

O movimento de Helmholtz revisitado: uma análise fundamental e suas implicações para a performance violinística contemporânea

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO (on-line)

SUBÁREA: Performance Musical

Marcos Pereira Osaki
Universidade de São Paulo
marcos.osaki@osaki.com.br

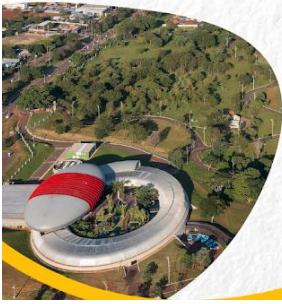
Eliane Tokeshi
Universidade de São Paulo
eliane@usp.br

Resumo. Este artigo investiga as propriedades físicas do movimento de Helmholtz e sua aplicação prática na performance e pedagogia do violino, com o objetivo de preencher a lacuna de comunicação entre a pesquisa científica em acústica e o instrumentista. A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica de obras seminais da Física, como as de Helmholtz, e de métodos pedagógicos influentes de violinistas como Auer, Flesch, Galamian e Suzuki, analisando como o fenômeno da vibração da corda é abordado em ambos os campos. A pesquisa demonstra que, embora a pedagogia tradicional da performance do violino busque a excelência sonora por vias empíricas, a compreensão explícita do mecanismo *stick-slip* e da propagação do “canto de Helmholtz” oferece ferramentas concretas para o controle deliberado da qualidade tímbrica. O estudo detalha como as variáveis de arco — velocidade, peso e ponto de contato — manipulam diretamente a estabilidade do padrão Helmholtz, permitindo ao músico não apenas otimizar a produção de um som limpo e ressonante, mas também explorar conscientemente sonoridades resultantes das técnicas estendidas. Conclui-se que a integração de uma linguagem científica acessível ao ensino do violino é fundamental para o desenvolvimento de uma técnica mais eficiente e uma performance artisticamente mais consciente. Este trabalho propõe uma abordagem intermediária que traduz conceitos físicos em estratégias aplicáveis, defendendo a necessidade de um diálogo mais profundo entre a ciência e a arte na formação do violinista contemporâneo.

Palavras-chave. Helmholtz, Produção de som, Performance do violino.

Title. **Helmholtz's Movement Revisited: a Fundamental Analysis and Its Implications for Contemporary Violin Performance**

Abstract. This article investigates the physical properties of the Helmholtz motion and its practical application in violin performance and pedagogy, aiming to bridge the communication gap between scientific research in acoustics and the instrumentalist. The methodology consisted of a literature review of seminal works in Physics, such as those by Helmholtz, and influential pedagogical methods by violinists like Auer, Flesch, Galamian, and Suzuki, analyzing how the phenomenon of string vibration is approached in both fields.



The research demonstrates that while traditional violin performance pedagogy seeks some excellence through empirical means, an explicit understanding of the stick-slip mechanism and the propagation of the “Helmholtz corner” offers concrete tools for the deliberate control of timbral quality. The study details how bowing variables—speed, weight, and sound point—directly manipulate the stability of the Helmholtz pattern, allowing the musician not only to optimize the production of a clean and resonant sound but also to consciously explore sonorities resulting from extended techniques. It is concluded that integrating accessible scientific language into violin teaching is fundamental for developing a more efficient technique and a more artistically conscious performance. This work proposes an intermediate approach that translates physical concepts into applicable strategies, advocating for a deeper dialogue between science and art in the contemporary violinist’s training.

Keywords. Helmholtz, Sound production, Violin performance.

Esta pesquisa tem por objetivo pesquisar o movimento de Helmholtz e as particularidades do fenômeno de fricção do arco sobre a corda, demonstrando como essa compreensão pode ser benéfica para a performance por violinistas, estudantes e professores de violino.

