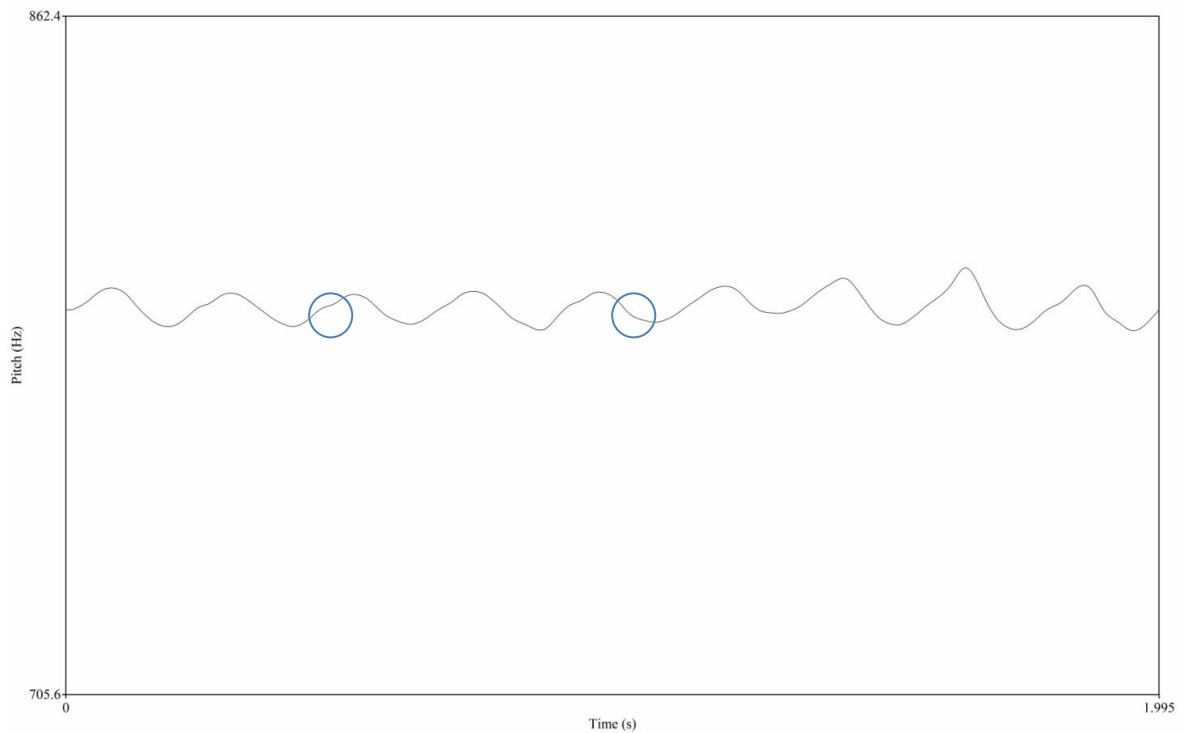


**Figura 90:** Flautista 13 - nota Mi 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 13 - registro médio:** nota Fá 4 com pequena tendência senoidal. Nota Sol 4 com acento mais longo que o declive.

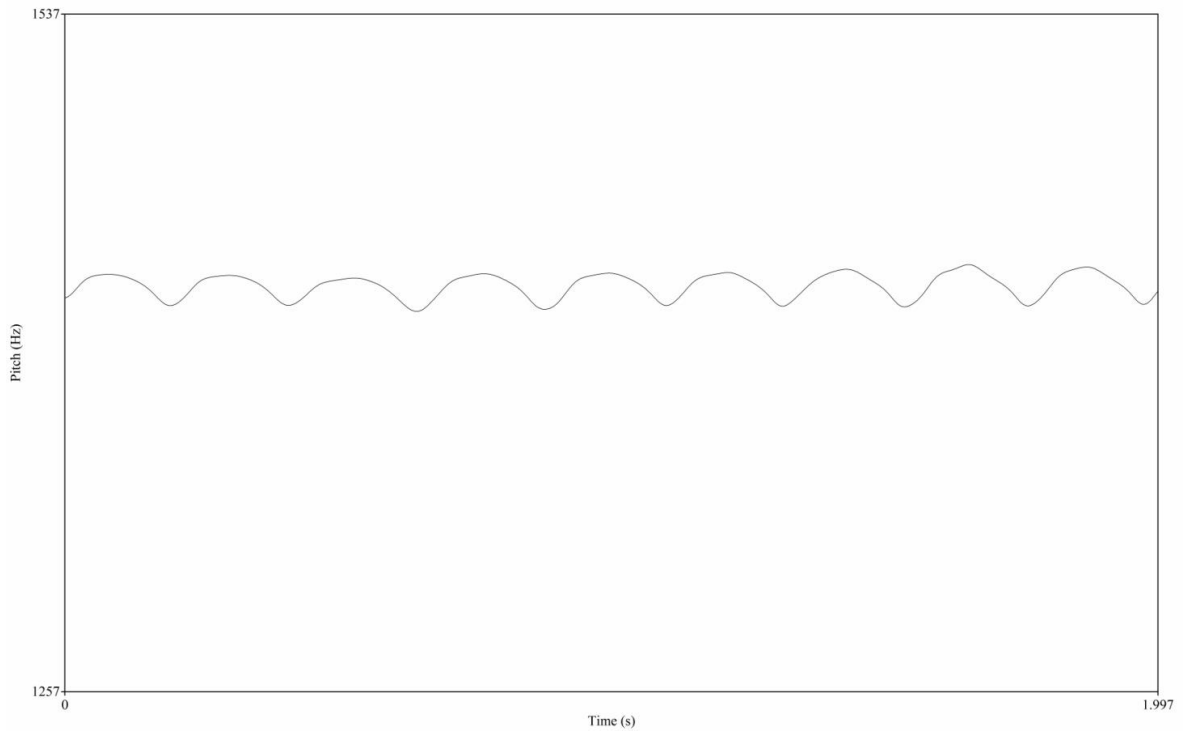


**Figura 91:** Flautista 13 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

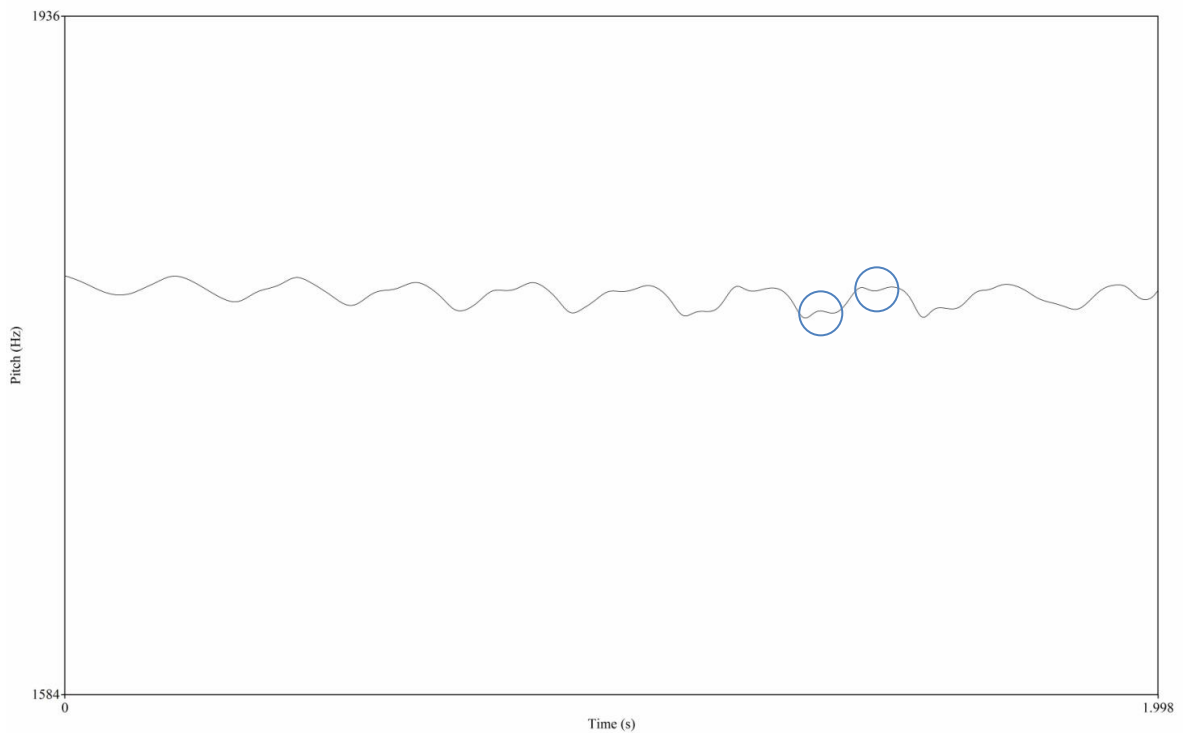


**Figura 92:** Flautista 13 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 13 - registro agudo:** nota Fá 5 com alongamentos no topo da onda. Nota Lá 5 com a parte com picos na base e depressões no topo.

