

THOMAZ CHAVES DE ANDRADE OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE SIMULADOR DE TEMPEROS
HISTÓRICOS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL

2006

THOMAZ CHAVES DE ANDRADE OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE SIMULADOR DE TEMPEROS
HISTÓRICOS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de concentração: Computação Musical

Orientador:

Professor Luciano Mendes dos Santos

Co-Orientadora:

Lyria Chaves de Andrade

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL

2006

THOMAZ CHAVES DE ANDRADE OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE SIMULADOR DE TEMPEROS
HISTÓRICOS**

Monografia de graduação apresentada ao departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 26 de abril de 2006.

Deive Ciro de Oliveira

Marco Aurélio Leite Fontes

Lyria Chaves de Andrade
(Co-orientadora)

Luciano Mendes dos Santos
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL

2006

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE TABELAS.....	III
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
METODOLOGIA.....	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.....	3
Figura 2.1.....	4
Figura 2.2.....	6
Figura 2.3.....	7
Figura 3.1.....	19
Figura 3.2.....	20
Figura 3.3.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.....	11
Tabela 2.2.....	12
Tabela 2.3.....	14
Tabela 2.4.....	15
Tabela 3.1.....	21

1 - INTRODUÇÃO

A computação e a eletrônica foram duas das grandes revoluções no século XX. Essas áreas estão diretamente relacionadas entre si e revolucionaram campos como: indústria e automação, engenharias diversas, indústrias bélicas, automobilismo, construções civis, ciências biológicas etc. Podemos citar inúmeros ramos e atividades que foram afetados pela computação, eletrônica e informatização. Entre as áreas que foram afetadas pela computação, as artes, dentre elas a música, sofreu uma grande influência da computação e eletrônica. Muitos protestam com algumas alterações geradas pela informática, como, por exemplo, o armazenamento de som em formato digital. Mas é inevitável constatar que muitas dessas mudanças são definitivas e o mundo da música jamais será o mesmo depois que a computação, eletrônica e música se fundiram em um universo só.

Como exemplo do avanço gerado pela computação na área musical, podemos citar alguns exemplos. No passado, antes do séc. XX, e antes da criação da imprensa, o único método de se difundir uma mesma peça musical era através de copistas que copiavam as partituras uma a uma manualmente para depois serem executadas por músicos. Na atualidade existem diversos editores de partituras para microcomputadores que podem auxiliar os músicos a editarem as partituras. Os editores virtuais também são capazes de executar o que foi escrito até o presente momento em tempo real, caso o compositor queira ouvir o seu trabalho até o presente momento. Nota-se uma grande diferença gerada pelo avanço tecnológico para um mesmo processo de composição musical. Outra grande revolução foi o armazenamento de sinais de áudio que antes da década de 80 era todo analógico ou em fitas magnéticas, ou em discos de vinil. Hoje o armazenamento digital de áudio se tornou um fenômeno global e a sua facilidade de cópia e de distribuição pela Internet fizeram com que qualquer peça musical seja transferida de um local para outro do mundo com muita facilidade. Um dos resultados dessa revolução do armazenamento e distribuição foi a distribuição não autorizada de propriedade intelectual (pirataria). A “pirataria” digital tornou-se um dos principais problemas relacionados a direitos autorais nos dias de hoje, tanto para desenvolvedores de software como para compositores musicais.

A música é uma das artes mais antigas. Sabe-se que o homem pré-histórico já criava e tocava os seus “bataques”, além de utilizar a voz também. As sociedades possuem alguma forma de música dentre as suas artes, variando-se muito o grau de complexidade e o contexto no qual a música se encaixa dentro da sociedade, mas não deixando de ser uma expressão artística de sons. A música, dentro de uma sociedade, pode participar desde rituais religiosos, funerais a rituais de acasalamento e diversão.

A afinação e as escalas musicais, assim como os ritmos, são os pilares da música ocidental. Sabe-se que a música oriental não usa alguns desses conceitos de escalas e notas. Ao invés disso, os orientais utilizam um sistema que cientificamente pode ser traduzido como um espectro infinito de frequências, ao invés de notas discretas que se utiliza na música ocidental. Essas escalas vão desde as escalas mais remotas como a escala descoberta pelo famoso matemático e filósofo Pitágoras (582 a.C. – 497 a.C.) até a escala igualmente temperada que é a escala mais utilizada na música ocidental.

O projeto visa pesquisar escalas antigas que caíram em desuso e simular essas escalas em um microcomputador. Os “temperos históricos” são afinações precursoras da escala igualmente temperada que usamos nos dias de hoje. Sabe-se que os temperos históricos ainda são usados em alguns recitais e concertos sendo que o repertório requer uma afinação histórica. A figura 1.1 ilustra um cravo do SÉC. XVII instrumento que utiliza essas afinações históricas.

O presente trabalho visa resgatar o valor da afinação em se tratando de música, uma vez que muitos esquecem de estarmos utilizando um sistema de afinação específico. O fato do sistema de afinação atual, o igualmente temperado ter se tornado universal, nos faz esquecer que existiram outras afinações no passado, sendo de interesse deste trabalho resgatar o valor dessas afinações que caíram em desuso, sendo que são de fundamental importância quando em se tratando da história da música.

O objetivo deste presente trabalho é interligar um dos principais pilares da música, que são as escalas musicais com a computação.

O presente trabalho visa a implementar um software capaz de mudar a afinação de um teclado para uma afinação diferente, ou seja, mudar as frequências das notas das de um teclado para adaptar-se a um sistema de afinação histórico. Um outro aspecto interessante desse trabalho é comparar as afinações históricas entre si e também com a escala igualmente temperada. De acordo com Campbell (1997), algumas peças musicais para algumas tonalidades, podem soar mais agradáveis em um instrumento afinado em uma

escala *just tonned*, do que se fossem executadas em um instrumento afinado na escala igualmente temperada, pois existe uma ausência total de batimentos dependendo da tonalidade.



Figura 1.1 cravo SEC. XVII

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Som

Como o objeto de estudo nesse trabalho é a música e as suas afinações, não se pode deixar de citar algumas definições sobre a música e a sua matéria bruta que é o som.

Para Gomes (1993), o som nada mais é do que “o efeito produzido no aparelho auditivo pelas vibrações das moléculas de meio transmissor”.

Fisicamente, *Tipler* (1991) nos ajuda a entender os sons como as variações da pressão de um gás, ou um líquido ou um sólido. As variações de pressão podem ser causadas por um corpo sonoro, este podendo ser um violino ou mesmo um diapasão. As ondas sonoras são ondas longitudinais e a perturbação resultante é propagada no meio graças às interações moleculares. A vibração das moléculas ocorre na direção de propagação das ondas.