Grandes pedagogos da performance do violino trouxeram abordagens a partir da própria experiência, seja advinda das aulas que tiveram com outros pedagogos, seja da própria reflexão no processo de estudo individual e de ensino. As técnicas apregoadas por esses mestres do violino têm pelo menos um objetivo em comum: a produção do melhor som. Mas, o que é som? Como se obtém o som no violino? Como se evita que o som “rugoso” ou “frouxo”? Como se potencializa um som em dinâmica *forte*? Qual a diferença entre um som *forte* obtido com velocidade rápida do arco ou por pressão do arco na corda? Quais são as ferramentas para se medir essas diferenças sem se apoiar apenas na avaliação individual e subjetiva?

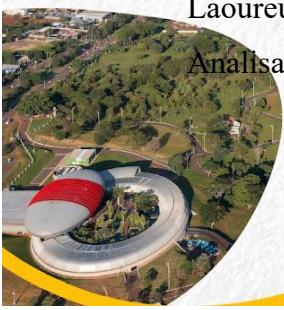
Buscamos respostas para estes questionamentos em pesquisas na área da Física.

O fenômeno de fricção das cordas do violino: violinistas e Física

Durante a performance e estudo, o violinista tem frequentemente sua atenção voltada para tópicos como postura, gestos, som, afinação, expressão musical, além da leitura precisa da partitura. Raramente a observação da vibração das cordas de seu instrumento ganha a relevância que pretendemos mostrar como necessária.

Para esta análise, examinamos uma seleção de métodos e estudos fundamentais para o ensino do violino, incluindo obras de Bang, Casorti, De Bériot, Dont, Hrimaly, Kreutzer, Laoureux, Rode, Schradieck, Ševčík, Sitt, Tartini, Wohlfahrt (todos n.d.), e Suzuki (2007).

Analisamos também os livros de Galamian (1998), Flesch (1911, 1934, 2022), Auer (1921,



1925/2012), Paul Rolland (1959, 1974) e Strange & Strange (2001). A grande maioria aborda postura e movimento do corpo e membros superiores. Alguns se concentram na produção de som, escrevem ou sugerem exercícios sobre velocidade do arco, pressão e ponto de contato do arco com a corda. Mas o foco normalmente é o posicionamento e função do membro superior direito. Dentre os pedagogos estudados não foi encontrado registro de comentários sobre o fenômeno da vibração da corda. Exemplifiquemos.

Auer menciona a produção de um som “puro”, “colorido” (1921, p. 58).

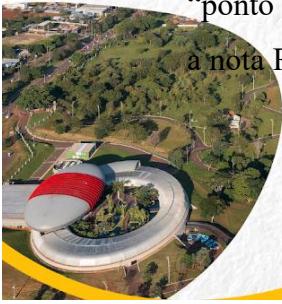
É interessante como Galamian, por outro lado, embora defenda que o arco sempre deve ficar paralelo com o cavalete, ao final do capítulo indica que o arco não tão perpendicular à corda pode produzir um “singing tone” (som belo, ressonante capaz de expressar a melodia de forma lírica e expressiva) em uma velocidade não muito elevada, o som mais ressonante é aquele produzido pelo arco “ligerissimamente oblíquo” em relação ao cavalete. Muito possivelmente essa afirmação foi feita a partir de observação pessoal e não de estudo feito em laboratório:

Foi afirmado anteriormente que o arco perfeitamente reto é a base de toda técnica de arco. Até agora, presumia-se que o arco estivesse perfeitamente paralelo ao cavalete o tempo todo. No entanto, é fato que, ao desenhar um som melodioso [“singing tone”] em uma velocidade não muito alta, o som mais ressonante será produzido quando o arco estiver em um ângulo extremamente leve com o cavalete — de tal forma que a ponta do arco esteja sempre um pouco mais em direção ao braço e o talão ligeiramente mais próximo do corpo do músico. O arco, portanto, faz uma curva suave no sentido horário. O ângulo de inclinação é sempre o mesmo e não muda da ponta para o talão ou do talão para a ponta. Tecnicamente, o arco deve seguir um caminho idêntico em ambas as arcadas, para baixo e para cima. (Galamian, 1962/2013, p. 101)

Risi aborda o tema ao mencionar a “primeira lei para a produção de som”: “quanto menor for o pedaço da corda vibrante, mais próximo o arco deve ficar do cavalete” (2005, p. 352).