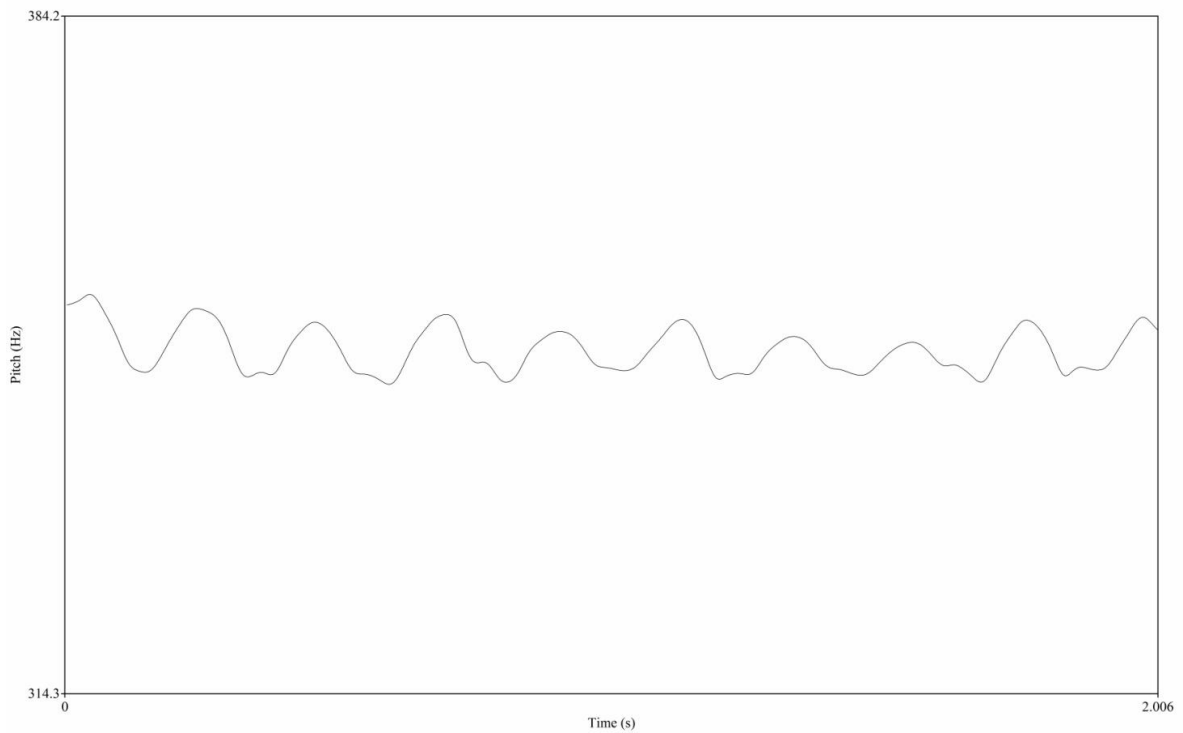


**Figura 93:** Flautista 13 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

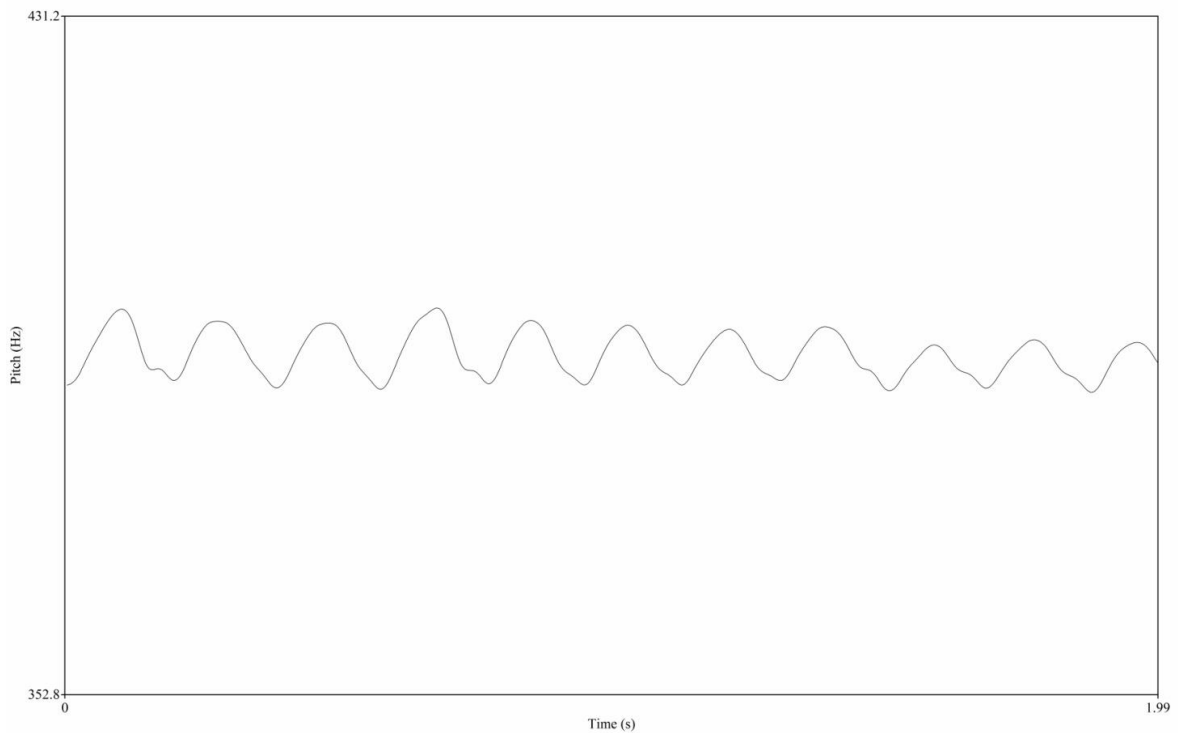


**Figura 94:** Flautista 13 - nota Lá 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 14 - registro grave:** Fá 3 com ondas irregulares. Nota Sol 3 com tendência de aclave mais curto que o declive.

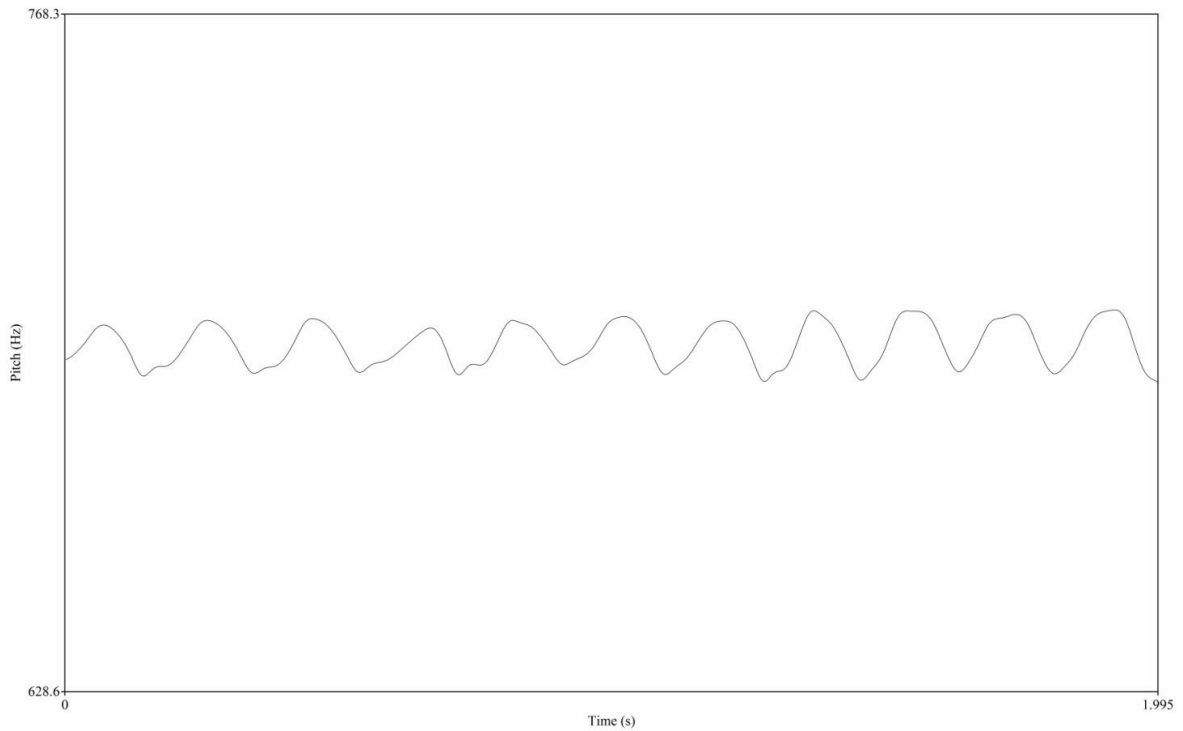


**Figura 95:** Flautista 14 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

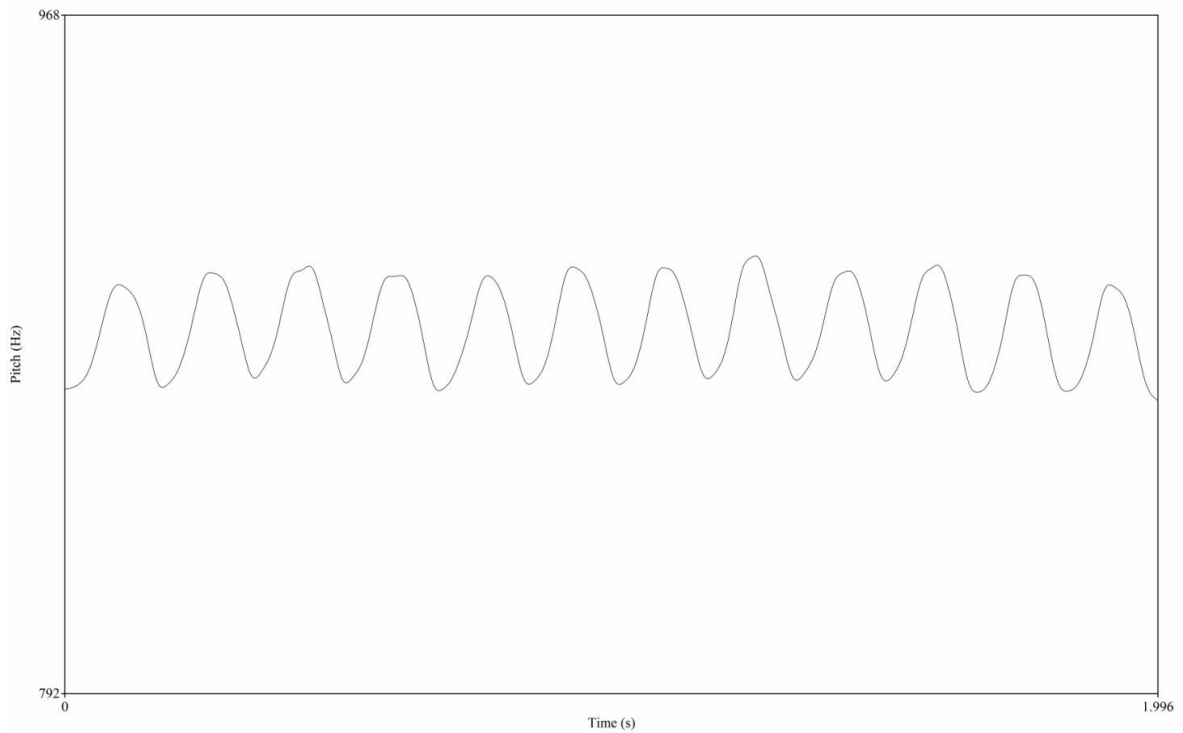


**Figura 96:** Flautista 14 - nota Sol 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 14 - registro médio:** nota Fá 4 com ondas irregulares. Nota Lá 4 com tendência senoidal.