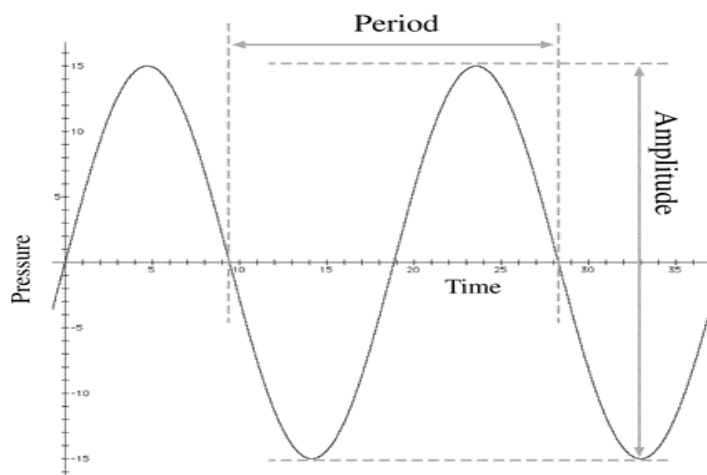


Figura 2.1 onda sonora senoidal

A figura 2.1 ilustra a variação de pressão de um gás resultante em uma onda sonora, resultando em um som harmônico simples.

2.1.1 Sons simples

Citando ainda *Tipler* (1991), quando um corpo sonoro gerador de som excitar um meio com um movimento harmônico simples logo o resultado será que as moléculas ao redor do corpo sonoro terão também resultante um movimento harmônico simples ao redor do seu ponto de equilíbrio. Segundo *Dobrian* (2005), o som gerado por um movimento harmônico simples, é o som mais simples, completando assim, esse corpo sonoro um ciclo inteiro de maneira constante. Cada ciclo vibratório ocorre num mesmo intervalo de tempo resultando em um ciclo dito periódico. O número de ciclos ocorridos em um segundo é dito a frequência do som. Por exemplo, se um diapasão em LÁ realizar 440 ciclos por segundo, logo sua frequência é de 440 Hz.

2.1.2 Sons complexos

Em sua maioria os sons reais, não possuem apenas uma única frequência vibrando apenas. Sons que possuem mais de uma frequência vibrando ao mesmo tempo são a maioria dos sons que encontramos no mundo real. Quando um som possui mais de uma frequência vibrando ao mesmo tempo esse som é dito um som complexo (*Dobrian*, 2005).

Ainda segundo *Tipler* (1991), quando encontramos ondas que estão confinadas em um espaço limitado (no caso de um piano de cauda no qual a corda está presa nas extremidades da harpa metálica) ocorrem reflexões nas duas extremidades da corda, logo acarretando em ondas que estão em movimento nas duas direções. As ondas se combinam de acordo com o princípio da superposição. Essas ondas nessas configurações de superposição levam a uma configuração de ondas estacionárias.

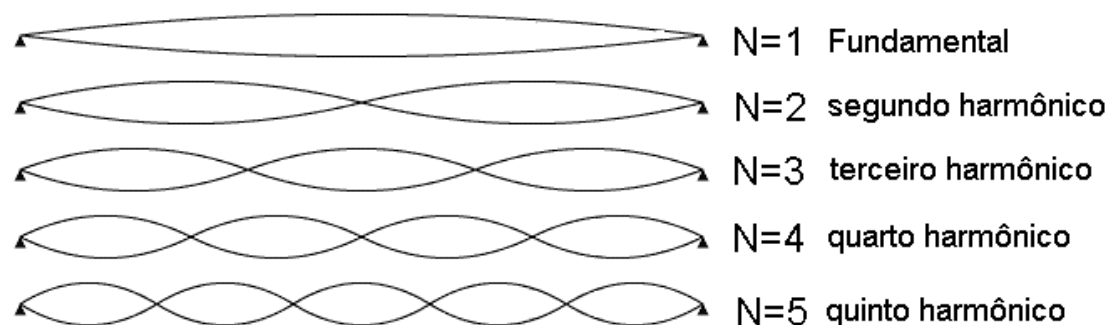


Figura 2.2 - Harmônicos

A frequência própria de oscilação é chamada de frequência fundamental enquanto as outras frequências presentes em paralelo são chamadas de harmônicos e são múltiplas da frequência fundamental. (Gomes, 1993). A figura 2.2 ilustra uma série harmônica.

Segundo *Tipler* (1991), quando ouvimos diferentes instrumentos musicais tocarem a mesma nota, logo percebemos uma grande diferença em som. Se compararmos, por exemplo, um oboé com um violino, em uma mesma nota Lá com a frequência fundamental em 440Hz, pode-se perceber uma grande diferença em timbre, isto é, embora o violino e o oboé estejam emitindo a mesma frequência fundamental, cada instrumento emite também harmônicos cujas intensidades relativas dependem do instrumento e de como estão sendo tocados. Se cada instrumento produzisse apenas a frequência fundamental, o som seria absolutamente o mesmo.

Gomes (1993), ajuda-nos a compreender o conceito de timbre sendo como o conteúdo harmônico de um som. O conteúdo harmônico de um som é diretamente ligado à estrutura física e material do corpo sonoro gerador do som.

Ainda citando *Dobrian* (2005), cada frequência individual que compõe o som complexo é dita uma frequência parcial do som em questão. Quando todos os parciais são múltiplos inteiros da frequência fundamental, logo o som é dito um som harmônico. Isto é comprovado pelo famoso teorema de Fourier que diz que qualquer função periódica pode ser representada pela soma de diferentes frequências de uma mesma série harmônica. Cada uma dessas frequências tendo a sua amplitude e fase.

Para cada harmônico da série, existe uma nota correspondente. A figura 2.3 ilustra isso. O Dó 0 é a nota fundamental e possui frequência de 65.4 Hz. A segunda nota da série é o Dó 1 e possui frequência de 130.8 Hz. A frequência do Dó 1 é duas vezes maior que a frequência do Dó 0. A terceira nota da série é um Sol 1, e possui frequência de 196.2 Hz, sendo, portanto, três vezes maior que a frequência do Dó 0. Todas as notas da série são múltiplas inteiras do Dó 1.

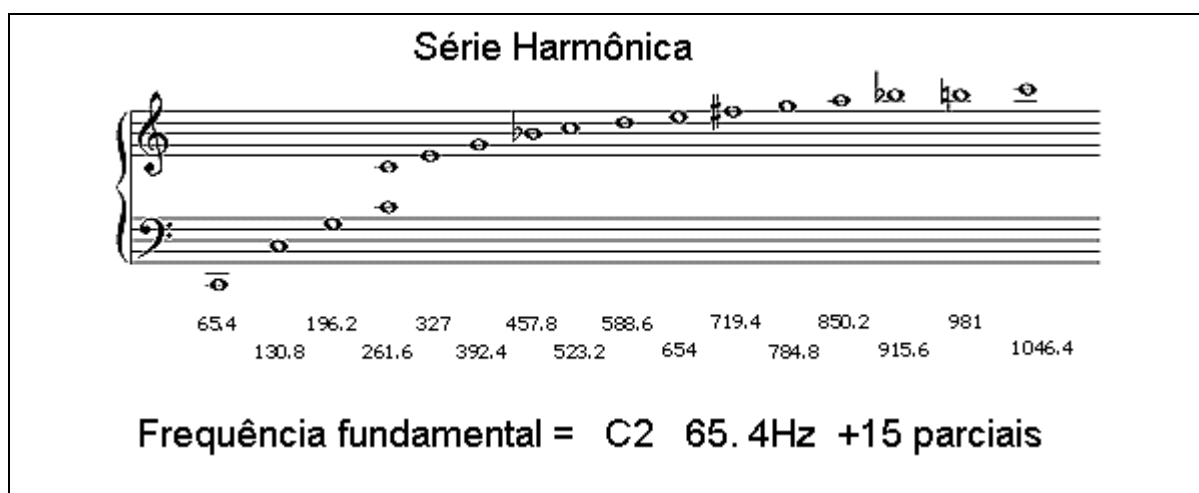


Figura 2.3 série harmônica da nota Dó 0

A série harmônica de uma nota é de fundamental importância quando se tratando de afinação de instrumentos e temperos históricos.

