

# Sistema para identificação de notas musicais

Ana Carolina Frozza

Julho 2017

## Resumo

Este artigo busca apresentar a proposta de um software capaz de realizar o reconhecimento de notas musicais, com a intenção de ajudar os músicos que não tem facilidade para escrever a cifra da música. Para atingir o resultado esperado, usaremos a transformada rápida de Fourier-FFT e outros métodos de processamento digital de sinais-DSP. A reflexão desse projeto levou à conclusão que é possível identificar acordes usando DSP.

## 1 Introdução

A transcrição musical automática é algo que a muito tempo atrai o interesse de muitos músicos. Transcrever uma música está associado ao ato de escutar e escrever o conteúdo que se ouviu. A motivação deste trabalho está na necessidade da criação de um software de reconhecimento de acordes musicais para ajudar no aprendizado de novos músicos.

Atualmente existem diversos aplicativos que fazem a tradução para Musical Instruments Digital Interface (MIDI). Entretanto, por se tratar de uma tarefa extremamente complexa, a qualidade obtida na transcrição ainda é bastante limitada. Para realizar a transcrição de uma música, vários aspectos devem ser avaliados pelo software: o tempo, que é a velocidade em que a música é tocada, os instrumentos utilizados, a altura, que é a frequência das notas, o volume e a duração de cada nota.

Devido a esta e outras dificuldades, foi adotado a cifra como notação musical, pois considera apenas a altura das notas. A análise de tipos de instrumentos musicais diferentes e ritmos foram ignorados. Como fonte sonora escolhi o violão, por se tratar de um instrumento popular e que normalmente é usado em estudos de outros artigos, dos quais eu poderei comparar resultados futuramente. O estudo tem como objetivo desenvolver um software capaz de identificar notas utilizando transformada rápida de Fourier (FFT), técnicas de processamento digital de sinais-DSP, além de Sistemas Especialistas para detecção e classificação de acordes. Este software poderá ser utilizado futuramente para um Sistema de Reconhecimento de acordes musicais mais complexos que seja capaz de identificar outros instrumentos.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Introdução à música

O som pode ser expresso por uma soma de funções periódicas. Sendo assim, ele pode ser decomposto em combinações de funções matemáticas primitivas, chamadas de seno ou senóides [4].

O som é medido fisicamente por sua intensidade, frequência e timbre [4].

1. **Intensidade:** é definido como volume ou amplitude do som;
2. **Altura:** é definida como uma senóide mais grave ou mais aguda, quanto mais grave, menor a frequência e quanto mais aguda, maior a frequência;
3. **Timbre:** é como as senóides se diferem;

O ouvido humano pode reconhecer frequências de 20Hz à 20KHz, sendo capaz de distinguir cerca de 1400 frequências discretas. Sons fora desse intervalo não são percebidos porque não possuem energia suficiente para vibrar o tímpano, ou porque a frequência é tão alta que o tímpano não consegue perceber [4].

Na relação entre duas frequências  $x$  e  $y$ , sendo a primeira mais baixa que a segunda, temos a razão  $y/x$ . Quando dois sons tem relação de frequência 2:1 este recebe o nome de oitava.

Dentro da faixa de audição humana podemos distinguir 10 oitavas: 20Hz a 40Hz, 40Hz a 80Hz, 80Hz a 160Hz, 160Hz a 320Hz, 320Hz a 640Hz, 640Hz a 1280Hz, 1280Hz a 2560Hz, 2560Hz a 5120Hz, 5120Hz a 10240, 10240 a 20480Hz [4].

Uma nota musical é um som cuja a frequência de vibração encontra-se dentro do intervalo perceptível ao ouvido humano e a música é a combinação, sob as mais diversas formas, de uma sequência de notas em diferentes intervalos [4].

As notas musicais Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si, se repetem em intervalos formando oitavas. Uma nota em um intervalo possui o dobro do valor da sua frequência no intervalo anterior. Dessa forma, a nota Lá pertencente à quarta oitava tem frequência 440Hz, no próximo intervalo dobra a frequência e pertence à quinta oitava passando a ter 880Hz [2].

Os 12 intervalos que compõem a oitava são chamados de semitons. Portanto existem 12 semitons iguais em uma oitava. Dois semitons juntos formam um tom. Um semitom separa uma nota de um acidente musical ou de outra nota [4].