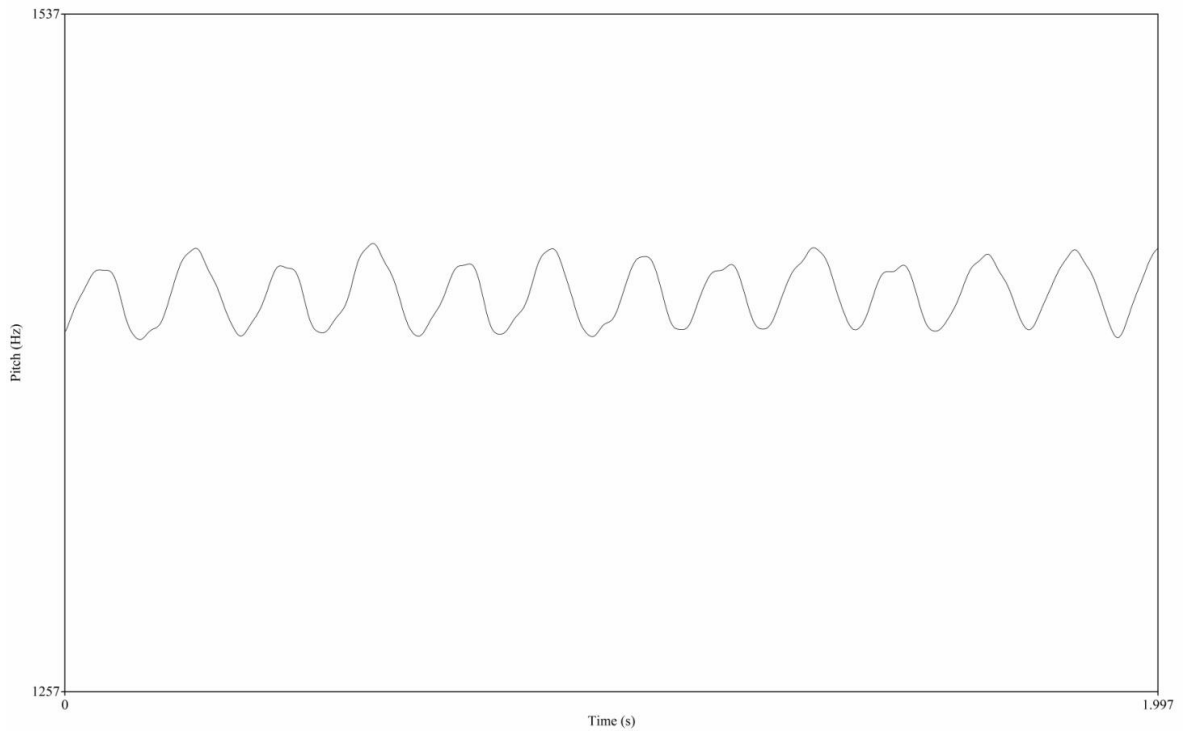


**Figura 97:** Flautista 14 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

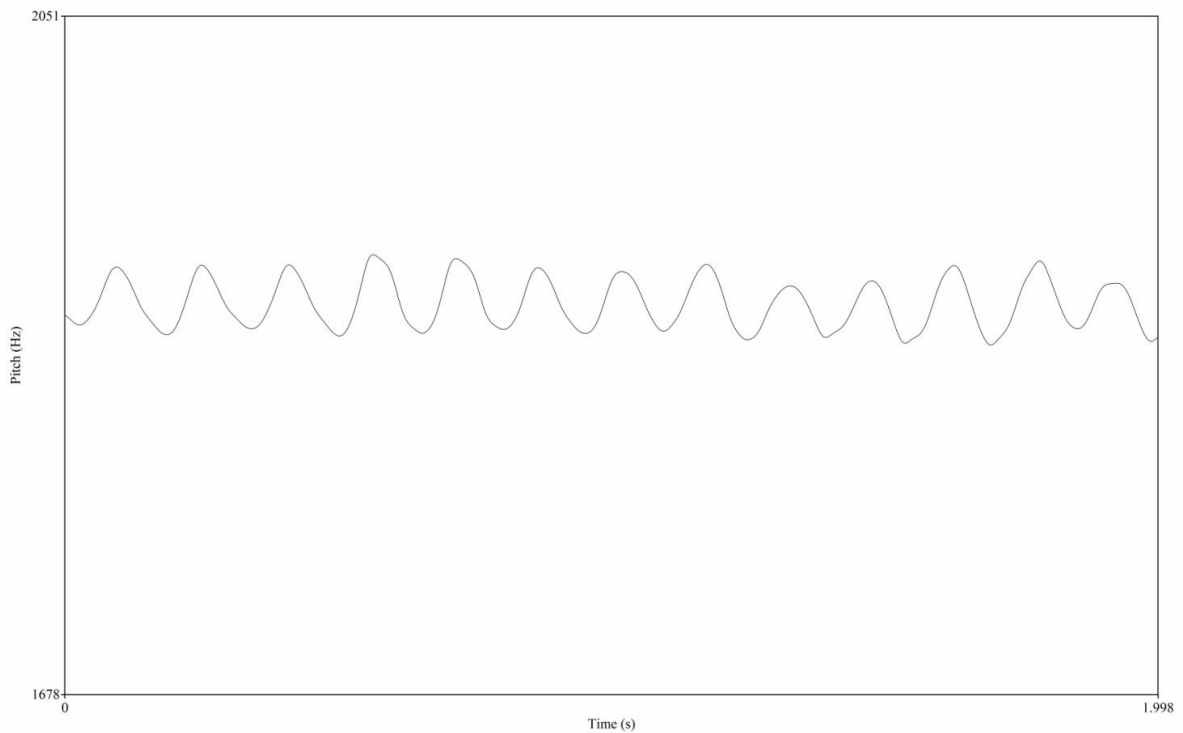


**Figura 98:** Flautista 14 - nota Lá 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 14 - registro agudo:** nota Fá 5 pouco irregular, em alguns pontos o aclave se apresenta mais longo que o declive. Nota Lá susenido 5 com pequena tendência senoidal.

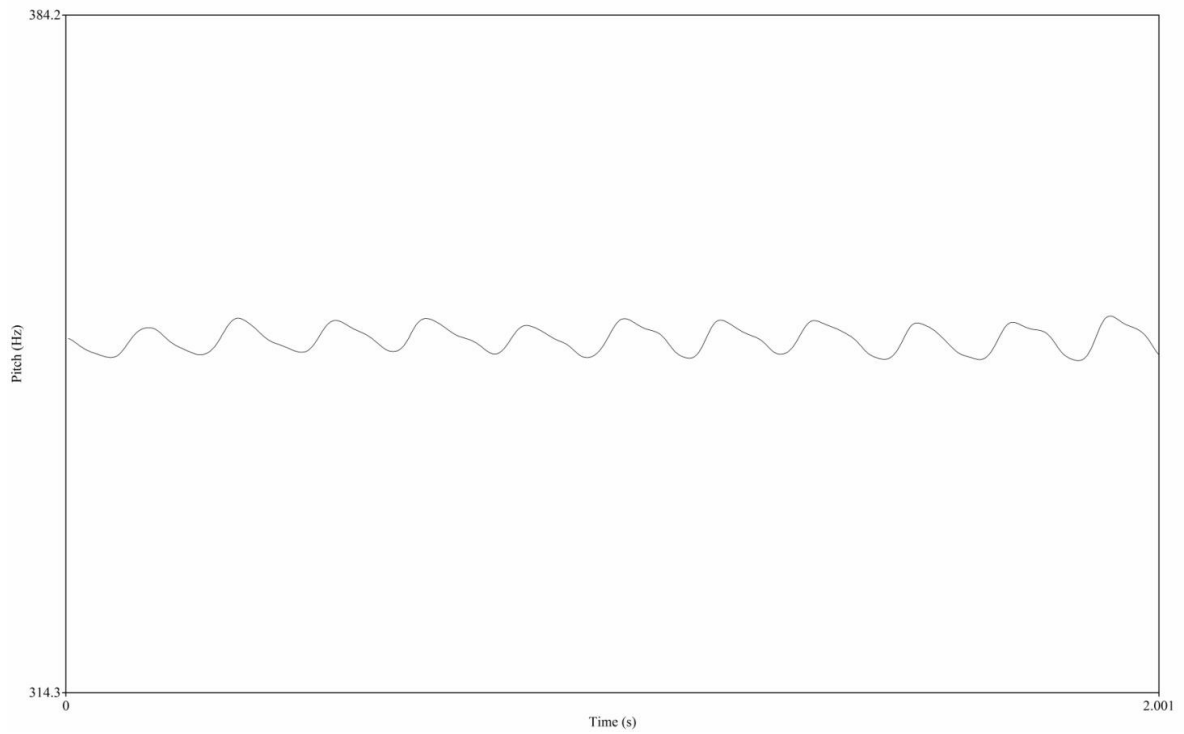


**Figura 99:** Flautista 14 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

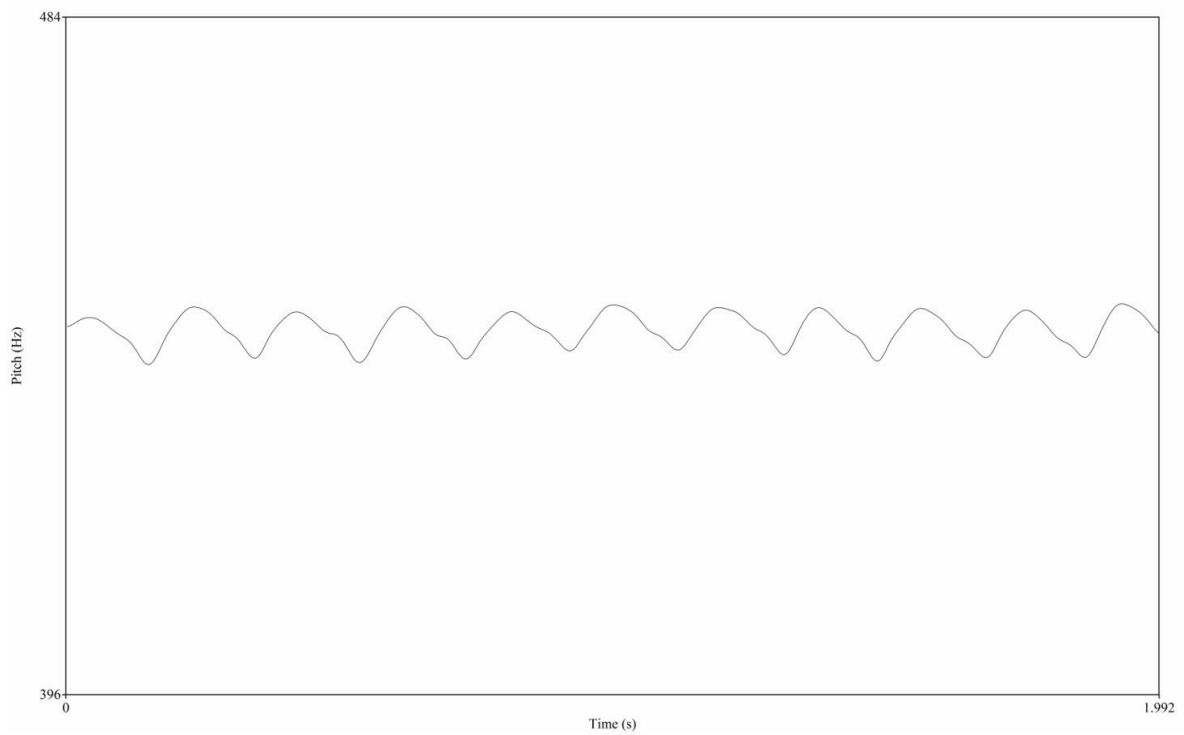


**Figura 100:** Flautista 14 - nota Lá susenido 5, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 15 - registro grave: aclave mais curto que o declive.**