2.2 Batimentos

De acordo com Campbell (1997), quando duas notas estão próximas em afinação, porém, não iguais, um fenômeno interessante ocorre, que são os batimentos. Batimentos são uma constante mudança no volume em timbre, no qual, quanto mais próxima se tornam às notas umas das outras, os batimentos se tornam cada vez mais lentos e eventualmente cessam quando as frequências estão absolutamente iguais.

Quando afinamos duas cordas de um instrumento, comparando-se uma corda com a outra, batimentos podem ocorrer entre os parciais das duas notas em questão e não entre as suas frequências fundamentais. Então por isso, as afinações são baseadas em contagem de

batimentos por segundo entre acordes, intervalos e notas iguais. Essa contagem é um dos principais métodos usado entre os afinadores de pianos e cravos para afinar-los corretamente. Como a afinação e as escalas no passado, antes do séc XX, não tinham embasamento científico nenhum, logo toda afinação era feita de ouvido e aspectos como os citados anteriormente eram levados em conta ao se afinar uma escala de um instrumento temperado.

2.3 - Escala Musical

O Dicionário Aurélio Buarque de Holanda (2005), define as escalas musicais como:

“Sons que se sucedem por certo número de graus conjuntos, ascendentes ou descendentes, dentro da oitava”.

Escala cromática – “escala formada por uma sucessão de semitons diatônicos e cromáticos”.

Escala diatônica – “escala formada por uma sucessão de tons e semitons diatônicos”.

De acordo com *Campbell* (1997), na antiguidade, as escalas musicais e os acordes eram baseados em intervalos da série harmônica natural. A escala obtida, porém, referida como *‘just toned’* (escala somente tonalizada), pode ser até melhor que a escala igualmente temperada para a tonalidade no qual a série harmônica é pertencente. Isso ocorre pois, para a tonalidade no qual a escala foi afinada a ausência de batimentos é total. O problema dessa escala, é quando mudamos de tonalidade. Como numa escala *“just toned”* os intervalos não são constantes, quando mudamos de tonalidade alguns acordes podem vir a ter batimentos com resultados bem indesejáveis, porém em uma escala igualmente temperada, isso não ocorre. Podemos transpor tonalidades para cima e para baixo em uma escala igualmente temperada e o resultado é que não ocorrerão esses batimentos. A escala igualmente temperada é a escala que é utilizada até a atualidade salvo algumas exceções. Dependendo do concerto, pode existir a opção por utilizar algum “tempero histórico”.

Ainda segundo *Campbell* (1997), com a crescente evolução da composição musical no séc XVIII, cada vez passou-se mais ao uso de modulações harmônicas (mudanças de tonalidade) nas composições da época. Logo, então, percebeu uma necessidade de mudança para uma escala na qual pudessem ser feitas essas modulações. Um dos expositores dessa necessidade foi J.S. Bach, que publicou duas obras inteiras “O Cravo bem temperado”, escrito em 1722 e 1744, no qual existem prelúdios e fugas escritas para as 12 tonalidades maiores e menores. E mostrou que usando a escala “bem temperada” da época uma música poderia ser escrita ou transposta para qualquer uma das 12 tonalidades, sem os problemas das escalas anteriores.

2.3 Estudo das afinações

Este trabalho visa implementar algumas afinações históricas assim como a afinação igualmente temperada que é a mais utilizada nos dias de hoje e tornou-se padrão.

A seguir são citadas algumas afinações que foi implementado em um breve relato histórico das mesmas, no qual explica a razão da existência da afinação.

2.3.1 Afinação de Pitágoras

Gann (1997) ajuda-nos a compreender que a afinação de Pitágoras, ou Pitagórica é baseada no fato que, se fizermos um ciclo de quinta e descermos as notas obtidas para uma mesma oitava acabaremos com uma escala de 12 notas.

A resultante escala de Pitágoras será satisfatória para músicas em que intervalos de quinta são extremamente importantes e peças musicais no qual as notas C#, G#, F# raramente aparecem.

Essa afinação foi muito utilizada na idade média até que fosse substituída pela afinação *meantone*.

As tabelas de afinação descrevem as notas e as distancias entre as notas e o primeiro Dó da escala em cents. Tabela também descreve a proporção entre a nota e o primeiro dó da escala. A tabela para afinação de Pitágoras está na tabela 2.1.

Gann (1997) nos ajuda a compreender a unidade ‘cents’ usada neste presente trabalho como sendo a divisão de um semitom em 100 unidades. Portanto, um semitom possui 100 ‘cents’, logo uma oitava possui 1200.

Tabela 2.1 – escala Pitagórica segundo Gann (1997)

Nota	Razão	Cents
DÓ	1/1	0
DÓ #	2187/2048	113.7
RÉ	9/8	203.9
RÉ #	32/27	294.1
MI	81/64	407.8
FÁ	4/3	498
FÁ #	729/512	611.7
SOL	3/2	702.2
SOL #	128/81	792.2
LÁ	27/16	905.9
LÁ #	16/9	996.1
SI	243/128	1109.8
DO	2/1	1200

2.3.2 Meantone Tuning

De acordo com Gann (1997), a afinação *meantone*, apareceu na Europa no final do séc XVI e permaneceu sendo muito utilizada até os começos do Séc. XVIII. A característica principal desse sistema de afinação se deve ao fato de se priorizar os intervalos de terça maiores (C a E) aos intervalos de quinta (C a G). Existem alguns detalhes matemáticos e teóricos relacionados a essa afinação, mas não entraremos em detalhes neste trabalho.

A tabela 2.2 possui a escala de *meantone* definida por *Pietro Aaron* 1523 por Gann (1997).

Tabela 2.2 – escala *meantone tunning* 1523, segundo Gann (1997)

Nota	Razão	Cents
DÓ	1	0
DÓ #	1,045	76,0
RÉ	1,118	193,2
RÉ #	1,196	310,3
MI	1,25	386,3
FÁ	1,33	503,4
FÁ #	1,397	579,5
SOL	1,495	696,8
SOL #	1,562	772,6
LÁ	1,6718	889,7
LÁ #	1,789	1006,8
SI	1,869	1082,9
DO	2,000	1200

Ainda citando Gann (1997), alguns dos intervalos de terça maiores, que são por volta de 386 cents, são agradáveis de escutar e 8 entre as 12 tonalidades, possuem esses intervalos agradáveis. Mas as tonalidades de F#, Ab, B e D# , possuem intervalos de terça por volta de 427 cents que tornam os intervalos desprazerosos de serem ouvidos por possuírem batimentos entre eles. Todas as quintas, que estão por volta de 696 são usáveis, exceto uma por volta de 732.

A conclusão que se tira a partir dessa afinação é que se pode utilizar as tríades de C, D, Eb, E, F, G, A, e Bb sendo que a probabilidade de se encontrar tríades de F# e Ab em músicas do séc XVI para teclado é muito pequena, pois, essas tríades soam realmente muito mal nessa afinação.