Suzuki, no vol. 1 do Método, tangencia esse ponto, ao trazer um exercício em que instrui o aluno a fazer *pizzicato* na corda Lá e na corda Mi, recomendando que o aluno ouça o som e toque em seguida com o arco buscando a mesma ressonância. Ele não traz uma recomendação expressa ao professor ou ao aluno para a observação do movimento da corda, mas para o som (2007, p. 30).

No vol. 2 do Método, Suzuki (2007) traz o exercício que demonstra o que denomina “ponto das ressonâncias”, isto é, ao tocar a mesma nota de uma corda solta (por exemplo, tocar a nota Ré na corda Sol, que coincide com o mesmo som da corda Ré) ou em oitava em relação



a uma corda solta (por exemplo, tocar a nota Lá na corda Mi, que corresponde à oitava superior da corda Lá), o aluno deve observar a outra corda (a que não está sendo friccionada) vibrar, no fenômeno do denominado “ponto de ressonância”. Igualmente, o aluno é convidado a observar apenas a outra corda que vibra ao mesmo tempo que a corda que está sendo tocada, sem o convite à observação da própria corda que está sendo tocada (2007, p. 9).

Flesch critica frases como “o som não é suficientemente radiante” (“*the tone is not radiant enough*”) pois não dizem o que o violinista deve fazer mecanicamente para corrigir. Menciona também “a pureza e regularidade das vibrações das cordas necessárias para a produção de um som perfeito”, expressando inquietação com o julgamento da qualidade do som produzido:

II. REQUISITOS MECÂNICOS DA PRODUÇÃO DO TOM

A qualidade do som é valorizada na fala musical coloquial quase exclusivamente do ponto de vista estético. A terminologia usada, portanto, emprega principalmente expressões derivadas daquelas usadas para outros órgãos de percepção. Falamos de um tom brilhante ou opaco, claro ou escuro, profundo ou oco, amplo ou fino, doce ou áspero. A visão, o paladar, o olfato, o tato e as emoções da vida em geral devem servir de guia para interpretar a impressão, que na realidade só é percebida pelo ouvido. Os possíveis valores apreciáveis de natureza puramente acústica, por outro lado, são consideravelmente menos numerosos e de um tipo muito mais primitivo. Forte e fraco, puro, áspero ou sibilante, são praticamente tudo o que nossa linguagem oferece para a elucidação de impressões audíveis. Portanto, no caso de diferenciar opiniões quanto ao som, somos forçados, por assim dizer, a transpor nossas impressões acústicas para uma forma de terminologia usada para outros órgãos de percepção, a fim de nos fazermos entender. Essa valoração sonora, no entanto, levando ao domínio estético, é mais prejudicial do que útil para o ensino. Por exemplo, como o aluno deve entender uma observação como: “O timbre não é suficientemente radiante”, se, ao mesmo tempo, não for informado sobre como a correção mecânica correspondente deve ser realizada e se o conhecimento do contexto entre mecânica e estética não constituiu uma parte considerável de sua educação violinística desde o início? Na crítica literária, nenhuma objeção deve ser feita contra o estilo “floreado”. No curso do ensino profissional, no entanto, devemos tentar formular nossa opinião da forma mais simples e clara possível e limitá-la, para começar, às razões palpáveis e audíveis que interferem na produção de um timbre puro.

Com este preceito, abordamos o cerne do problema do som. Surge a pergunta: qual a natureza das necessidades técnicas diretamente responsáveis pela produção sonora? (Flesch, 1934, p. 7)

Percebe-se, assim, pela amostragem que trouxemos, que a qualidade do som é estudada sob o ponto de vista da técnica, mas o fenômeno físico do friccionamento da corda não é abordado.

Por outro lado, no mundo pós Iluminismo, em que a ciência se especializa, existe uma dificuldade muito grande em se conectar as inúmeras especialidades científicas. A linguagem da área da Física é inacessível para o músico e vice-versa. O recurso da inteligência artificial, com limitações, pode fazer uma aproximação e ajudar a compreender fórmulas matemáticas. Mas, ainda assim, é um desafio enorme um músico ler e compreender perfeitamente um gráfico



ou um artigo de Física. É necessária uma linguagem intermediária: que temos precisão científica acessível ao músico e, ao mesmo tempo, busque aplicar no violino os conceitos daquela área. Esta é nossa primeira proposta.