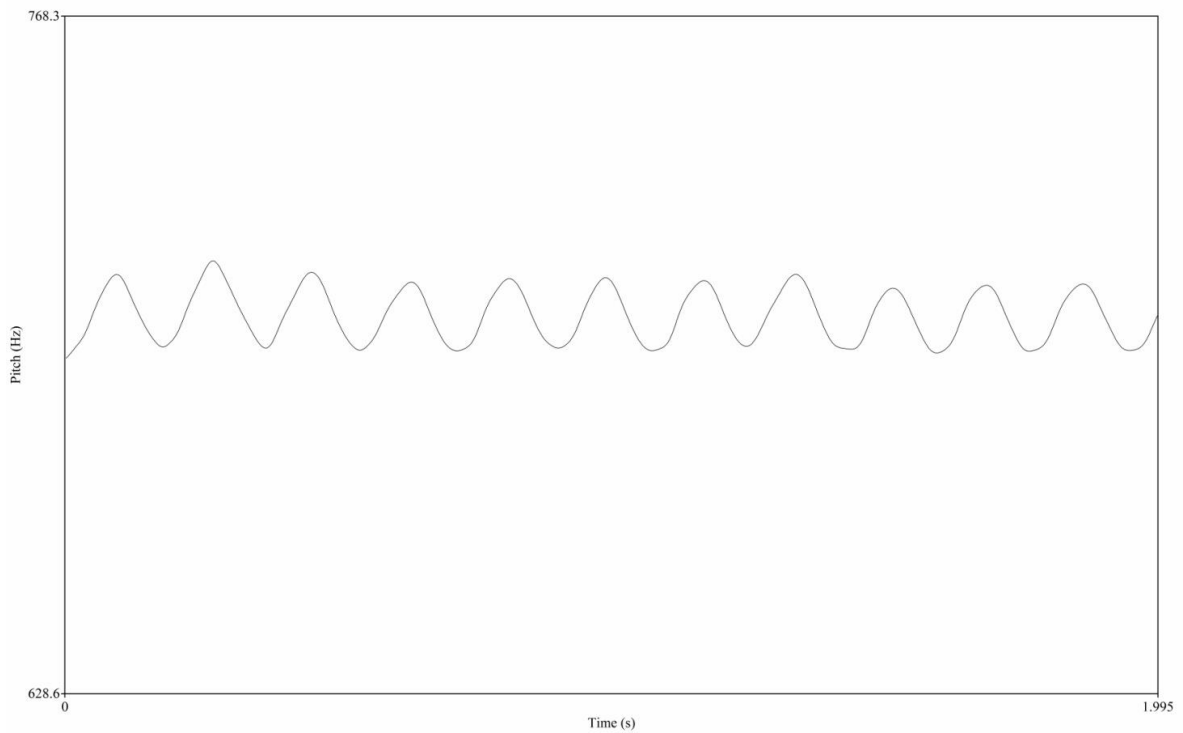


**Figura 101:** Flautista 15 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.

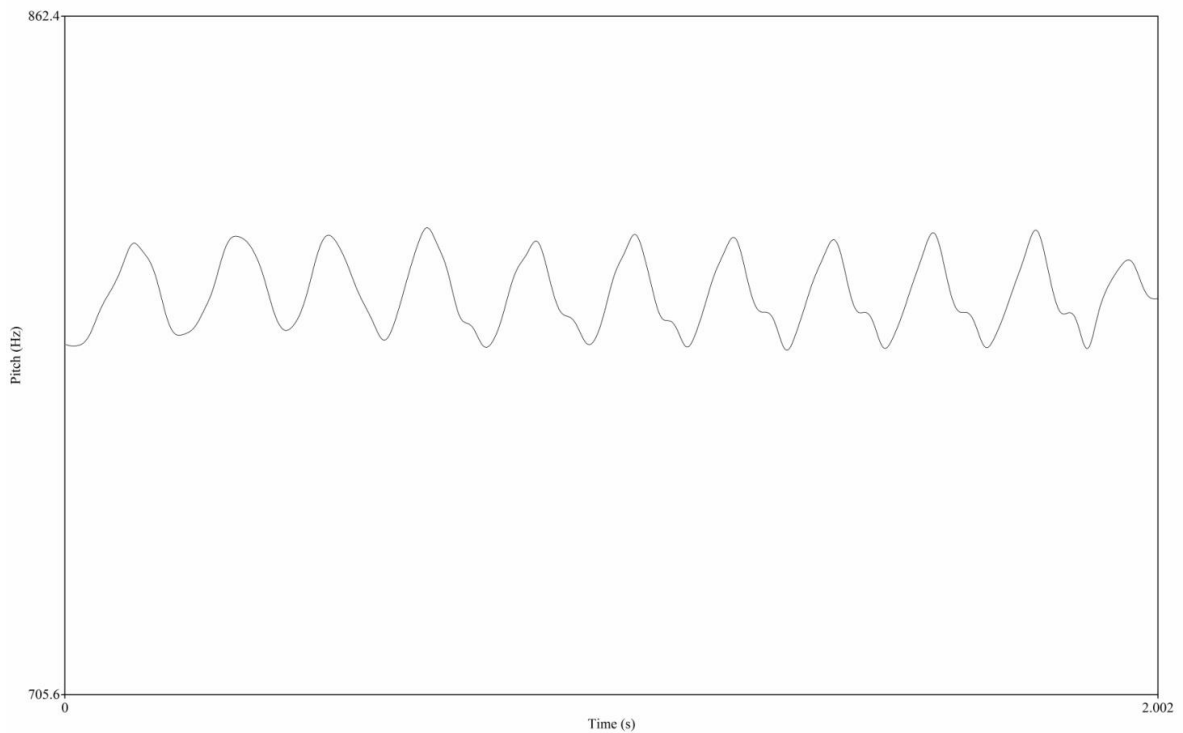


**Figura 102:** Flautista 15 - nota Lá 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 15 - registro médio:** nota Fá 4 com tendência senoidal. Nota Sol 4 com tendência senoidal e aclave mais curto que o declive.