2.3.3 *Werckmeister III* e o Cravo bem temperado de *J. S. Bach*

Segundo *Gann* (1997), escala que *J.S.Bach* usou na sua obra não foi a escala igualmente temperada, foi uma aproximação da mesma. Existiram várias ditas escalas temperadas igualmente, mas nenhuma se iguala a escala igualmente temperada que temos hoje, pois, a escala igualmente temperada só passou a existir a partir de 1917, quando se descobriu a contagem de batimentos. A escala igualmente temperada é um conceito matemático e teórico que não tinha como ser alcançado sem um aparato técnico e científico. Até então, os afinadores afinavam por acordes, intervalos de quintas e quintas. A escala igualmente temperada era algo que se buscava na teoria e que afinadores buscavam sem realmente conseguir, pois, não tinham como contar os batimentos.

Segundo *Gann* (1997), *J. S. Bach*, estava interessado em uma afinação que pudesse o ajudar a trabalhar com as 12 tonalidades e que todas as tríades (acordes de três notas) pudessem ser usadas sem exceções ou limitações. *Bach* às vezes ficava muito irritado quando a música em sua mente exigia uma tríade de Lá bemol maior e o seu cravo não conseguia tocá-la de maneira afinada. Às vezes *Bach* atormentava a vida dos seus afinadores por tocar tríades de Lá bemol maior quando iam trabalhar para ele. *J.S Bach*, portanto ficou satisfeito em ver que os afinadores da época estavam trabalhando rumo a conseguir uma afinação que permitiria tocar em todas as 12 tonalidades, tanto maiores quanto menores. Na época de *Bach* essa afinação nova que permitia tocar em todas as 12 tonalidades se chamava de igualmente temperada, não pelas 12 notas serem espaçadas igualmente, mas por se poder tocar igualmente bem em todas as 12 tonalidades.

O músico e teórico que conseguiu mais facilmente atingir afinação que *J. S. Bach* queria foi *Andréas Werckmeister* (1645-1706) em sua famosa afinação *Werckmeister III*, de 1691. A tabela 2.3 possui os dados de *Werckmeister III*.

Tabela 2.3 – escala *Werckmeister III* - segundo *Gann* (1997)

Nota	Razão	Cents
DÓ	1	0
DÓ #	1,053	90,225
RÉ	1,117	192,18
RÉ #	1,185	294,135
MI	1,253	390,225
FÁ	1,33	498,045
FÁ #	1,405	588,27
SOL	1,4949	692,18
SOL #	1,580	792,18
LÁ	1,670	888,27
LÁ #	1,778	996,09
SI	1,8792	1092,18
DO	2,000	1200

2.3.4 Escala igualmente temperada

A escala igualmente temperada é a mais utilizada nos dias de hoje e se tornou padrão. A sua idéia baseia-se na igualdade entre os intervalos dessa escala. Pode-se notar na tabela 2.4, que os intervalos variam de 100 em 100 *cents*, igualmente. Segundo *Gann* (1997), por não existirem métodos científicos, as escalas anteriormente citadas não podem dizer bem temperadas, ou que sejam igualmente temperadas, pois para se obter essa igualdade, existe a necessidade de se medir as frequências com exatidão. Não existia, no passado, métodos científicos para se obter essa igualdade. Porém, atualmente com avanços científicos e tecnológicos pode-se definir cientificamente a escala igualmente temperada.

Campbell (1997), define a escala igualmente temperada como sendo uma escala cujo, os intervalos entre as 12 notas da escala cromática são todos igualmente espaçados.

Para se obter a frequência da (N) nota a partir de uma nota, utiliza-se a seguinte fórmula para a escala igualmente temperada $f(N) = 27.5 * 2^{(N/12)}$

Tabela 2.4 – escala igualmente temperada

Nota	Razão	Cents
DÓ	1	0
DÓ #	1,076	100
RÉ	1,122	200
RÉ #	1,1892	300
MI	1,25992	400
FÁ	1,3348	500
FÁ #	1,4142	600
SOL	1,4983	700
SOL #	1,5874	800
LÁ	1,68179	900
LÁ #	1,7818	1000
SI	1,888	1100
DO	2,000	1200

Para este trabalho, serão implementadas as escalas: *Meantone*, Pitagórica, *Werckmeister* e igualmente temperada.

3 - METODOLOGIA

3.1 MAX/MSP

Para que esta implementação seja possível e não complicada, utilizaremos o ambiente MAX/MSP.

De acordo com o seu criador e idealizador *Miller Pucket* (1988):

“Max é um ambiente gráfico de programação musical, feito para pessoas que alcançaram os limites da programação usual entre *sequencers* e de programas de vozes para aplicações MIDI”.

A programação em Max, ao contrário da programação em linguagens de programação tradicionais como C ou pascal, ou mesmo linguagens de programação orientadas a programação de áudio como CSound, não utiliza comandos texto escritos em alguma linguagem de programação. Quando programamos em Max, não é necessário digitar um código fonte em arquivo texto. Isso torna a programação bem mais rápida e de fácil entendimento. Mas, por outro lado, o código é interpretado por um interpretador, escrito em C, não existe um código objeto compilado, o que torna o programa em MAX mais lento do que um equivalente compilado. Para programar em MAX, desenhamos uma rede entre sinais MIDI e sinais de áudio que descrevem a lógica e a implementação do programa em questão. Para o programador de áudio e MIDI, programar em Max facilita a implementação das suas idéias e torna fácil a prototipação. Existem várias funções já prontas em MAX que chamamos de objetos, simplificando a programação não obrigando o programador a programar algo que já existe.

3.2 MIDI

A idéia por trás desse trabalho é bastante simples. Basta conectar cabo MIDI a um teclado e receber as mensagens MIDI em um PC qualquer com um programa interpretador de MAX/MSP versão 4.5.5 instalado em um PC.

De acordo com Gomes (1993) MIDI é um protocolo de comunicação que pode ser usado por qualquer equipamento que utilize em sua construção um microprocessador, portanto possa adotar uma comunicação do tipo serial.

O MIDI é um protocolo de comunicação que é capaz transportar informações sobre uma performance musical executada em instrumentos eletrônicos no caso específico de um sintetizador e um computador pessoal.

Com esse protocolo MIDI, o teclado, envia mensagens para o computador a cerca da execução das notas que estão sendo tocadas. O computador, ao receber essas mensagens, trabalha as mesmas para que sejam enviadas à placa de som, com os sons correspondentes ao da nota, porém, agora com um valor da afinação a ser simulado e não mais o valor que seria da escala igualmente temperada.

3.3 Implementação

No caso deste software, foi-se utilizado um Pentium III, de 750 Mhz, com 256 Mega bytes de memória RAM, com o sistema operacional Windows XP. A placa de som que realizou a captura das mensagens MIDI, foi uma *Creative* 128, com dois canais de áudio L/R, com uma taxa de amostragem máxima de 44100, com 16 bits de resolução de áudio. A versão do software MAX/MSP é a versão 4.5.5/July 2005. O sintetizador utilizado foi um Alesis QS6, de onde são tocadas as notas para o envio para o computador onde o processamento é realizado.

3.4 Esquema básico da programação

Teclado: O teclado pode se comunicar com qualquer outro dispositivo MIDI, tanto recebendo mensagens quanto enviando mensagens MIDI, Neste programa, o teclado irá enviar mensagens MIDI para o computador.