Os acidentes musicais, bemol (b), sustenido (♯), alteram o valor da nota em um semitom para baixo ou para cima, respectivamente [2].

Sendo assim os acidentes C♯, D♯, F♯, G♯ e A, possuem respectivamente, as mesmas frequências dos acidentes Db, Eb, Gb, Ab e Bb quando soam na mesma oitava.

É possível construir uma tabela com as 7 oitavas destinadas ao conceito musical. A tabela abaixo mostra o valor da frequência para uma nota ou acidente musical a partir da nota central Lá. As sete oitavas estão representadas pelas colunas e os intervalos pelas linhas [4].

Tabela 1: Frequências sonoras

Notas		1	2	3	4	5	6	7
01	C	32,70	65,41	130,82	261,63	523,25	1046,50	2093,00
02	C $\sharp$	34,65	69,30	136,60	277,20	554,37	1108,73	2217,46
03	D	35,71	73,42	146,83	293,66	567,33	1174,66	2349,32
04	D $\sharp$	36,70	77,78	155,57	311,13	622,25	1544,51	2469,01
05	E	41,20	82,41	164,81	329,63	659,25	1318,51	2637,02
06	F	43,65	87,31	174,61	349,23	689,45	1396,92	2793,83
07	F $\sharp$	46,25	92,50	184,99	369,99	739,99	1479,98	2959,95
08	G	48,99	97,99	195,99	391,99	783,99	1567,89	3135,96
09	G $\sharp$	51,91	103,02	207,65	415,30	830,60	1661,22	3322,44
10	A	55	110	220	440	880	1760	3520
11	A $\sharp$	58,27	116,54	233,10	466,16	932,33	1864,65	3729,31
12	B	61,74	123,48	246,94	493,88	986,76	1975,53	3951,10

## 2.2 Frequências, notas e acordes no violão

O braço do violão popular são divididos por trastes, formando espaços chamados de casas. Dentro dessas casas as notas são separadas, uma das outras, por um semitom. As seis cordas ficam sobre o braço e são organizadas da mais fina para a mais grossa, ou da frequência mais alta para a mais baixa, olhando o violão de baixo para cima.

A afinação deste instrumento é dita “afinação em quartas”, pois depois de um intervalo de quarto casas a frequência passa a ser a mesma da corda imediatamente abaixo desta [4].

Três ou mais notas tocadas juntas formam um acorde. Os acordes são formados por intervalos harmônicos dando um sentido na harmonia. Os acordes menores e maiores são chamados de tríade, pois precisam apenas de três notas para a escala [4].

Acordes Maiores: Essa escala é construída respeitando a distribuição de Tons e Semitons (T-T-ST-T-T-T-ST). Ex: A partir da nota C seguindo a distribuição, temos, C, D, E, F, G, A, B e C [4].

Acordes Menores: É possível criar um acorde menor a partir da escala menor e respeitando a distribuição de Tons e Semitons (T-ST-T-T-ST-T-T). Ex: A partir de C seguindo a distribuição anterior, temos, C, D, Eb, F, G, Ab, Bb, C [4].

O acorde no violão é representado pelas notas que formam a repetição e de algumas destas devido a quantidade de cordas que vibram ao mesmo tempo ser maior que a necessárias para a formação dos acordes. Logo os acordes menores e maiores do violão são formados pela tríade e pela repetição de alguma destas notas.

### 3 Sistema de Reconhecimento

O sistema de reconhecimento que será desenvolvido será capaz de identificar notas musicais. O matemático francês J. Fourier provou matematicamente que qualquer forma de onda, independente de sua origem, é o somatório de ondas senoidais de diferentes frequências, amplitudes e fases. Ele mostrou que se a forma de onda se repete periodicamente, então as componentes senoidais são restritas a valores múltiplos da frequência da forma da onda [1].

Assim, por meio da transformada de Fourier é possível obter um vetor de amplitudes para cada frequência que compõem a onda sonora digital. A Figura abaixo mostra como a transformada de Fourier permite destacar as notas que compõem o acorde.