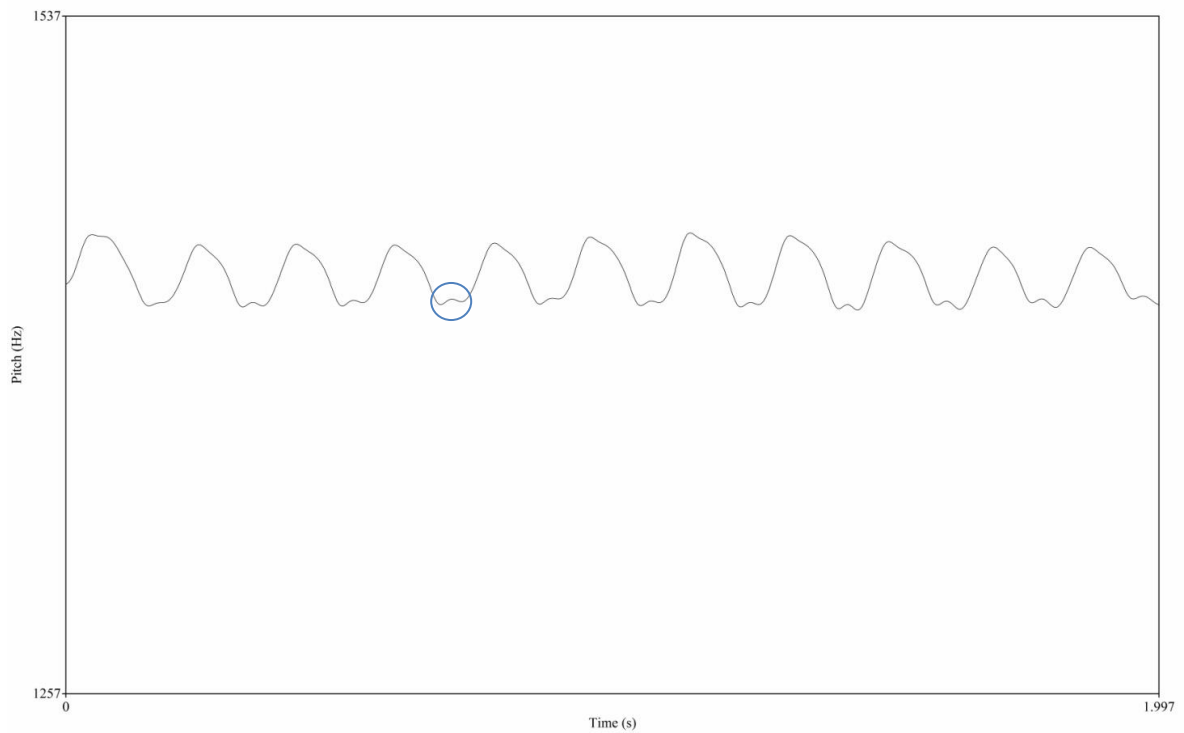


**Figura 103:** Flautista 15 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.

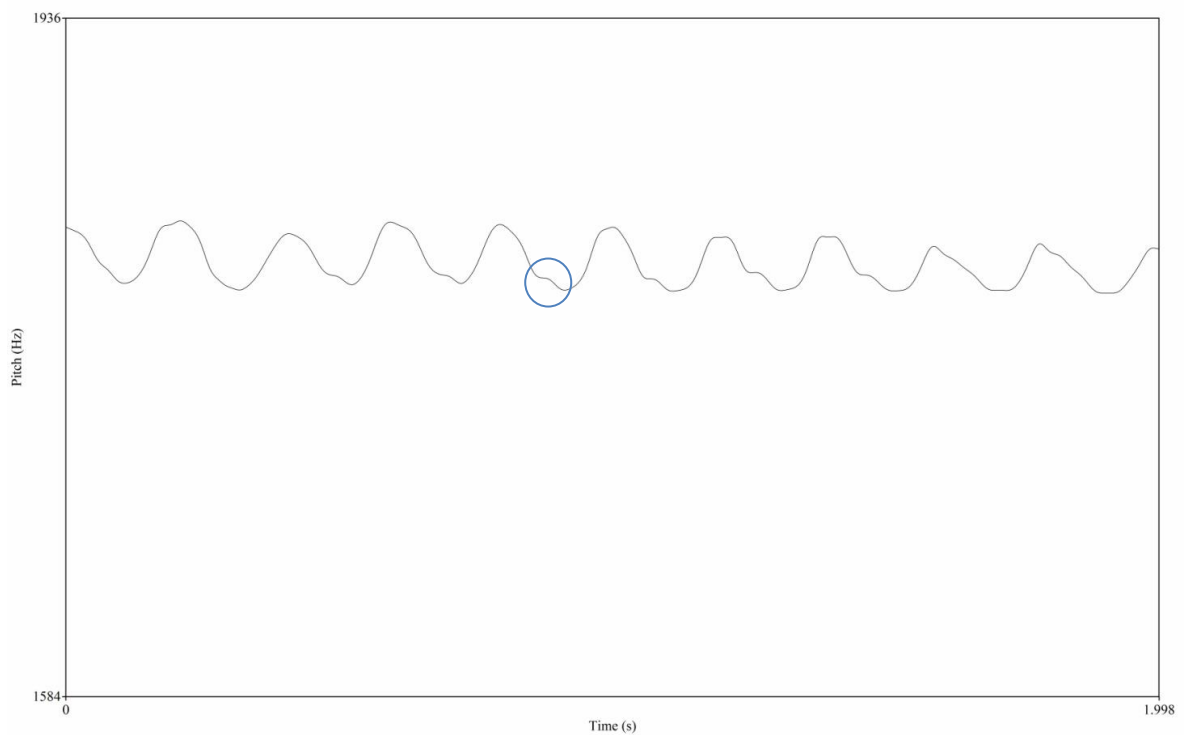


**Figura 104:** Flautista 15 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 15 - registro agudo:** nota Fá 5 com pequenos picos na base da onda. Na nota Lá 5 os picos na base deixam o aclave mais curto que o declive.

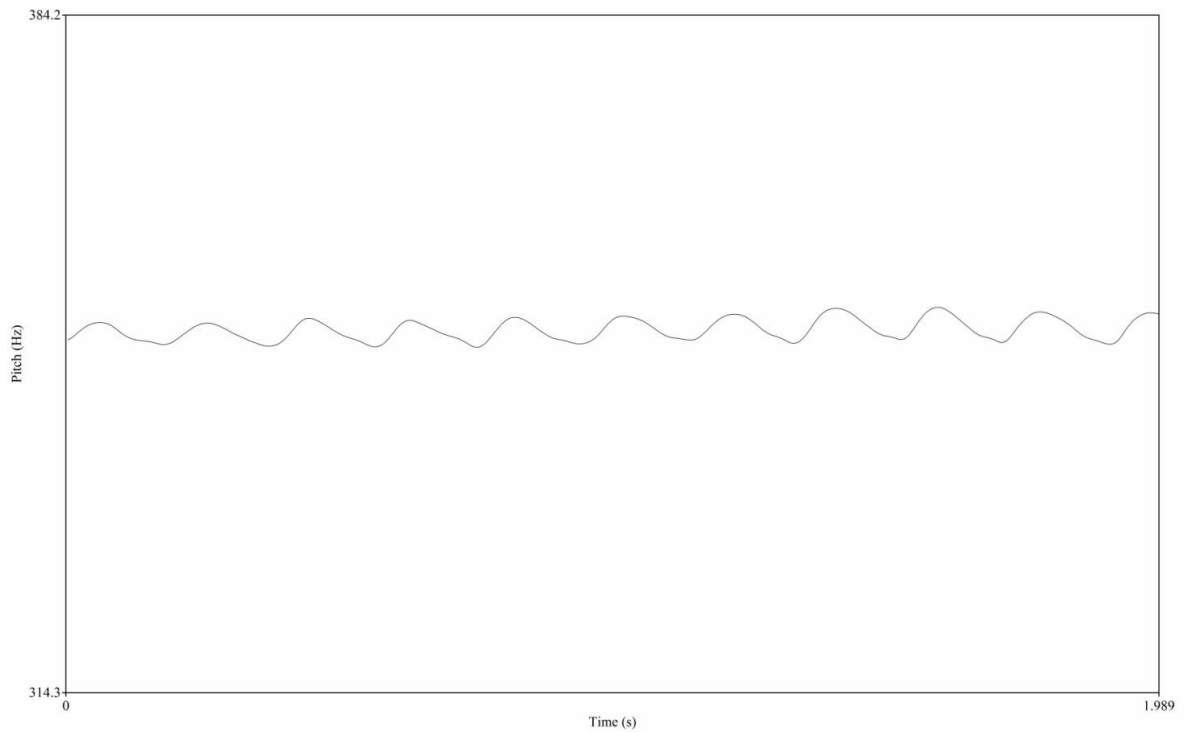


**Figura 105:** Flautista 15 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.

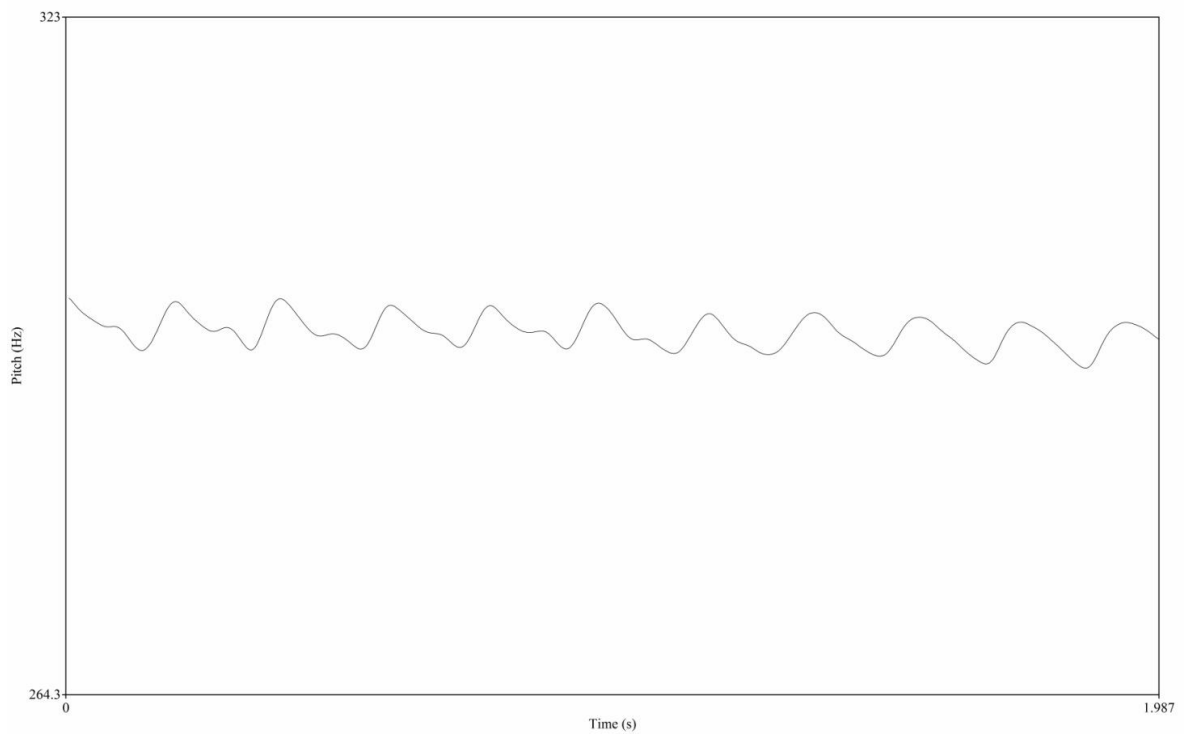


**Figura 106:** Flautista 15 - nota Lá 5, gráfico de frequência x tempo.

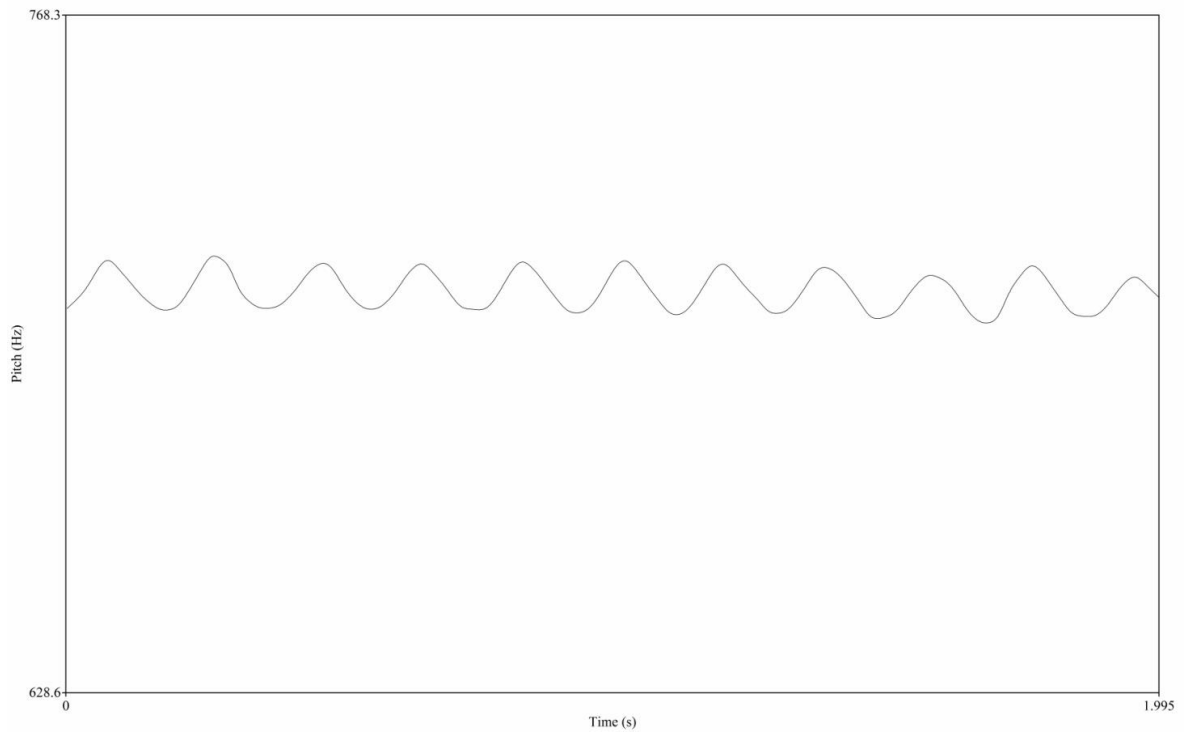
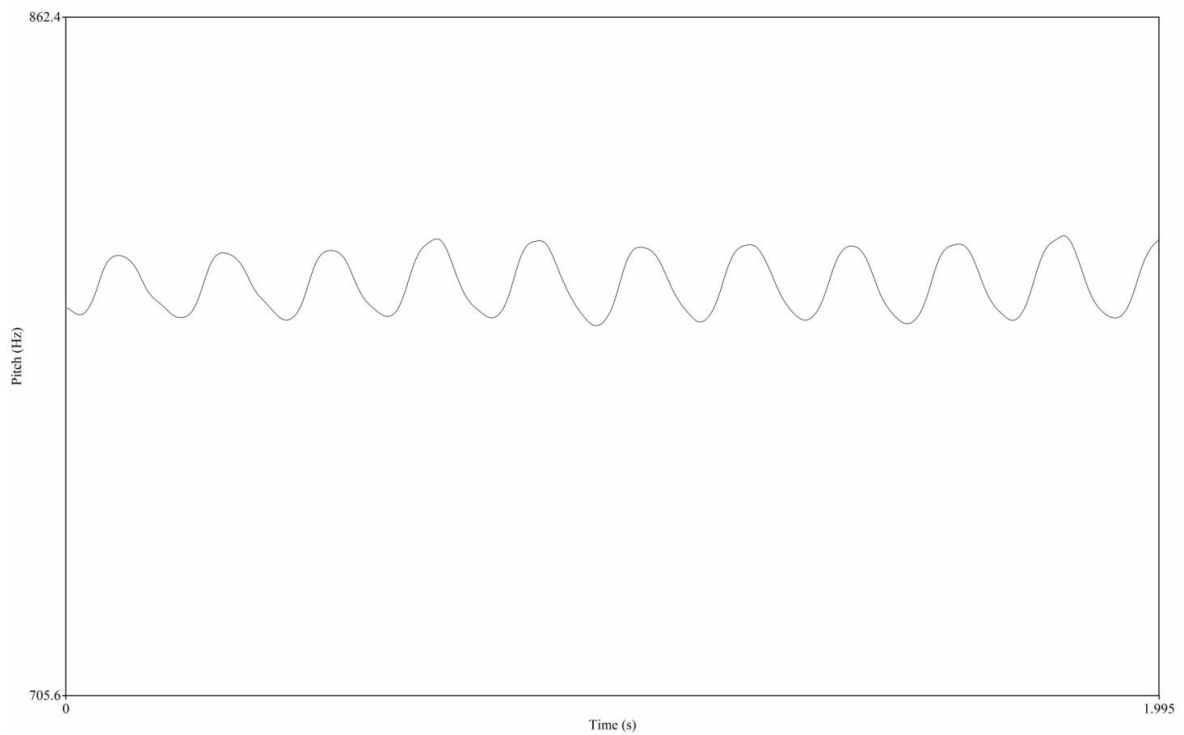
**Flautista 16 - registro grave: aclave mais curto que o declive.**