Fricção da corda a “olho nu”

Ao visualizar o arco do violino friccionando uma corda, a olho nu, tem-se a percepção de que a corda vibra lateralmente entre direita e esquerda de uma forma tão rápida, que se consegue visualizar um desenho borrado da corda, num formato “oval”, parecido com parêntesis que abre e fecha “()”.

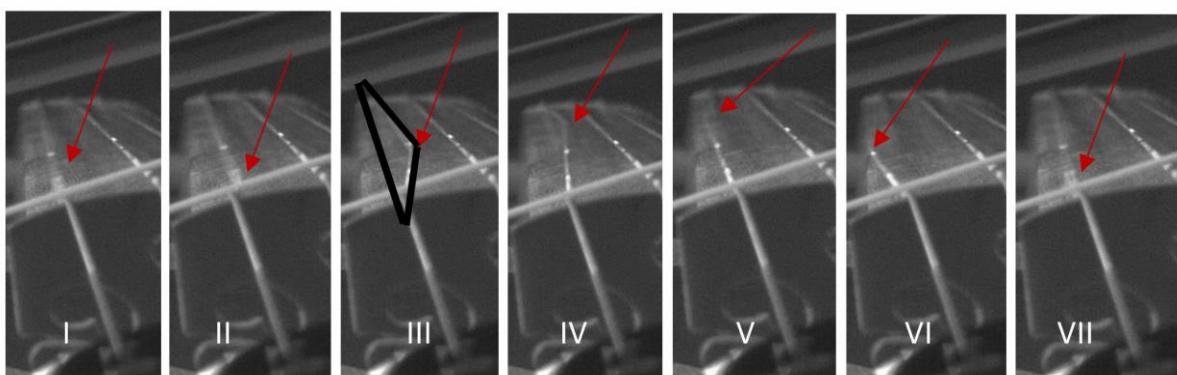
Pode-se perceber ainda que, ao se aplicar mais velocidade na arcada, em relação à corda, essa forma oval tende a aumentar o diâmetro lateral, fazendo com que a corda que vibra, num ponto intermediário, quase alcance a corda vizinha do instrumento. Em outras palavras, ao tocar a corda Sol, pode-se observar que, quanto mais *forte* se tocar, com muita velocidade do arco, mais ampla se tornará a vibração física da corda, que chegará bem perto da corda Ré.

Ao comparar a mesma pressão e velocidade de arco em todas as cordas do violino, observa-se que quanto menor o diâmetro da corda, menor a amplitude desse formato oval. Essa percepção existe em instrumentos históricos, guardadas as devidas proporções, pois as cordas eram feitas de outros tipos de materiais, o arco passou por alterações e a caixa de ressonância do instrumento sofreu alterações. Nossa visão apenas se aprofundou com o advento da ciência e dos instrumentos criados para medição de movimentos em laboratório.

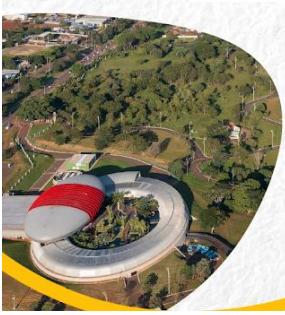
Movimento de Helmholtz ao longo da corda

Demonstremos, em fotos que extraídas de um vídeo em câmera lenta, o movimento que acontece com a corda ao longo de sua extensão (entre o cavalete e a pestana), ao ser friccionada pelo arco:

Figura 1 – Foto (*print*) tiradas de um vídeo em câmera lenta, entre os intervalos 1'10" e 1'11"