Placa de som: recebe as mensagens MIDI e disponibiliza as mesmas para o sistema operacional e para o interpretador MAX/MSP

Patch em MAX: O patch em MAX é o software propriamente dito. A idéia é que para cada nota tocada no teclado, é recebida uma mensagem MIDI, e por ventura é emitida uma nota correspondente à nota tocada, porém com adequada ao tempero da escala simulada. O patch MAX/MSP processa os sinais de áudio e os envia para o conversor Digital analógico da placa de som. Essas transformações ocorrem em tempo real e a idéia pode ser visualizada na figura 3.1.

Placa de som: A placa de som faz a conversão dos sinais recebidos pelo interpretador MAX/MSP em sinais de áudio analógico, esse sinal é amplificado e enviado a um auto-falante.

Auto-falante: transforma os sinais elétricos gerados pela placa de som em energia sonora.

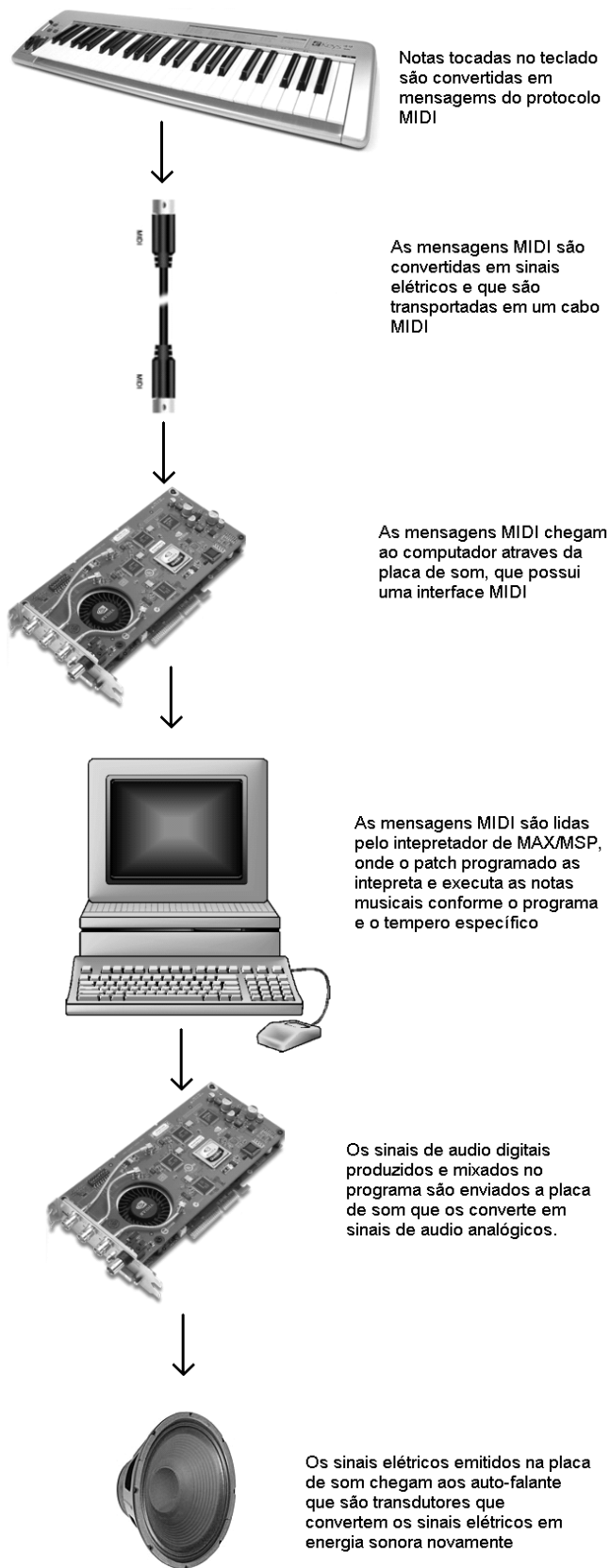


Figura 3.1 sequência de execução do programa

Como dito anteriormente, o programa recebe as mensagens MIDI pelo teclado e as mesmas são recebidas e então será emitida uma nota correspondente à nota que foi tocada no teclado, porém, com a afinação desejada.

O raciocínio por trás da implementação está em tocar sons gravados de um piano afinado, mas com a velocidade alterada.

Por exemplo, se tocarmos um Dó que dura 5s em 2,5s logo temos um dó, porém a uma oitava acima. Existe um objeto em Max/MSP que nos auxilia a executar essa idéia, que é o objeto *play*. Ao utilizarmos o objeto *play*, podemos executar o sinal de áudio de um *buffer* com a velocidade alterada.

Essa figura ilustra essa idéia:

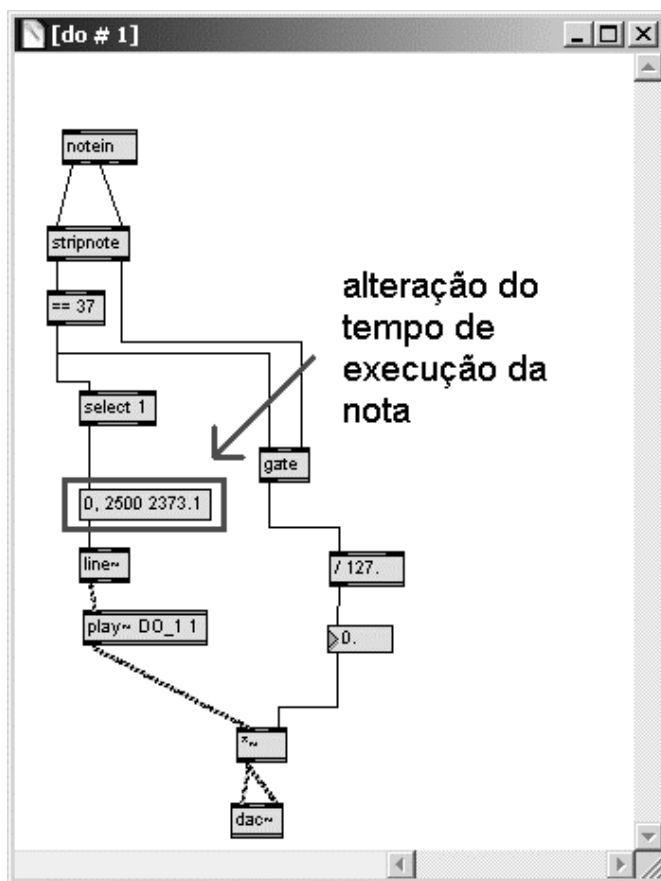


Figura 3.2, patch de cada nota do teclado.

Na simulação existe, para cada escala, um dó que foi gravado de um piano, este dó possui 2,5 de áudio gravado digitalmente no formato *.WAV a uma taxa de 44.100 Hz com os 16 bits de resolução em um canal. Todas as outras notas da escala, são execuções deste mesmo Dó, mas com tempo de execução alterado. Essa alteração vai da nota, Do #

até o SI da escala. No exemplo acima para se ter um dó sustenido na escala *Werckmeister* III, executa-se dó da mesma escala não em 2500ms mas em 2373 ms. E isto é feito para cada nota da escala. Outro exemplo é Sol#, é executado em 1600,5s ao invés de 2500s também.