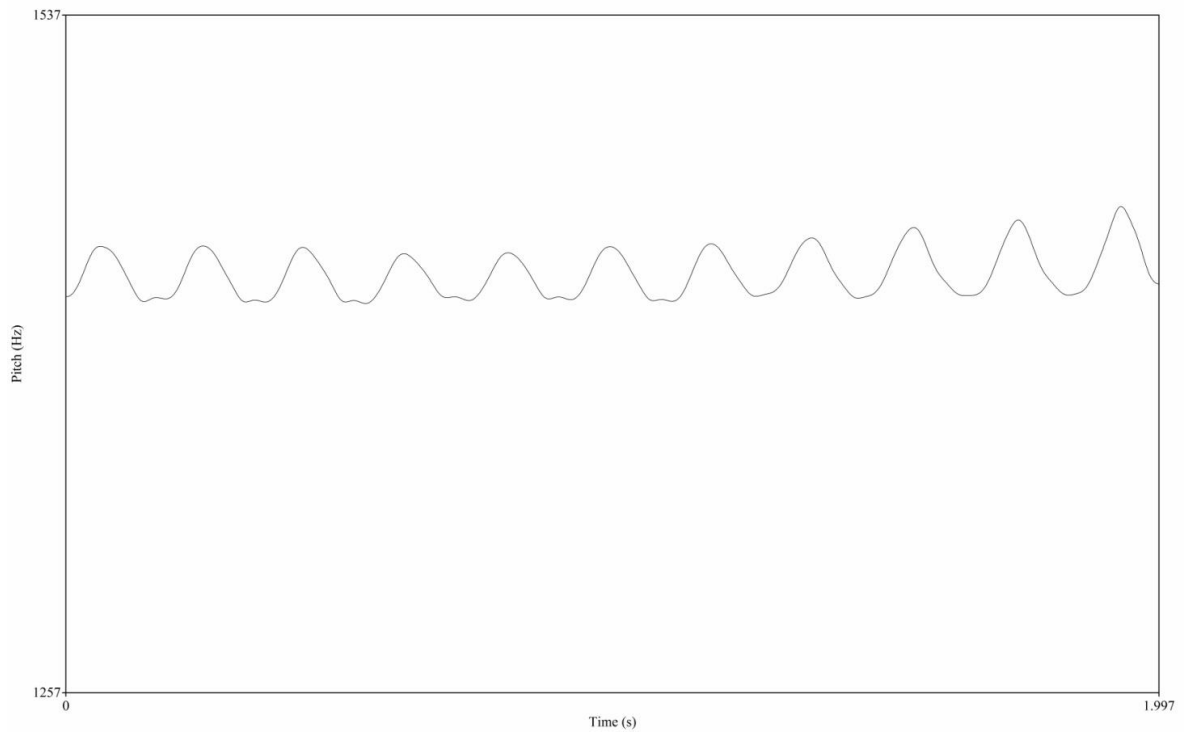
**Figura 107:** Flautista 16 - nota Fá 3, gráfico de frequência x tempo.



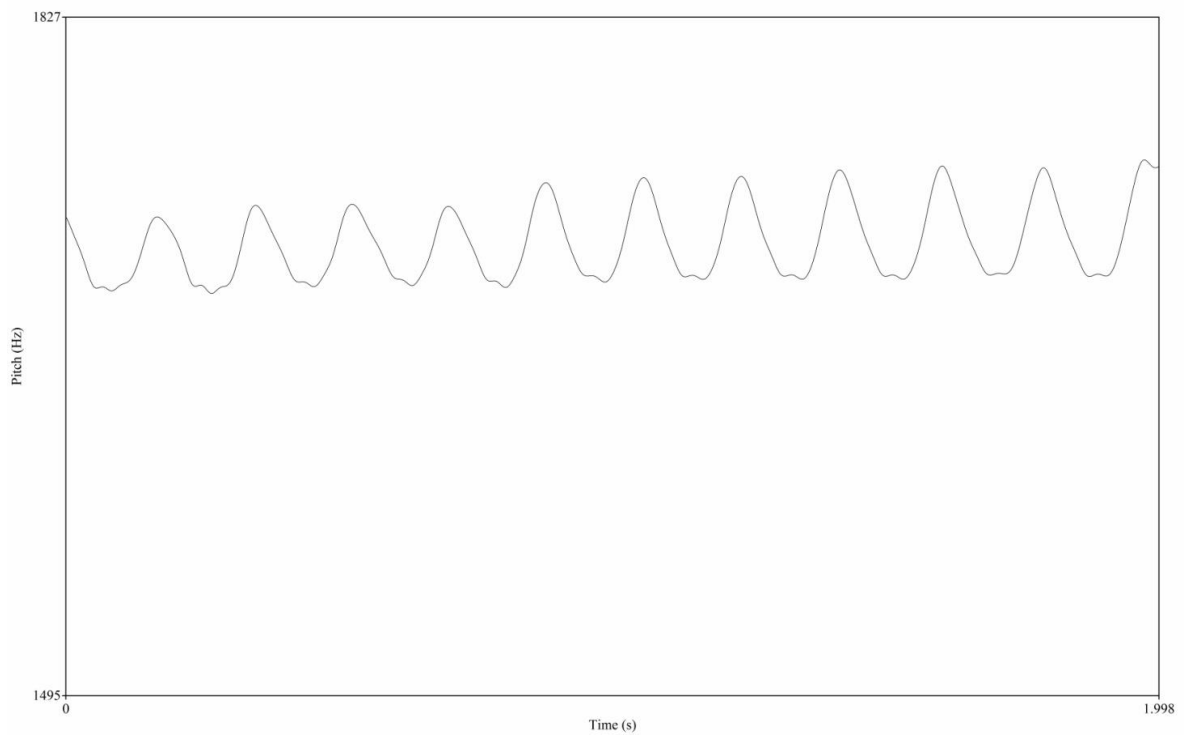
**Figura 108:** Flautista 16 - nota Ré 3, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 16 - registro médio: tendência senoidal.****Figura 109:** Flautista 16 - nota Fá 4, gráfico de frequência x tempo.**Figura 110:** Flautista 16 - nota Sol 4, gráfico de frequência x tempo.

**Flautista 16 - registro agudo:** pequenos picos na base da onda.



**Figura 111:** Flautista 16 - nota Fá 5, gráfico de frequência x tempo.



**Figura 112:** Flautista 16 - nota Sol susenido 5, gráfico de frequência x tempo.

## **5 DISCUSSÃO**

## 5 DISCUSSÃO

Em seu estudo, HORII (1989) descreveu as modulações da frequência fundamental no vibrato vocal. Como foi dito em nossa revisão de literatura, o autor observou padrões senoidais, triangulares e trapezoidais. Na análise dos dados de nossa pesquisa, notamos que o tempo das amostras gravadas tinham durações diferentes. Depois do primeiro recorte, essas amostras passaram a ter entre 4 a 7 segundos. Quando o *software* começou a gerar os gráficos, observamos que cada janela do programa tinha um tamanho diferente, ou seja, um gráfico que se adequava à duração de cada amostra. Era impossível estabelecer os padrões descritos por Horii com os gráficos de tamanhos diferentes, o que nos levou a padronizar o tamanho das amostras em 2 segundos. Com isso, foi possível observar as formas senoidais, triangulares e trapezoidais.

No entanto, decidimos descrever tais modulações como tendências e não como padrões, pois a visualização detalhada dos gráficos gerados pelo *software* PRAAT não nos revelou formas tão nítidas como aquelas ilustradas por Horii em seu trabalho.

Com isso, decidimos fazer considerações sobre o comportamento da forma da onda do vibrato ao invés de classificarmos nossas amostras apenas nos formatos descritos por HORII (1989). Dessa forma, observamos três tendências que não foram discutidas nos estudos precedentes: (1) aclive da onda mais curto que o declive, (2) aclive mais longo que o declive e (3) picos na base da onda. Tais tendências foram muito frequentes no vibrato dos participantes.