Fonte: Vídeo do YouTube <https://youtu.be/6Jey1M0YNo4?si=PII7NWI2GnFlISK4>



Podemos visualizar, a partir dos momentos sequenciais acima (que numeraremos de I a VII), o arco grudando na corda (em inglês, *stick*), no momento I. Em seguida, iniciando o movimento, o arco continua grudado (sem deslizar de imediato), “agarrando” e “levando consigo” a corda por um momento, formando uma espécie de letra “v” ou um triângulo imaginário em que os três pontos são o cavalete, a pestana e o ponto de contato da corda com a crina do arco (também chamado de “canto de Helmholtz”) marcada com a seta vermelha, cujo triângulo está graficamente representado no momento III. Em seguida, o ponto do triângulo que estava no ponto de contato com a corda parece “escorregar” do arco (*slip*, em inglês), indo pela direita (em relação ao violinista), chegando até a pestana (momento IV) e voltando pelo lado oposto até encontrar a crina do arco novamente (momentos V a VII).

Esse movimento de fricção de cordas foi estudado em laboratório por Hermann von Helmholtz (1821-1894), um matemático e médico alemão que contribuiu para a física, óptica, acústica, fisiologia e psicologia. Foi ele quem primeiro registrou o movimento específico que a corda de um violino faz ao ser friccionada, diferenciando da corda pinçada, publicando o resultado no livro *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik (On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*, 1863). Embora a percepção seja de que a corda faz um movimento lateral (esquerda/direita) entre o cavalete e a pestana ou um dedo esquerdo colocado sobre a corda, sabe-se que esse movimento é, na realidade, triangular, em que uma das pontas do triângulo, conhecida como “canto de Helmholtz”, percorre a extensão da corda circularmente entre cavalete e pestana ou dedo esquerdo na corda. Por sua vez, a corda, ao se desgrudar do arco e iniciar o deslizamento, faz esse ponto percorrer a corda no sentido horário ou anti-horário conforme o arco esteja numa ou noutra direção (em direção ao talão, conhecido como arcada para baixo, ou em direção à ponta, arcada para cima). É o que Woodhouse comenta sobre Helmholtz:

O que Helmholtz descobriu é algo realmente surpreendente. Quando você vê uma corda tocada com o arco de violino vibrando, você vê uma mancha difusa em forma de lente. Você bem poderia imaginar que a corda simplesmente vibra de um lado para o outro com aquela forma suave de arco. Mas Helmholtz descobriu que a corda está na verdade se movendo de uma maneira contraintuitiva [...]. Em algum momento dado, a corda tem uma forma triangular: duas porções retas separadas pelo ‘canto de Helmholtz’. Este canto vai e volta entre o cavalete e o dedo do instrumentista. (Woodhouse, 2021)

Guettler assim descreve o movimento:

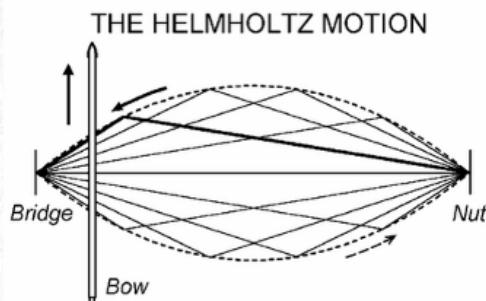
Quando uma corda tocada com o arco oscila em regime estável, a corda assume a forma de duas linhas (quase) retas conectadas por uma curva ou



ângulo que gira em uma trajetória parabólica [...]. O contato entre o arco e a corda alterna entre duas condições: aderência e deslizamento. Durante o intervalo em que a curva se desloca entre o arco e o cavalete (“deslizamento”), a corda se move em uma direção oposta à do arco [...]. (Guettler, 2002, p. 4)

Segundo Guettler, o movimento de Helmholtz pode ser assim representado (2002, p. 4):

Figura 2 – Imagem do movimento de Helmholtz demonstrando o movimento da corda friccionada pelo arco, entre o cavalete e a pestana do violino



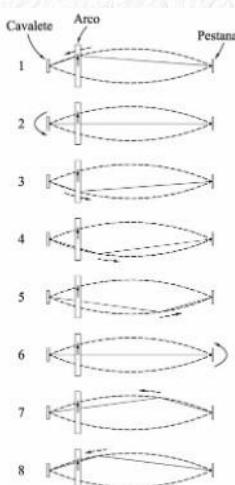
Fonte: Tese de doutorado disponível no site <https://knutsacoustics.com/files/thesis-guettler-020607.pdf>, p. 4

