



SONORA

ISSN 1809-1652



PRINCÍPIOS DE TÉCNICA E HISTÓRIA DO TEMPERAMENTO MUSICAL

Nivia G. Zumpano

Ricardo Goldemberg

INTRODUÇÃO

Desde aproximadamente o início do período renascentista até hoje em dia, a música ocidental tem se baseado principalmente em escalas diatônicas de sete notas e doze semitons cromáticos. Mas este tipo de configuração apresenta uma peculiaridade com relação à afinação: é impossível obter-se todos os intervalos perfeitamente ajustados.

Historicamente, este fenômeno ganhou importância a partir do momento em que os instrumentos de afinação fixa como órgãos e cravos (e posteriormente o piano) passaram a ser mais utilizados. Mas também afeta os demais instrumentos, caso sejam utilizados juntamente com algum tipo de teclado.

Consequentemente, a partir de certo momento histórico tornou-se imprescindível encontrar uma solução para a questão. Com isso, surgiram diversas propostas de afinação e temperamento por parte dos estudiosos do assunto.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre as afinações e temperamentos em geral, partindo dos conceitos fundamentais relacionados ao tema.

Para tanto, procurou-se utilizar uma linguagem simples e acessível, evitando-se as questões matemáticas mais complexas, tendo em vista facilitar sua compreensão por parte dos estudantes de música e musicistas em geral que buscam um primeiro contato com o assunto.

Desta forma, na Seção 1 são revisados os conceitos fundamentais relacionados ao tema; na Seção 2, apresenta-se uma distinção entre afinação e temperamento, além de sua classificação; na Seção 3, os temperamentos são contextualizados historicamente; por fim, a Seção 4 traz os comentários finais.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A série harmônica, em Física, corresponde ao conjunto de ondas formado por uma frequência fundamental (f) e todos os múltiplos inteiros desta frequência ($2f$, $3f$,...), e resulta da vibração de qualquer sistema oscilante em movimento harmônico simples como, por exemplo, as cordas de um violão ou a coluna de ar num tubo de órgão.

Assim, cada som (ou nota) dos instrumentos musicais é constituído, na verdade, por uma soma de diversos sons que formam a série harmônica. A frequência mais grave, ou fundamental, é a que se destaca e torna-se mais facilmente perceptível, mas os múltiplos inteiros desta frequência também estão presentes em maior ou menor número, variando conforme cada tipo de instrumento.

Cada uma destas ondas secundárias, cuja frequência é um múltiplo da fundamental, é chamada de um harmônico: assim, a fundamental (f) é chamada de primeiro harmônico, a frequência seguinte ($2f$) é o segundo harmônico, e assim por diante.

A principal frequência (ou altura) captada pelo ouvido humano é a fundamental, sendo que os demais harmônicos contribuem para a formação de outros aspectos do som, entre eles o timbre.

Os sons provenientes da série harmônica formam a base do sistema conhecido por afinação natural ou justa.

Quando duas ou mais notas musicais são tocadas simultaneamente, os harmônicos de cada uma delas serão sobrepostos, e o som resultante desta superposição pode apresentar batimentos ou não.

Os batimentos constituem-se num fenômeno físico resultante da superposição de ondas sonoras, e seu efeito corresponde a uma modulação regular na intensidade do som, ou seja, ocorrem pequenas variações na amplitude sonora, as quais serão mais ou menos rápidas dependendo da proximidade das frequências das notas envolvidas¹.

Desta forma, diz-se que um intervalo é puro (ou perfeito) se não apresenta batimentos, e impuro (ou imperfeito) se há batimentos. Na afinação natural, por exemplo, o intervalo de terça maior é puro.

¹ GOLDEMBERG, Ricardo. A prática da entoação nos instrumentos de afinação não-fixas. Opus, Goiânia, v.13, nº1, p.65-74, jun.2007, p.66.

Os intervalos musicais podem ser comparados entre si considerando-se seu tamanho ou a distância entre as notas envolvidas. Para tanto, pode ser utilizada a unidade de medida chamada *cent*, que consiste numa divisão da oitava em 1200 partes iguais, cada uma correspondendo a um *cent*².

Os relatos mais antigos sobre estudos de intervalos musicais apontam para os experimentos do filósofo e matemático grego Pitágoras, que viveu entre 582e 500 a.C.

Utilizando um monocórdio³, Pitágoras chegou às relações entre certos intervalos e os respectivos comprimentos de corda vibrante. Assim, para o intervalo de oitava constatou que a corda deveria ser pressionada exatamente em seu ponto médio, e para o intervalo de quinta deveria pressioná-la no ponto que corresponde a 2/3 de seu comprimento.