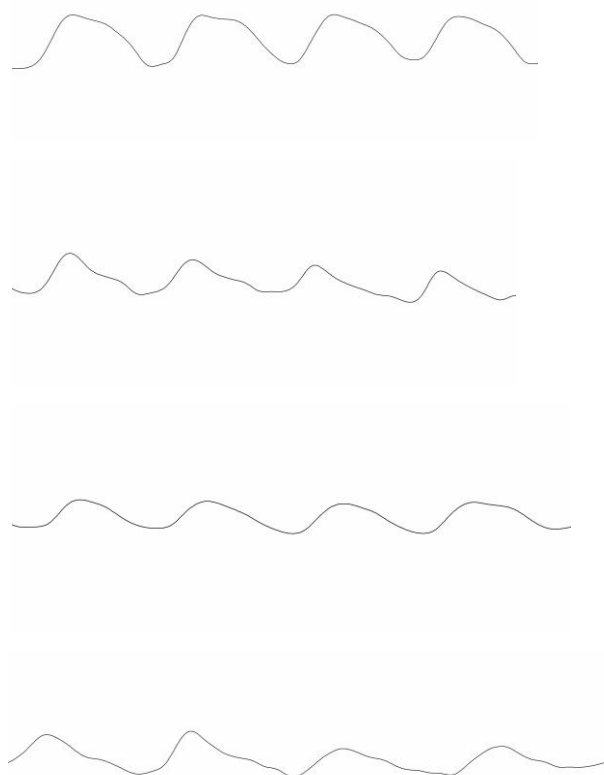
A Tabela 2 indica o resumo geral das características da forma da onda do vibrato de cada flautista analisado. A barra horizontal aponta as tendências observadas e a barra vertical aponta os registros grave, médio e agudo. Dentro dos quadros estão indicados os flautistas que apresentaram a tendência correspondente, lembrando que cada flautista executou duas notas para cada registro. Assim sendo, as notas entre parênteses significam que apenas uma das notas apresentou a tendência indicada e não todo o registro. Cada quadro contém o número total de amostras que apresentaram as respectivas tendências.

Registro	Tendência senoidal	Tendência triangular	Topo alongado/ *Trapezoidal **Senoidal no topo e triangular na base	Aclive mais curto que declive	Aclive mais longo que declive	Picos na base da onda	Irregular
Grave	Fl.10 (Fá) Fl.4 Fl.5  Total: 5		Fl.11* Fl.13  Total: 4	Fl.1 Fl.2 Fl.3 Fl.5 Fl.8 Fl.12 (Fá) Fl.14 (Sol) Fl.15 Fl.16 Total: 16		Fl.10 (Dó)  Total: 1	Fl.3 Fl.6 Fl.7 Fl.9 Fl.12 (Sol#) Fl.14 (Fá)  Total: 10
Médio	Fl.4 (Fá) Fl.5 (Mi) Fl.9 (Fá) Fl.10 (Fá) Fl.12 (Fá) Fl.13 (Fá) Fl.14 (Lá) Fl.15 (Fá) Fl.16 Total: 10	Fl.1 (Sol) Fl.4 (Dó) Fl.10 (Sol) Fl.11 (Fá)  Total: 4	Fl.1 (Fá)* Fl.3(Fá)*  Total: 2	Fl.1 Fl.9 (Fá) Fl.10 (Sol) Fl.12(Ré#) Fl.15 (Sol) Total: 6	Fl.2 (Fá) Fl.8 (Fá) Fl.13 (Sol)  Total: 3	Fl.2 (Sol)  Total: 1	Fl.3 (Sol) Fl.5 (Fá) Fl.6 Fl.7 Fl.9 (Sol) Fl.11 (Dó) Fl.14 (Fá)  Total: 9
Agudo	Fl.2 Fl.3 (Fá) Fl.4 (Fá) Fl.14 (Lá#) Total: 5	Fl.4 (Ré) Fl.10 Fl.11 Total: 5	Fl.3 (Ré)** Fl.9** Fl.13 (Fá) Total: 4	Fl.12 (Fá) Fl.15 (Lá) Total: 2	Fl.11 (Ré) Fl.13 (Lá) Total: 2	Fl.1 Fl.5 Fl.8 (Sol) Fl.15 (Fá) Fl.16 Total: 8	Fl.6 Fl.7 Fl.8 (Fá) Fl.12 (Ré) Fl.14 (Fá) Total: 4

**Tabela 2:** Resumo geral – tendências da forma da onda do vibrato dos flautistas analisados.

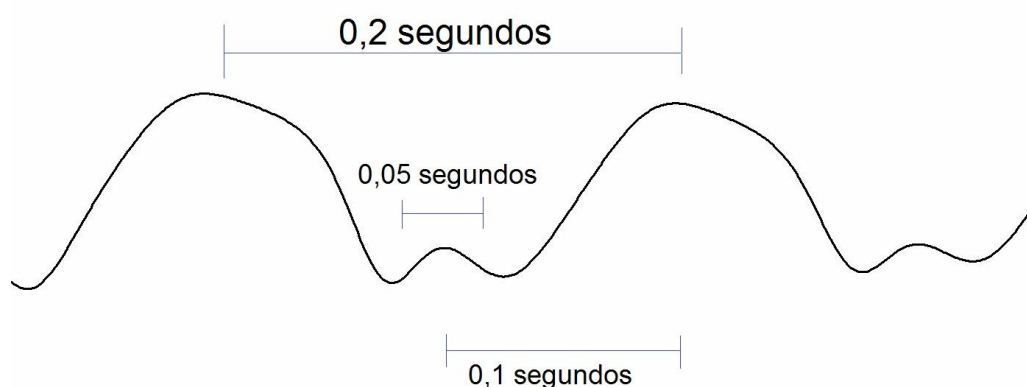
É importante dizer que as tendências encontradas nas amostras analisadas acontecem em um curto período de tempo, isso sugere que o flautista não exerce controle intencional sobre o desenho do contorno da onda de seu vibrato. O aclave da onda mais curto que o declive, por exemplo, significa que de alguma maneira o vibrato causa um desvio de frequência que sobe rápido e desce mais lento. Se imaginássemos um violinista tocando uma nota com vibrato, seria como se o seu dedo movimentasse rápido para a direita e mais lento para a esquerda. Quanto ao aclave mais longo que o declive, seria o raciocínio contrário, ou seja, a frequência sobe devagar e desce mais rápido.

Vale ressaltar que apesar de terem amostras classificadas na mesma categoria, existem particularidades para cada um desses dados. Isso indica que o aclave mais curto que o declive do vibrato de um flautista, por exemplo, não é igual a de outro flautista. Para ilustrar esse fato, fizemos uma montagem representada pela Figura 113 que nos mostra quatro flautistas tocando a nota Fá 3 com a tendência de aclave da onda mais curto que o declive.



**Figura 113:** Flautistas 1, 2, 5 e 6 com tendência de aclave mais curto que declive na nota Fá 3.

Quanto aos picos na base da onda, a descrição já é bem clara, a frequência tem um pequeno pico antes de subir. O impressionante é a velocidade com que isso acontece. Se um flautista, por exemplo, apresenta uma taxa de vibrato de 5Hz, ou seja, o vibrato apresenta 5 oscilações por segundo, o pico que aparece na base da onda acontece em um curto intervalo de tempo, aproximadamente 0,05 segundos. A Figura 114 ilustra esse exemplo.



**Figura 114:** Velocidade com que o pico na base da onda acontece.

É importante lembrar que o vibrato na flauta é preponderantemente de intensidade, o que vale defini-lo como uma sequência de pequenos crescendos e decrescendos. No entanto, FLETCHER (1974) nos explica que a variação de intensidade característica do vibrato na flauta causa como efeito colateral as variações de frequência. Com isso, conseguimos entender melhor o que acontece com a frequência da nota com vibrato nas amostras analisadas. Na tendência trapezoidal, por exemplo, há um alongamento no topo da onda. Isso significa que a frequência fundamental sobe, se mantém nessa altura e em seguida desce. Mas como foi dito anteriormente, isso acontece em um intervalo de tempo muito curto.

Na tendência triangular a frequência não se mantém no topo nem na base da onda, ao contrário da tendência senoidal, onde as formas arredondadas do topo e da base indicam que a frequência permanece ali por um tempo ligeiramente maior. Em algumas das amostras, foram observadas mais de uma tendência no contorno da flutuação de frequência para a mesma nota. A nota Sol 5 executada pelo flautista 9, por exemplo, apresenta uma tendência senoidal no topo e triangular na base da onda.

Com relação à repetição das tendências entre os registros, podemos dizer que nenhum flautista apresentou essa característica. Apenas cinco participantes apresentaram uma tendência semelhante para cada registro, individualmente. Ou seja, o flautista 5, por exemplo, apresentou aclive mais curto que o declive no registro grave, tendência senoidal no registro médio e picos na base da onda no registro agudo. O aclive mais curto que o declive foi a tendência mais comum entre os flautistas, principalmente no registro grave. 23 amostras apresentaram formas irregulares que dificultaram suas classificações e apenas uma amostra apresentou pequenas depressões no topo da onda, a nota Lá 4 executada pelo flautista 8.

No início de nosso projeto, levantamos a hipótese de que as características físicas da forma da onda provocada pelo uso do vibrato poderiam ser fatores que justificassem a identidade sonora de um flautista. Isso nos levou a pensar que se a forma da onda fosse a mesma nos três registros do instrumento, tal hipótese poderia ser confirmada.

No entanto, ao iniciarmos nossos estudos e com as respostas vindas da análise dos dados de nossa pesquisa, descobrimos que a hipótese levantada no início do projeto dificilmente seria confirmada. Com a ajuda do *software* PRAAT, descobrimos que a forma da onda do vibrato de um flautista é um fenômeno bastante complexo. Ao mesmo tempo que as formas não se mantinham as mesmas entre os registros, observamos que os desenhos iam além da simples classificação de formas senoidais, triangulares e trapezoidais encontradas na literatura.

Com isso, surgiu a seguinte questão: já que a forma da onda dificilmente se mantém a mesma entre os registros, essa variável acústica pode então ser excluída dos fatores que influenciam na identidade sonora de um flautista? Acreditamos que não. As variações que ocorrem na forma da onda, no curto intervalo de aproximadamente 0,05 segundos, podem ter uma forte influência na percepção geral do vibrato. Como dito anteriormente, o vibrato é um importante fator na especificidade sonora de um flautista. Dentre os participantes de nossa pesquisa, cinco são profissionais que dominam a técnica do vibrato perfeitamente. Além disso, podemos dizer que cada um desses músicos apresentam um vibrato com características individuais do ponto de vista da percepção sonora. Sendo assim, a questão agora é saber o que causa essas pequenas variações na forma da onda,

como elas dialogam com as outras variáveis acústicas causadas pelo vibrato e como tudo isso influencia na identidade sonora do flautista.