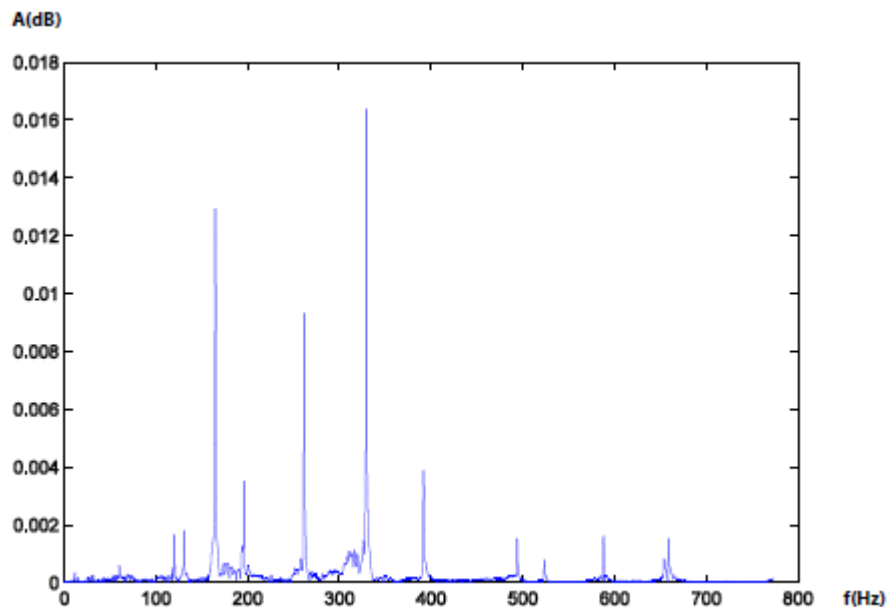


Figura 1: Transformada Rápida Fourier em um acorde C

## 4 Métodos:

### 4.1 Transformada rápida de Fourier

Essencialmente a transformada de Fourier consiste em, dada uma quantidade  $h$  como função do tempo  $[h(t)]$ , determinar a correspondente quantidade  $H$  como função da frequência  $[H(f)]$ , geralmente como um número complexo que também indica a fase, e vice-versa. Dada  $H(f)$ , determinar  $h(t)$ , onde,  $h(t)$  é uma coleção

de  $N$  números que indicam, por exemplo, a intensidade em função do tempo de certa função periódica; a transformada de Fourier correspondente será outra coleção de  $N$  números que indicarão a intensidade de cada frequência presente na função periódica original. Inversamente, se forem conhecidas as intensidades das frequências, a transformada fornecerá a função  $h(t)$  [3].

## 4.2 Técnicas de processamento digital de sinais:

Trata da representação matemática do sinal e processo de cálculo para extrair a informação. O método de extração depende do tipo do sinal e da natureza da informação que ele carrega. A representação do sinal pode ser uma função no domínio original da variável independente ou em termos de funções no domínio de uma transformada [5].

## 5 Resultados esperados

É esperado que após aplicar o sistema de reconhecimento de notas nas amostras de áudio, contendo apenas as notas musicais, gravadas, previamente, a partir do violão. As notas se encontram no domínio do tempo e para fazer a análise digital, precisamos transformá-las em domínio da frequência, utilizando a transformada rápida de Fourier [3].

A partir do sinal obtido no domínio espectral, é possível analisar, entender e diferenciar as amostras de áudio para poder desenvolver um algoritmo capaz de identificar os padrões referentes a informação musical(cifra).

## Referências

- [1] R. M. Gray and J. Goodman. Fourier transforms: an introduction for engineers. volume 322, pages 53–113. Springer Science & Business Media, 2012.
- [2] S. Kostka and D. Payne. *Tonal Harmony, with an Introduction to Twentieth-century Music*. McGraw-Hill, Universidade de Michigan, 4.ed edition, 2004.
- [3] L. I. Ortiz-Berenguer and F. J. Casajús-Quirós. Polyphonic transcription using piano modeling for spectral pattern recognition. In *Proceedings of the 2002 Conference on Digital Audio Effects*, pages 45–50, 2002.
- [4] C. Roads. The computer music tutorial. pages 15–300. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1996.
- [5] B. V. V. Simon Haykin. Sinais e sistemas. Bookman, Porto Alegre, 1.ed edition, 2001.