Desta forma, estabeleceu que os intervalos perfeitos de oitava e quinta correspondem às razões numéricas de 2:1 e 3:2, respectivamente. A partir destes intervalos poderia, então, obter todas as demais notas da escala numa sucessão de quintas e oitavas. Por exemplo, a partir de um dó poderia ser obtido o dó oitava acima e o sol; a partir deste sol, poderia ser obtido o sol oitava acima e o ré, e assim por diante.

O sistema de afinação baseado na seqüência exclusiva de quintas puras é chamado de pitagórico, e apresenta um problema: após uma sucessão de 12 quintas, deveríamos chegar à mesma nota do ponto de partida (7 oitavas acima), mas isso não ocorre.

Esse erro ou desvio é chamado de coma pitagórica. Pode-se, então, definir a coma pitagórica como sendo a diferença entre a nota obtida após percorrer 12 quintas puras e aquela obtida após percorrer 7 oitavas.

do.....sol.....re.....la.....mi.....si.....fa#.....do#.....sol#.....re#.....la#.....mi#.....si#
do ₁do ₂do ₃do ₄do ₅do ₆do ₇do ₈

Figura 1: Coma pitagórica (esquema representativo)

Pela figura anterior, pode-se observar que a distância percorrida na sequência de 12 quintas não é igual àquela obtida após 7 oitavas, e que a coma pitagórica corresponde matematicamente a essa diferença; utilizando as frações representativas dos intervalos, temos que $(3/2)^{12} \neq (2)^7$.

² HENRIQUE, Luis L. Acústica musical. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002, p.926.

³ Monocórdio: instrumento de uma única corda, fixada entre dois cavaletes sobre uma caixa de ressonância, a partir do qual podem ser obtidas diferentes alturas conforme a corda é tocada solta ou pressionada em diferentes pontos de sua extensão. N.A.

Há, ainda, outros tipos de erro que podem ser considerados. Por exemplo, se compararmos os intervalos de terça maior obtidos na série harmônica e na afinação pitagórica, veremos que são distintos. A terça maior da série harmônica é pura (sem batimentos), enquanto que a terça maior pitagórica é muito mais aberta, com batimentos. Essa diferença ou erro é chamado de coma sintônica.

As comas pitagórica e sintônica equivalem, respectivamente, a 23,5 cents e 21,5 cents. Para termos uma idéia de sua dimensão, basta imaginarmos que esses valores correspondem, aproximadamente, a 1/5 do intervalo de semitom no temperamento igual (piano).

AFINAÇÃO E TEMPERAMENTO

Em sentido amplo, o termo afinação refere-se ao processo de ajustar a altura (ou frequência) dos sons, tomando-se como referência uma altura-padrão, chamada diapasão. No decorrer da história essa altura-padrão sofreu diversas alterações, conforme o período, as diferentes regiões e culturas, e também em razão da estrutura dos instrumentos musicais de cada época. Atualmente, o diapasão tem sido admitido geralmente como a frequência de 440 ou 442 Hz para a nota lá acima do dó central.

Assim, a afinação está ligada ao ajuste dos intervalos ou da altura de um instrumento musical.

Tomando-se como base uma escala musical, o termo afinação pode ser entendido como um sistema idealizado de relações entre as frequências de cada nota nessa escala⁴.

O termo temperamento, por outro lado, refere-se ao processo de ajustar os intervalos da escala de modo que alguns intervalos, como a oitava, sejam perfeitos (puros), e que alguns contenham o erro (coma), tornando-se imperfeitos.

O temperamento pode, então, ser considerado uma espécie de afinação, na qual a maioria ou todos os intervalos da escala são ligeiramente impuros.

Desta forma, o termo temperamento significa um compromisso de afinação. Temperar implica em escolher quais os intervalos ou tonalidades conterão o erro, e quais soarão puros ou mais próximos da pureza. O ato de temperar, em termos musicais, significa que algumas consonâncias serão alteradas imperceptivelmente em benefício de outras, de tal forma que se chegue a um equilíbrio harmônico entre todas elas. Com isso, alguns intervalos serão ligeiramente “desafinados” em benefício de outros⁵.

Em termos matemáticos, a distinção entre os termos “afinação” e “temperamento” pode ser dada pelo seguinte: a afinação refere-se aos sistemas em que todos os intervalos podem

⁴ GOLDEMBERG, Ricardo, op.cit, p.66.