A tabela 3.1 contém os valores de alteração do tempo de execução da nota Dó para se obter em todas as afinações. Esses valores são obtidos multiplicando-se o inverso do valor da razão “nota /DO” pelo tempo de execução da nota dó, ou seja, por 2500.

Por exemplo:

O SOL da afinação pitagórica é igual 3/2 do valor de DO, logo o seu valor em tempo é igual a 2/3 de DO. Logo

$$2/3 * 2500 = 1666,65ms$$

Tabela 3.1 valores calculados para o tempo de execução da nota do para se obter as outras notas

Nota	Pitagórica	Werckmeister	Mean tone	Igualmente Temperada
C	2500	2500	2500	2500
C#	2341	2373,1	2392	2373,1
D	2222	2237,3	2236	2227,25
D#	2109,38	2109,35	2093	2102,25
E	1975	1995,5	2000	1984,25
F	1875	1875	1869,9	1872,9
F#	1755,5	1779,8	1789,5	1767,75
G	1666,65	1642,3	1672,25	1668,5
G#	1582	1582,1	1600,5	1575,9
A	1481	1496,25	1495,1	1486,5
A#	1408	1403,25	1397,5	1403,1
B	1316,5	1330,3	1337,6	1324,3

É importante destacar que em teclados os *samples* de áudio são 3 ou mais por oitava e não um apenas. Isso ocorre, pois, a mudança de timbre que a mudança de velocidade acarreta às vezes pode levar a um timbre artificial para algumas notas. Como o

objetivo deste trabalho não é obter um timbre de ótima qualidade, optamos pela simplicidade de implementação e um *sample* basta para que a idéia funcione corretamente.

O exemplo da figura 3.2 estende-se para todas as notas do teclado onde para cada uma das notas existe um patch igual ao da figura exemplificado na figura 3.3

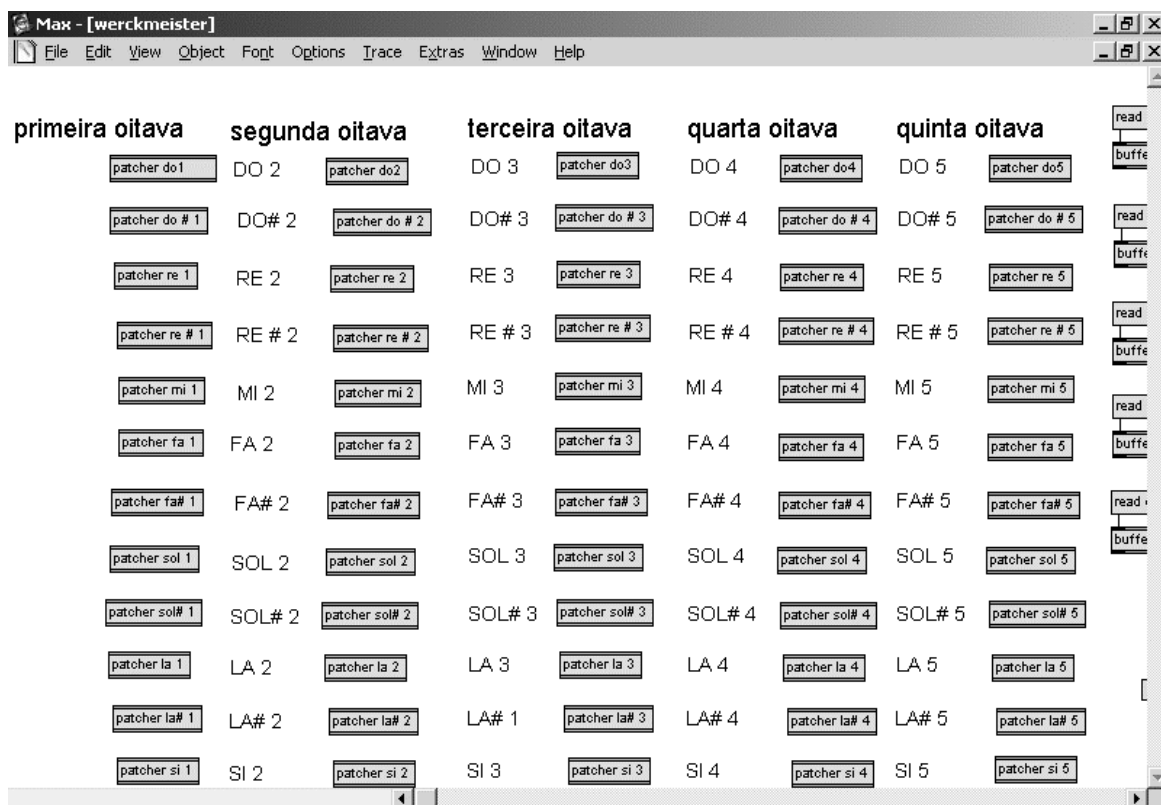


Figura 3.3 Patch Werckmeister

Cada *patch* em seu início possui um objeto *notein*. O objeto *notein* recebe o sinal MIDI de entrada das notas musicais. *Notein* recebe sinais MIDI e retorna para cada nota tocada no teclado, o valor MIDI correspondente da nota e a sua intensidade. Exemplificando, se tocarmos um Dó 3 bem fraco, o objeto *notein* retorna 60, que corresponde ao valor da nota DÓ 3 e algum valor entre 0 -127 que corresponda à intensidade da nota que foi tocada, 127 para o valor máximo de intensidade e 0 nota desligada. Se tocarmos a nota Dó bem fraca, para o valor de intensidade teremos algo em torno de 15 a 30, dependendo da sensibilidade do sensor de velocidade do teclado.

Os valores do número da nota tocada e a sua intensidade são enviados para o objeto *stripnote*. *Stripnote* é um objeto que ignora as mensagens de *noteoff* que são mensagens que possuem o valor de intensidade da nota igual a 0. Se não ignorarmos essas mensagens a implementação deste *patch* pode tornar-se bastante complicada, por isso, por opção de simplicidade decidimos optar por desprezar as mensagens de *noteoff*.

Cada *patch* trabalha somente com uma única nota, portanto todas as outras mensagens relativas às outras 57 teclas devem ser desprezadas. O funcionamento do *patch* é bastante simples, após *stripnote* existe um objeto “= =” que corresponde a um *if* ($x = y$) da linguagem C que verifica se a nota que foi tocada é a nota do *patch*. Se for a nota é tocada, se não for, a nota não é tocada.

4 – RESULTADOS E DISCUÇÃO

4.0.1 TESTES

Após a implementação, foram realizados alguns testes práticos com todas as afinações. Estes testes foram tocar algumas músicas e alguns acordes em todas as regiões do teclado. A avaliação das escalas é uma avaliação subjetiva, feita de ouvido, sem aparelhos para medição. Os testes são importantes para avaliar qualitativamente cada afinação avaliando a sua aplicabilidade no campo da música além de testar se a afinação soa conforme o trabalho de *Gann (1997)*.