Futuramente uma pesquisa poderia gravar vários *takes* de um flautista tocando a mesma nota para testar a consistência de seu vibrato. Se o flautista mantém um padrão de vibrato semelhante ao longo de várias gravações, seria um resultado muito relevante com relação à identidade de seu vibrato.

Como dito em nossa revisão de literatura, MARÉ (2008) explica que as irregularidades na flutuação de frequência causada pelo vibrato é resultado da contração dos músculos abdominais. Esse é um ponto muito válido. No entanto, não podemos desconsiderar a grande atuação dos músculos da garganta na produção do vibrato na flauta. Uma questão sobre essa influência é levantada por HORII (1989), onde o autor sugere algo relacionado a movimentos inconscientes das pregas vocais que podem provocar diferentes formatos na onda do vibrato vocal. A investigação da influência dos músculos da garganta na forma da onda do vibrato na flauta é um importante ponto a ser tratado em futuras pesquisas sobre esse tema.

## **6 CONCLUSÕES**

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a forma da onda do vibrato na flauta com o objetivo de agregar informações válidas ao conhecimento existente sobre esse fenômeno. Através dos resultados de nossa pesquisa, pode-se concluir que:

1. Identificamos os padrões na forma da onda do vibrato na flauta como aqueles descritos por HORII (1989), ou seja, formas senoidais, triangulares e trapezoidais. No entanto, tratamos esses padrões como tendências da forma da onda. Tais tendências não se repetem entre os registros do instrumento.
2. Observamos três tendências que não foram discutidas nos estudos precedentes: (1) aclave da onda mais curto que o declive, (2) aclave mais longo que o declive e (3) picos na base da onda.
3. Mesmo sem apresentar uma forma de onda semelhante nos três registros (grave, médio, agudo), os participantes possuem particularidades nessa variável acústica. Ou seja, quando vários flautistas apresentaram a mesma tendência para um dos registros, o contorno da onda sempre era diferente;
4. As particularidades encontradas na forma da onda do vibrato dos participantes são características que precisam ser melhor investigadas. Com isso, poderíamos quantificar o quanto essas particularidades contribuem para a identidade sonora dos flautistas.

Finalmente, acreditamos que o estudo proposto pela presente pesquisa tenha sido mais um passo em direção à compreensão das variáveis acústicas presentes no vibrato dos flautistas. Sabemos que o caminho é longo e esperamos que nosso trabalho instigue a curiosidade de pesquisadores e estudantes do instrumento, tanto no que diz respeito a pesquisas sobre esse tema como na busca de aprimoramento e soluções práticas para essa ferramenta interpretativa.

## REFERÊNCIAS

BOERSMA, P.; WEENINK, D. Praat: doing phonetics by computer, [s. d.]. Disponível em: <<http://www.praat.org>>. Acesso em: 2 dezembro 2017.

BOERSMA, P. **Accurate short-term analysis of the fundamental frequency and the harmonics-to-noise ratio of a sampled sound.** Institute of Phonetic Sciences, University of Amsterdam, v. 17, p. 97-110, 1993.

CAMERON, K. A. Effects of Vibrato Production Techniques and Use on Musical Collaboration among Flutists, Oboists, Clarinetists, and Bassoonists. **23rd Hayes Graduate Research Forum**, p. 1–13, 2009.

DALSANT, J. **Avaliação de duas ferramentas para a representação das variáveis acústicas implicadas no vibrato da flauta.** Dissertação (Mestrado em Música) - Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FARIA, P. **Análise das variações do vibrato de cantoras líricas em duas cadências musicais de caráter alegre e triste.** Dissertação (Mestrado em Música) - Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FLETCHER, N. H. Acoustical correlates of flute performance technique. **The Journal of the Acoustical Society of America**, New York, v. 57, n. 1, p. 236, Jan. 1975.

FRADE, R; GARCIA, M. F. Prática deliberada da profundidade e do desvio de fundamental no vibrato da flauta transversal. **Diálogos Musicais da Pós: Práticas de Performance n.2.** Belo Horizonte: UFMG, Selo Minas de Som. p. 252-266, 2017.

GALWAY, J. **Flute Yehudi Menuhin Music Guides.** London: Macdonald, 1982.

GARCIA, M. F. O vibrato na flauta transversal: em busca de um olhar objetivo. In: IX Encontro da Associação Brasileira de Flautistas, 2009, Uberlândia. **Anais do IX Encontro da Associação Brasileira de Flautistas.** v.único, p.1-8, 2009.

GÄRTNER, J. **The Vibrato: with Particular Consideration Given to the Situation of the Flutist.** Trans. by Einar W. Anderson. Regensburg, Germany: Gustav Bosse Verlag, 1981.

HORII, Y. Frequency modulation characteristics of sustained /a/ sung in vocal vibrato. **Journal of Speech Hearing Research**, v. 32, p.829-836, Dez.1989.

KARA, Z; BULUT, S. Approaches and Teaching Methods in Breathing and Vibrato Technique in Flute Education. Turkey: **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 186, p.126-130, 2015.

MARÉ, M. **Influential Factors in the Application of Flute Vibrato.** MMus (Music Performance) – Faculty of Arts Stellenbosch University, Stellenbosch, 2008.

- MEYER, J. **Acoustics and the Performance of Music: Manual for Acousticians, Audio Engineers, Musicians, Architects and Musical Instrument Makers.** Springer Science, 50ed. 2009.
- MEYER, J. **Die Tonhöhenempfindung bei musikalischen Klängen in Abhängigkeit vom Grad der Gehörschulung.** *Acustica*, v.42, p. 189, 1979.
- MOYSE, M. **Études et Exercices Techniques pour la Flûte.** Paris: Alphonse Leduc, 1921.
- RODRIGUES, M. A. **O vibrato no violão: aspectos qualitativos e quantitativos.** Dissertação (Mestrado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- SUNDBERG, J. **Quarterly Progress and Status Report: Acoustic and psychoacoustic aspects of vocal vibrato.** *StL-QPSR*, v. 35, p. 45–68, 1994.
- SUNDBERG, J. **The science of the singing voice.** DeKalb, Illinois: Northern Illinois University Press, 1987.
- TAFFANEL, P; GAUBERT, P. **Méthode Complète de Flûte.** Paris: Alphonse Leduc, 1923.
- TIMMERS, R; DESAIN, P. Vibrato: questions and answers from musicians and science. **Proceedings of the Sixth International Conference on Music Perception and Cognition**, v.2, 2000.
- TOFF, N. **The Flute Book: A Complete Guide for Students and Performers.** New York: Oxford University Press, 1996.
- VIEIRA, M. N. **Algoritmo para extração do espectro do tremor e do vibrato na voz humana.** Technical Report FAPEMIG – TEC 1143/98, Departamento de Física/ICEx/UFMG, 1998.
- WEISBERG, A. **The Art of Wind Playing.** New York: SchirmerBooks- MacMillan Publishing Company Incorporated, 1975.
- WILCOCKS, G. R. **Improving tone production on the flute with regards to embouchure, lip flexibility, vibrato and tone colour, as seen from a classical music perspective.** MMus (Performing Arts) - Department of Music, University of Pretoria, 2006.
- WINCKEL, F. Physikalische Kriterien für objektive Stimmbeurteilung. **Folia Phoniatria**, v.5, p. 232, 1953.
- WION, J. Vibrato. Disponível em: <[www.johnwion.com/vibrato](http://www.johnwion.com/vibrato)>. Acesso em: 11 dezembro 2016.

**ANEXO1**

**ANEXO 1 - SCRIPT DO PRAAT**

Erase all

#entra com valor midi (variavel x) da nota a ser analisada

#DO CENTRAL = 60

x= n

st=2^(1/12)

f0 = st^(x-69)\*440

pitchfloor = f0\*0.9

pitchceiling = f0\*1.1

# selecionar som no menu do praat

# guarda nome do arquivo em questao

som = selected ("Sound")

#normaliza pela amplitude

Scale peak... 0.99

#calcula curva dinamica

To Intensity... pitchfloor 0 yes

amplitude = selected ("Intensity")

tempo = 0

max = Get maximum... 0 0 Parabolic

fdin = max - 26

# pode-se variar na linha acima a faixa dinamica mais adequada

frames=Get number of frames

#printline 'frames'

```
for f from 1 to frames
din = Get value in frame... f
if din >= fdin
tempo = f
else
endif
endfor

tempo2 = Get time from frame number... 'tempo'

println duracao da analise 'tempo2' frames 'tempo'
# tempo2 representa a duracao efetiva do trecho a ser analisado

select 'som'

To Spectrogram... 0.01 20000 0.005 20 Gaussian

espectro= selected ("Spectrogram")

tempo3 = Get time step
quadros = Get number of frames
frame2= Get frame number from time... tempo2
frame2a = frame2 -1
Create simple Matrix... centroides 1 frame2a 0
centroides= selected ("Matrix")
select 'espectro'

for quadro from 1 to frame2a
janela = Get time from frame number... quadro
To Spectrum (slice)... janela
nome4= selected ("Spectrum")
```

---

centroid = Get centre of gravity... 2.0

#select Spectrum power  
#plus Spectrum weighted  
select 'nome4'  
Remove

select Matrix centroides

Set value... 1 quadro centroid

select espectro

endfor

select 'amplitude'  
Dashed line  
#Draw... 0 tempo2 0 0 yes

select 'centroides'  
tempo4 = (tempo2/tempo3)  
Dotted line  
#Draw rows... 0 tempo4 0 0 0 0

select 'som'  
Filter (pass Hann band)... pitchfloor/2 pitchceiling\*10 100  
somfiltrado=selected("Sound")

To Pitch... 0 pitchfloor pitchceiling  
Smooth... 20  
alturas=selected ("Pitch")  
Solid line  
Draw... 0 tempo2 pitchfloor pitchceiling yes

```
#calcula espectro da curva de f0
#####
#verificar se o primeiro valor de f0 nao é nulo
```

```
n=Count voiced frames
To Matrix
matrizpref0 = selected("Matrix")
#nn = Get number of columns
```

```
#cria nova matriz sem zeros na curva
```

```
Create simple Matrix... f0 1 tempo 0
matrizf0= selected ("Matrix")
```

```
for i from 1 to tempo
select 'matrizpref0'
val= Get value in cell... 1 i
select 'matrizf0'
Set value... 1 i val
endfor
```

```
freqmin= Get minimum
freqmax = Get maximum
printline frequencia minima 'freqmin'
printline frequencia maxima 'freqmax'
```

```
# calcula media e subtrai de cada ponto
media = Get mean... 0 0 0 0
printline frequencia media 'media'
Formula... self-media
```

```
.
```