⁵ HORA, Edmundo Pacheco. . As obras de Froberger no contexto da afinação mesotônica. Campinas. Tese de doutorado. Instituto de Artes, Unicamp, 2004 . p.39-40.

ser descritos por frações de números inteiros; com isso, somente os sistemas pitagórico e natural poderiam ser chamados de afinações. Todos os demais sistemas, nos quais as frações são descritas por números não-inteiros ou por inteiros e não-inteiros, são chamados de temperamentos. Desta forma, pode-se dizer que o temperamento seria uma modificação da afinação⁶.

Os sistemas de temperamento podem ser classificados, a princípio, em dois grandes grupos: sistemas abertos e fechados.

Os sistemas abertos são aqueles em que o ciclo de 12 quintas não se fecha, ou seja, a nota final obtida não coincide com a nota inicial. Nestes sistemas há, então, a chamada “quinta do lobo” (onde se acumula todo o erro), e torna-se impossível utilizar algumas tonalidades, as quais soarão extremamente desafinadas.

Embora seja melhor definido como um tipo de afinação e não de temperamento, o sistema pitagórico é um bom exemplo de sistema aberto.

Os sistemas abertos também podem ser chamados de lineares, uma vez que não é possível completar o círculo das quintas com todas as tonalidades afinadas.

Por outro lado, os sistemas fechados são aqueles em que o ciclo se fecha, ou seja, a coma é distribuída entre os intervalos de forma que a nota final obtida, após percorrer 12 quintas, coincide com a nota inicial, não havendo a “quinta do lobo”.

Dentre os sistemas fechados podemos destacar, por exemplo, o temperamento igual utilizado atualmente nos pianos.

Os sistemas fechados podem ser chamados de circulares, uma vez que o ciclo se completa e a nota de partida coincide com a final. Nestes sistemas, todas as tonalidades são utilizáveis, soando razoavelmente afinadas.

Há, ainda, uma segunda classificação para os sistemas de temperamento, embora menos utilizada, e que considera a distribuição uniforme ou não da coma entre os intervalos: assim, os temperamentos também podem ser classificados como irregulares (desiguais) ou regulares (iguais).

Diz-se que um temperamento é irregular (desigual) quando a coma é distribuída de maneira não-homogênea entre os intervalos, ou seja, alguns conterão o erro em diferentes proporções que os demais. Como exemplo, pode-se destacar o temperamento Werckmeister III, proposto no século XVIII, no qual a coma é distribuída apenas entre 4 quintas selecionadas, sendo as demais todas puras.

Nos temperamentos chamados regulares (iguais), por outro lado, a coma é distribuída uniformemente entre todos os intervalos. O temperamento igual, como o próprio nome indica, é um exemplo desta categoria.

⁶ BARBOUR, J. Murray. Tuning and temperament- a historical survey. New York: Dover, 1951, p.5.

Classificação dos sistemas de temperamento

Quanto à possibilidade de utilizar todas as tonalidades	ABERTOS (lineares)	O ciclo não se fecha e não é possível utilizar todas as tonalidades
	FECHADOS (circulares)	O ciclo se fecha e é possível utilizar todas as tonalidades
Quanto à distribuição da coma	DESIGUAIS (irregulares)	A coma é distribuída de maneira não-uniforme
	IGUAIS (regulares)	A coma é distribuída uniformemente

HISTÓRICO

As escalas musicais utilizadas nas diferentes culturas apresentam, em geral, um número reduzido de notas. Na música ocidental utiliza-se, quase que exclusivamente, escalas formadas por sete notas selecionadas dentre uma gama de doze sons⁷.

Devido à impossibilidade natural de se obter uma escala na qual todos os intervalos sejam perfeitos e ao mesmo tempo conseguir um sistema de afinação fechado, surgiram diversas propostas de afinação e temperamento no decorrer da história.

A afinação pitagórica, que surgiu no século VI a.C., constituiu-se no primeiro sistema a ser amplamente difundido. Este sistema baseia-se nos intervalos de quintas e oitavas puras e apresenta, como vimos anteriormente, o desvio chamado de coma pitagórica. Neste sistema, o intervalo de terça maior é extremamente aberto, com muitos batimentos.

Apesar disso, a afinação pitagórica mostrou-se satisfatória e foi amplamente utilizada no período entre a antiguidade grega até aproximadamente o final da Idade Média, com o cantochão gregoriano.

Porém, a partir do desenvolvimento da polifonia e do crescente interesse pelo intervalo de terça no Renascimento, este sistema já não se mostrava adequado. Nesse período, a afinação natural provavelmente tenha se mostrado uma alternativa mais adequada, sobretudo pelo fato do intervalo de terça, neste sistema, soar sem batimentos (puro).