4.0.2 Resultados dos Testes

Algo que é importante destacar ocorrido nos testes foi o fato de existir um considerável atraso entre o tempo de execução da nota do teclado, e o tempo em que escutamos o áudio gerado pelo PC. Acredita-se que isso se deve a dois fatores: um deles foi que os testes terem sido executados em um PC consideravelmente lento para esse tipo de aplicação, o outro, sendo que é MAX não compila o *patch*, isso faz também, com que a sua execução seja naturalmente mais lenta. Ao executar um outro *patch*, semelhante que recebe entradas pela saída MIDI do teclado o *patch* “polifony.pat”, pertencente a documentação do Max podemos perceber o mesmo atraso. Então podemos concluir que, esse atraso não é algo específico dessa implementação e sim do sistema MAX/PC como um todo. Esse tipo de problema é normalmente referenciado como um problema de latência. Uma possível solução para esse problema seria rodar o programa com um *driver* alternativo para a placa de som ou mesmo rodar o programa em um PC de maior performance.

O atraso ocorrido impossibilita a execução de peças de andamento mais rápido. Por essa razão os testes foram limitados, utilizando peças mais lentas e teste de acordes, intervalos e o grau de harmonicidade entre os mesmos. Um fato interessante foi que os resultados obtidos por *Gann (1997)* foram também, obtidos neste trabalho, porém, com algumas diferenças. *Kyle Gann* afinou um piano de cauda nessas mesmas afinações e

realizou em seu trabalho: “An Introduction to Historical Tunings” comparações entre as afinações, à maioria da comparação em seu trabalho é subjetiva assim como neste presente trabalho. As descrições são muito semelhantes com os resultados deste trabalho, existindo alguns acordes com batimentos notáveis na afinação *Werckmeister* nesse trabalho e que *Gann* não descreveu em seu trabalho. Apesar de significativas, as diferenças são pequenas e demonstram que as afinações históricas tendem a soar de maneira parecida independente do seu meio de aplicação.

4.1 Escala Pitagórica

A escala pitagórica foi a primeira a ser implementada. Os resultados foram bastante inesperados em virtude de ser a escala mais antiga. Vamos seguir a ordem dos acordes conforme um intervalo de quinta, ou seja, pela própria seqüência no qual a escala pitagórica foi criada.

Dó Maior: O acorde Dó maior teve a sua sonoridade harmônica, porém não tanto quanto outros. O intervalo de quinta entre Dó e Sol é muito harmônico, sem batimentos notáveis. A terça entre Dó e Mi teve sonoridade harmônica, mas não tão quanto a entre SI e SOL. O acorde teve sonoridade muito harmônica, porém não tanto quanto o SOL MAIOR.

Sol maior: O acorde de Sol maior teve a sua sonoridade bem harmônica, o intervalo de quinta entre SOL e RÉ é muito harmônico, sem batimentos. A terça entre SOL e SI teve sonoridade bastante harmônica também.

Ré Maior: teve a sonoridade bem harmônica também, semelhante à sonoridade de Dó maior. Dois intervalos soam bem harmônicos.

Lá Maior: Soa agradável, mas a terça não soa muito agradável ao ouvido quantos outros acordes, apesar da quarta soar muito agradável, e a quinta soar muito agradável também.

Mi Maior: Acorde muito harmônico que tem a terça e quinta muito harmônicas. Muito agradável ao ouvido esse acorde. A quarta soa muito agradável também.

Si Maior: Semelhante ao resultado de mi maior. Acorde belo sem batimentos.

Fá # Maior: Acorde com todos os 2 intervalos bem harmônicos. O acorde soa harmônico e sem defeitos.

Dó # Maior: Esse acorde soa estranho. A quinta soa desafinada e com batimentos estranhos. Os mais graves chegam a soar mais estranhos ainda. A terça não soa mal. O intervalo que soa realmente mal é a quinta que possui um espaçamento de 678 cents ao invés de 700 cents o que seria, um intervalo de quinta da escala igualmente temperada e esse intervalo muito curto entre a tônica e a quinta do acorde o torna muito desarmônico.

Sol # Maior: O acorde soa não tão estranho quanto o de Dó # maior, porém não é um acorde muito harmônico. O intervalo de terça neste caso que é o intervalo que possui batimentos e coloca desarmonia no acorde. A quinta não é tão perfeita quanto de alguns acordes como, por exemplo, o de Sol maior.

Ré # Maior: O acorde tem sonoridade harmoniosa, porém não está entre os mais harmoniosos de nosso estudo, com uma terça um pouco desarmônica.

Lá # Maior: Acorde com sonoridade bastante desarmônica. Talvez o mais desarmônico de todos, com tanto o intervalo de quinta quanto o de terça com bastante desarmonia e com bastante batimento entre eles.

Fá Maior: Acorde com sonoridade razoável. Com poucos batimentos na quinta, pouco significantes neste caso e que não deixam o acorde chegar a soar desarmônico. A terça soa bastante harmônica.

4.2 MeanTone

Dó Maior: O acorde de dó maior soa absolutamente perfeito, com tanto a quinta como a terça soando bastante harmoniosas. A quarta também soa muito perfeita.

Sol Maior: O acorde soa tão belo quanto o de Dó maior e com as mesmas características. E quarta também soa muito agradável ao ouvido.

Ré Maior: O acorde soa muito agradável, semelhante aos anteriores nas descrições.

Lá Maior: Acorde soa muito agradável. Muito harmonioso, podendo também ser descrito como os anteriores.

Mi Maior: Soa muito agradável ao ouvido também. Tanto a terça quanto a quinta soa muito agradáveis assim como a quarta.

Si maior: Acorde soa bem desafinado, nesse caso o intervalo de terça de Si com Ré # que possui batimentos bem notáveis torna o acorde desagradável ao ouvido. A quinta soa satisfatória, mas o intervalo de terça torna o acorde desarmônico.

Fá # Maior: Acorde soa um pouco desafinado também, não tão quanto o de SI maior, possuindo um intervalo de terça com bastante desarmonia. O intervalo de quinta do acorde soa bastante harmônico. O acorde como um todo não soa satisfatoriamente harmonioso.

Do # Maior: O Acorde soa desarmônico. O acorde possui os seus dois intervalos, tanto o de quinta quanto o de terça com alguns batimentos. Esses batimentos fazem com que os dois intervalos gerem um pouco de desarmonia no acorde.

Ré # Maior: O acorde soa bastante agradável. Parece possuir uma quinta não perfeita, mas suficientemente perto da perfeita para soar harmoniosa o suficiente ao ouvido. A terça maior é bem agradável também. Assim sendo, o acorde é bastante harmonioso.

A# Maior: O acorde soa bem harmônico sem batimentos que possam deixá-lo desarmônico. O acorde soa belo e equilibrado em todas as regiões de do teclado. Os dois intervalos de quinta e de terça soam bastante harmoniosos.

Fá Maior: Acorde soa com uma descrição semelhante ao anterior com bastante harmonia em seus dois intervalos.

4.3 *Werckmeister*

Dó Maior: O acorde de dó maior soa bastante harmônico, não tão quanto o Dó maior da escala *mean tone*, é agradável ao ouvido e harmônico, porém não tão harmônico quanto, os outros. A intervalo de quinta que não é tão harmônico, não possui batimentos que gerem sensação de desafinação.

Sol Maior: Este acorde soa agradável e bastante harmônico a quinta e a terça soam bem agradáveis ao ouvido e o acorde soa agradável como um todo.