Na descrição dessa figura 2, Guttler descreve:

A corda no movimento de Helmholtz. Toda vez que o canto da corda passa por baixo do arco em direção ao cavalete, a corda desliza na crina do arco. Ao passar pelo arco novamente em direção à pestana, a corda é capturada e permanece presa pelo resto do tempo. (Guettler, 2002, p. 4)

Donoso et. al. (2008, p. 2305-14) demonstram a sequência do movimento em oito momentos sequenciais, em que o arco está na direção de ponta (indo para cima):

Figura 3 – Imagem do movimento do “canto de Helmholtz” demonstrando o movimento da corda friccionada pelo arco para cima, entre o cavalete e a pestana do violino, em momentos distintos



Fonte: Revista Brasileira de Física, 30 (2), disponível em <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000200006>

Conforme se observa no momento 1 da figura acima, a corda está fora de seu estado de repouso natural. Esse caminho do arco na corda até chegar na situação descrita no momento 1, conforme Helmholtz, é feita com o arco grudado (*stick*) na corda. Ou seja, no momento 1, o arco já levou a crina grudada a ele até o ponto máximo, fazendo a nova ponta do triângulo ter se deslocado para cima. Esse mesmo momento demonstra que essa ponta do triângulo irá se encaminhar para a esquerda, em direção ao cavalete, conforme a seta pontilhada sob o arco. No momento 2, verifica-se que a corda já deslizou enquanto a ponta do triângulo passa pelo cavalete, de forma que a corda volta à sua posição reta. No momento 3, observa-se que o canto de Helmholtz continua a percorrer a corda, chegando até o ponto de contato da crina com a corda, onde acaba o movimento de deslizar (*slip*). A partir dessa posição, segundo Helmholtz, a crina gruda na corda novamente, enquanto a quina do triângulo continua a percorrer para a direita em direção à pestana, aonde chega no momento 6, e continua a percorrer nos momentos 7 e 8 até que chega no momento 1 novamente, completando o ciclo.

A esse movimento, denominou-se “movimento de Helmholtz”:

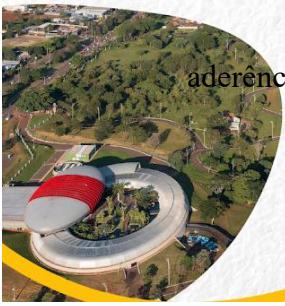
Esta vibração particular de uma corda friccionada por um arco é conhecida como “movimento de Helmholtz” [22,23,74]. Tocar o violino consiste em obter e em manter os “movimentos de Helmholtz” a partir de condições transitórias muito diferentes. É isso que estabelece a essência da expressão musical [31]. (Donoso et. al., 2008, p. 2305-14)

Examinados os aspectos físicos, passemos às implicações que esses conceitos trazem para o violinista na performance.

Da Física à Performance: implicações práticas do movimento de Helmholtz para o violinista

A descrição física do movimento de Helmholtz, embora fundamentada em princípios complexos, deve deixar de ser um conceito abstrato para o instrumentista. Isto porque ela oferece um arcabouço teórico com consequências diretas e tangíveis para a técnica de arco, permitindo uma transição de uma prática puramente empírica para uma abordagem informada e consciente. A proposta desta seção não é que o violinista pense em equações ou gráficos durante a performance, mas que utilize a compreensão dos princípios físicos para diagnosticar problemas, refinar o controle técnico e expandir sua paleta de cores sonoras de forma deliberada. Trata-se de transformar o “saber o que” — a física do movimento — em “saber como” — a aplicação técnica.