⁷ GOLDEMBERG, Ricardo. Op.cit, p.68.

A afinação natural (justa), que utiliza os sons provenientes da série harmônica, atendeu bem às necessidades da música renascentista, uma vez que a harmonia era quase que exclusivamente baseada nos acordes principais da escala (I, IV e V), e o sistema tonal ainda estava começando a ser estabelecido.

Mas a partir do século XVI, com a crescente utilização dos instrumentos de teclado (afinação fixa) na música para conjunto, e com o gradativo amadurecimento da tonalidade, os dois sistemas de afinação precedentes tornaram-se inadequados.

Começaram a surgir, então, diversas propostas de afinação nas quais somente alguns intervalos de quinta seriam puros; com isso, alguns intervalos deveriam conter o erro (coma), a fim de que se alcançasse um sistema fechado no qual fosse possível utilizar todas as tonalidades. Como vimos, esse processo de dividir ou distribuir a coma entre os intervalos denomina-se temperamento.

Durante os séculos XVI e XVII, o sistema denominado mesotônico tornou-se amplamente difundido e utilizado em grande parte da Europa. Surgiram, nesse período, diferentes tipos de mesotônico, dentre os quais alguns baseados na divisão de $1/6$ e $1/7$ da coma, por exemplo. Mas o chamado mesotônico-padrão é aquele em que 11 das 12 quintas são estreitadas em $1/4$ da coma sintônica, a fim de se obter terças puras⁸.

Trata-se de um sistema aberto (linear), uma vez que a 12ª quinta do ciclo contém todo o erro acumulado (quinta do lobo), impossibilitando a utilização de certos centros tonais.

No final do século XVII e durante todo o século XVIII surgiram diversas propostas de temperamento, na busca de obter um sistema fechado que soasse bem em todas as tonalidades, permitindo modulações.

Destacaram-se, nesse período, teóricos como A. Werckmeister (1645-1706), J. Mattheson (1681-1764), F.W. Marpurg (1718-1795) e J.P. Kirnberger (1721-1783), entre outros. Seus estudos estavam voltados para a descoberta de um sistema fechado que, ao mesmo tempo, fosse relativamente simples na prática e possibilitasse o uso de todas as tonalidades.

Dentre estes estudos destaca-se a obra Werckmeister, principalmente seu tratado *Musicalische Temperatur*, de 1691, no qual apresenta diversas instruções sobre afinação e temperamento. Suas instruções I e II, numeradas originalmente em algarismos romanos, trazem uma revisão dos sistemas precedentes (a escala natural e o sistema mesotônico). Contudo, sua instrução III foi a que se tornou mais conhecida até nossos dias, talvez por ser a primeira real proposição do autor.

O temperamento Weckmeister III divide a coma pitagórica em 4 partes iguais, distribuindo as mesmas em 4 quintas selecionadas: dó-sol, sol-re, re-la e si-fa#, sendo as demais todas puras. Com isso, elimina-se a quinta do lobo existente no sistema mesotônico, fechando o ciclo e possibilitando a utilização de tonalidades mais distantes (com mais acidentes), as quais são toleravelmente afinadas.

⁸ HORA, Edmundo Pacheco. Op.cit., p.35.

É importante notar que os sistemas irregulares propostos permaneceram em uso até meados do século XIX. O estabelecimento do temperamento igual como padrão só se deu a partir de então e, portanto, não era comum na época de J. S. Bach, como já se chegou a pensar.

Em sua coleção de prelúdios e fugas “O Cravo bem Temperado” (vol.I de 1722, e vol.II de 1744), não há nenhuma referência a qualquer tipo de temperamento, mas provavelmente teria sido utilizado um temperamento desigual. O termo do título original em alemão (*Das wohltemperirte clavier*) não significa “igual”, mas sim “agradavelmente” temperado. O termo alemão para “igualmente temperado” seria *gleichwebende temperatur*⁹.

Os primeiros relatos recuperados sobre o temperamento igual datam do século XVI, e são de autoria de Giovanni Maria Lanfranco, em sua obra *Scintille de Musica*, de 1533¹⁰.

Este temperamento foi aplicado aos instrumentos de cordas com trastos, como o alaúde, durante os séculos XVI e XVII. No século XVIII, embora fosse mais comum a utilização de temperamentos desiguais, este sistema ganharia defensores de destaque, como J. P. Rameau (1683-1764) em seu tratado *Génération harmonique*, de 1737.

Apesar de ainda haver, nesse período, certa resistência com relação ao temperamento igual, o mesmo foi sendo gradativamente utilizado, até tornar-se padrão na segunda metade do século XIX.