Ré Maior: O acorde soa semelhante ao Dó maior, bastante agradável, com algumas imperfeições, a quinta não soa tão próxima a uma quinta perfeita, quanto o acorde de sol maior, mas soa suficientemente boa, a sonoridade proveniente do acorde soa parecida com o acorde de dó maior.

Lá Maior: O acorde soa também com uma sonoridade parecida com o anterior. Com características semelhantes em todas os sentidos. Resumindo: quinta não perfeita, porém harmoniosa. Terça bastante harmoniosa.

Mi Maior: Acorde diferente dos anteriores, com sonoridade bastante harmoniosa, semelhante ao sol maior, quinta muito próxima da perfeição e terça bastante harmoniosa.

Si Maior: Este acorde soa um pouco desafinado e desarmônico. Possui uma quinta que possui alguns batimentos, assim como o seu intervalo de terça. Este acorde não soa muito desafinado apenas um pouco.

Fá # Maior: O acorde de F# maior soa bem harmônico, com uma quinta bastante harmônica e uma terça não tão harmônica quanto a de Dó ou a de ré, mas harmônica o suficiente para termos um acorde belo e equilibrado.

Dó # Maior: Possui batimentos que geram sensações de desafinação no intervalo de quinta, a terça soa bastante agradável, tendo os batimentos no intervalo de quinta criam uma sensação de desarmonia no acorde.

Sol # Maior: O acorde soa bastante desafinado, o mais desafinado de todos, dentro desta escala. Isso justifica o fato de *J. S. Bach* importunar os seus afinadores acerca da qualidade deste acorde. A terça soa bem desafinada enquanto a quinta soa mais desafinada ainda, e com mais batimentos. Um problema do acorde e da afinação.

Ré # Maior: Acorde soa bastante harmônico e afinado. Tanto a quinta como a terça soando harmoniosas e agradáveis ao ouvido.

A # Maior: Acorde soa agradável, mas, porém, com alguns batimentos e alguma desarmonia entre os intervalos do acordes, muito pouco perceptível. Essa desarmonia pode ser percebida mais facilmente executando o acorde na região mais grave do teclado. Executando o acorde na região mais aguda essa desarmonia torna-se praticamente imperceptível resultando em um acorde bem agradável ao ouvido.

Fá Maior: Acorde soa belo e harmônico com o intervalo de terça bem harmonioso. Não possui batimentos que façam o acorde soar desafinado.

4.4 Escala Igualmente Temperada

A escala igualmente temperada como era esperado apresentou todos os seus 12 acordes maiores, bem harmônicos. Nenhum deles apresentou algum batimento ou algo que caracterizasse uma desarmonia entre eles. Mas sabe-se que eles possuem uma quinta “perfeita” ao contrário de alguns acordes das outras escalas. Qualquer música pode ser transposta de uma tonalidade para outra sem nenhum problema e o mesmo não pode ser

dito sobre as escalas anteriores. Apesar de se poder tocar na escala *Werckmeister* em todas as tonalidades, pode-se perceber que alguns acordes não são tão harmônicos quanto outros da mesma escala e também soam piores do que os mesmos se executados na escala igualmente temperada. Não tem sentido fazer uma análise igual ao das escalas anteriores para a escala igualmente temperada, pois todos acordes soam igualmente agradáveis e harmoniosos.

5 - CONCLUSÃO

As afinações do passado podem ser simuladas em microcomputadores sem maiores problemas. A implementação atual apresentou alguns problemas relativos a velocidade de execução, isso se deve em parte ao hardware por ter sido implementado através de um software interpretado e não compilado. Por esta razão existe um problema de latência no *patch* implementado com alguns atrasos. Esse problema pode ser resolvido com um hardware mais eficaz.

As afinações soaram conforme *Gann* (1997) havia citado, mas não em todos casos. Alguns acordes em algumas afinações não soaram iguais aos descritos por *Gann* (1997). Não se sabe ao certo o motivo disso. Uma das possíveis explicações é o fato dos testes serem subjetivos estando sujeitos a interferência humana para os resultados.

Existem também restrições em relação à aplicabilidade das afinações. As afinações são limitadas a um repertório específico a elas, pois existe uma gama de acordes que não soam harmônicos executados em algumas das afinações. A afinação *meantone* é a pior em relação aos batimentos para alguns acordes, com alguns acordes simplesmente intoleráveis ao ouvido. A afinação pitagórica possui alguns acordes desarmoniosos, porém não tanto quanto a *meantone*. A afinação *Werckmeister* é uma grande evolução sobre as anteriores, pois os acordes harmônicos são quase todos, alguns não soam tão harmoniosos e o Lá bemol maior soa desafinado. A escala igualmente temperada foi que possui todos os acordes bem harmoniosos e iguais, alguns acordes podem não soar tão bons quanto alguns das outras escalas, mas a diferença é praticamente imperceptível. Assim sendo, conclui-se que a escala igualmente temperada não se tornou universal por acaso sendo uma escala, no qual os 12 acordes maiores e os 12 menores soem todos igualmente harmônicos. Uma sugestão para evolução deste presente trabalho seria implementar uma versão compilada do programa. Um software compilado seria teoricamente superior em performance que o mesmo que foi implementado. Com um pouco de trabalho extra, esse programa pode ser desenvolvido para alguma música que queira estudar como uma peça musical do passado soe em sua originalidade. De acordo com *Gann* (1997) ao se tocar o cravo bem temperado de *J.S. Bach* sem afinação *Werckmeister* perde-se muito de sua essência e a sonoridade que foi buscada ao se compor essa obra. Muito se perde a executar essa obra na escala igualmente temperada.

6 –REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES, A. T., NEVES, A., Tecnologia Aplicada a Música, 4ª.ed. São Paulo: Editora Érica, 1993.

TIPLER P., Physics for scientists and Engineers, 3ª.ed Worth Publishers Inc New York, NY, USA. 1991.

GANN, K., An Introduction to historical Tunnings, 1997 Disponível em:
<<http://www.kylegann.com/histune.html>> Acesso em 21/03/2005

DOBRIAN, C., MSP tutorial and topics, versão 4.5.5/July 2005, Cyclin'74/IRCAM
I'Institut de Recherche et de Coordination Acustique/Musique 2005

AURÉLIO, B. H. F. , Novo Dicionário Aurélio, 1ed. Aurélio Buarque de Holanda Ferreira e J.E.M.M. Editores, LTDA, Rio de Janeiro.

CAMPBEL J. A. , The equal tempered Scale and Peculiarities of Piano Tunning, Precision Strobe Tunners, Disponível em:
<<http://www.precisionstrobe.com/apps/pianotemp/temper.html>> Acesso em:
21/03/2005.

J.S. BACH, Wohltemperiertes Klavier (The well tempered Clavierchord)
Bruno Mugellini Edition Breitkopf & HÄRTEL, WIESBADEN Nr 2375, 1722

Oliveira, Thomaz Chaves de Andrade

Implementação de Um Simulador de Temperos Históricos / Thomaz Chaves de Andrade Oliveira. Lavras – Minas Gerais, 2006, 32p., il

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras.
Departamento de Ciência da Computação

1- Informática 2 - Música 3 - Computação 4 - MIDI 5 - Simulação 6 -Computação Musical I OLIVEIRA, T. C. A. II Universidade Federal de Lavras III Implementação de Um Simulador de Temperos Históricos