No temperamento igual, a coma pitagórica é dividida em 12 partes iguais e distribuída uniformemente entre todos os semitons da escala. Assim, todos os intervalos com o mesmo número de semitons terão sempre o mesmo tamanho, ou seja, soarão todos iguais independentemente da tonalidade.

Por outro lado, neste sistema não há nenhum intervalo puro, com exceção da oitava. Pode-se dizer, então, que todos os intervalos são ligeiramente desafinados (com batimentos).

Por fim, é importante lembrar que apesar de ter se tornado padrão, o temperamento igual aplica-se principalmente aos instrumentos de afinação fixa, como o piano. Nos instrumentos de afinação não-fixa, como as cordas e também os sopros, além da voz humana, os intérpretes têm liberdade de optar por certos tipos de entoação dos intervalos e utilizar outros tipos de afinação, como a pitagórica, por exemplo. Isto geralmente ocorre quando estão desacompanhados de um instrumento de afinação fixa (teclados). Nestes casos, apesar da importância teórica do temperamento, os fatores que influenciam na prática são sutis e complexos, e dependem da técnica e da musicalidade de cada instrumentista¹¹.

⁹ BARBOUR, J. Murray, op. cit, p.12.

¹⁰ Idem, p.45.

¹¹ GOLDEMBERG, Ricardo, op.cit., p.73.

COMENTÁRIOS FINAIS

Como vimos, o tema abordado neste trabalho é bastante amplo, mas algumas idéias centrais podem ser destacadas neste momento:

- Temperar significa assumir um compromisso, ou seja, ao optarmos por determinado tipo de temperamento devemos ter em mente que certos centros tonais serão beneficiados, enquanto outros não soarão tão bem. Com isso, a escolha do temperamento mais adequado deve basear-se em fatores como o tipo de repertório a ser executado e o período a que pertence, por exemplo.
- Além disso, devemos lembrar que essa questão só será relevante se um instrumento de afinação fixa (teclados) estiver presente; caso contrário, para as cordas, sopros e voz humana sempre há a possibilidade de fazer pequenos ajustes na altura das notas durante a execução.
- No decorrer da história, diversas foram as propostas de temperamento tentando ajustar ou distribuir o erro (coma) da melhor forma possível para a música daquele momento; porém, nenhuma delas pode ser considerada, isoladamente, melhor ou pior que as demais, pois sua utilização depende dos objetivos a serem alcançados.
- Para facilitar sua compreensão, os sistemas de temperamento podem ser classificados de duas formas diferentes: a) quanto à possibilidade de utilizar ou não todas as tonalidades, os temperamentos classificam-se em FECHADOS (circulares) ou ABERTOS (lineares); b) quanto à distribuição uniforme ou não da coma, classificam-se em IGUAIS (regulares) ou DESIGUAIS (irregulares).

É preciso, ainda, esclarecer o significado da terminologia utilizada em alguns manuais, pois às vezes o termo “temperado” aparece com o sentido de “temperado igual”. Acreditamos que a utilização da expressão mais completa pode evitar mal-entendidos; assim, ao invés de dizer apenas “temperado”, parece-nos mais adequado mencionar qual o tipo de temperamento a que se refere como, por exemplo, “temperado igual” ou “temperado em mesotônico”, etc.

Por fim, lembramos que este trabalho caracteriza-se por uma abordagem simples e acessível do tema, buscando facilitar o primeiro contato de estudantes de música e musicistas com o assunto. Por este motivo, questões mais complexas ligadas à Física e à Matemática foram propositalmente evitadas e, quando necessárias ao entendimento do assunto, foram tratadas de maneira bastante simplificada. Para uma análise mais aprofundada neste sentido, sugere-se a consulta aos manuais listados como referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOUR, J. Murray. **Tuning and temperament- a historical survey**. New York: Dover, 1951.

GOLDEMBERG, Ricardo. **A prática da entoação nos instrumentos de afinação não-fixa**. Opus, Goiânia, v.13, nº1, p.65-74, jun.2007.

HORA, Edmundo Pacheco. **As obras de Froberger no contexto da afinação mesotônica**. Campinas. Tese de doutorado. Instituto de Artes, Unicamp, 2004.

HENRIQUE, Luis L. **Acústica musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

AUTORES:

Nivia G. Zumpano – Doutoranda em Música do IA/UNICAMP; email: niviazum@hotmail.com

Dr. Ricardo Goldemberg – Professor do Departamento de Música do IA/UNICAMP; email: rgoldem@iar.unicamp.br