Uma das aplicações mais diretas desse conhecimento está no controle do momento de aderência (*stick*) como base para a articulação de um ataque limpo. A sensação de “grudar” o



06 A 10 DE OUTUBRO DE 2025

CAMPÔ GRANDE - MS

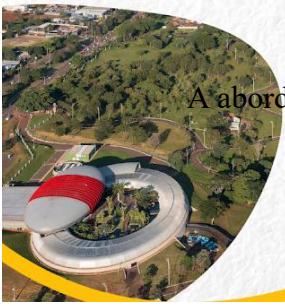
arco na corda antes de iniciar o movimento é a aplicação prática de garantir que o “canto de Helmholtz” se forme desde o primeiro instante. Em vez de um início de nota comum, o músico pode conscientemente “sentir” o engajamento da crina na corda, aplicando uma leve pressão (peso) antes de iniciar o movimento. Esta ação prepara a corda para entrar imediatamente no padrão Helmholtz, evitando o ruído de um ataque “escorregadio” ou “chiado”. Pode-se praticar isso colocando o arco na corda e realizando um pequeno e lento “puxão” inicial, observando como um mínimo de movimento já é capaz de deslocar a corda sem produzir som, o que corresponde à fase inicial de formação do “canto de Helmholtz”.

No repertório de expressões utilizadas pelos violinistas, podemos citar a) o “rugoso/estrangulado/rangente” (“choked/creaky”), b) o “perfeito” e c) o “frouxo/poroso/escorregadio” (“loose/slipping”) (Guettler, 2002, prefácio).

Uma vez estabelecido o ataque, a qualidade do som sustentado depende da regularidade do ciclo *stick-slip*. Um som percebido como “trêmulo” ou “instável” pode ser diagnosticado como um ciclo de Helmholtz irregular, onde a transição para o deslizamento (*slip*) não ocorre de forma consistente. O violinista pode treinar a estabilidade deste ciclo focando em manter a velocidade e o peso do arco constantes ao longo da arcada. Exercícios de notas longas (*son filé*), realizados com extrema atenção à consistência do som, são, na prática, um treinamento para a manutenção de um movimento de Helmholtz estável e ininterrupto, transformando uma prática mecânica em um exercício de escuta e controle físico-acústico.

O violinista também pode utilizar os limites do padrão Helmholtz como uma ferramenta expressiva. A manipulação consciente das três variáveis — peso, velocidade e ponto de contato — permite não apenas manter o padrão, mas também se aproximar de suas fronteiras para criar diferentes cores sonoras. Para um som *sul ponticello* (próximo ao cavalete), mais brilhante e intenso, a física nos diz que a corda é mais rígida. Portanto, a aplicação prática consiste em utilizar mais peso e menos velocidade no arco para manter o padrão Helmholtz e evitar um som “rugoso”. Inversamente, para um som *sul tasto* (próximo ao espelho), mais suave e aveludado, onde a corda é mais flexível, o músico deve usar menos peso e mais velocidade para que o som não se torne “frouxo”. Além disso, a capacidade de produzir intencionalmente um som fora do padrão, como um “rugoso” (com excesso de peso para a velocidade) ou um “sibilante” (com excesso de velocidade para o peso), pode ser utilizada como uma técnica estendida. Compreender como sair do padrão Helmholtz permite ao músico acessar essas texturas sonoras de forma controlada, em vez de acidental.

Ao internalizar esses princípios, o violinista se torna consciente em seu próprio estudo. A abordagem de tentativa e erro é substituída por uma de diagnóstico e solução de problemas,



utilizando o feedback auditivo para confirmar se suas ações estão alinhadas com os princípios físicos da produção sonora ideal. Essa sinergia entre conhecimento teórico e aplicação sensório-motora não apenas otimiza a técnica, mas eleva a performance a um novo patamar de controle e intencionalidade artística.

Conclusão

A compreensão do movimento de Helmholtz é um pilar fundamental para a pedagogia e a performance consciente do violino. Ao analisarmos a literatura, constatamos uma lacuna significativa entre a linguagem técnica da Física e a aplicação prática acessível ao violinista. Propusemos, portanto, uma abordagem intermediária que, sem sacrificar a precisão científica, traduz os complexos fenômenos da corda friccionada em estratégias e percepções aplicáveis.

A análise detalhada do mecanismo *stick-slip* e da propagação do “canto de Helmholtz” revela que o controle sobre as variáveis de arco — velocidade, peso e ponto de contato — não é apenas uma questão de intuição, mas um ato de manipulação deliberada de princípios físicos. A capacidade de produzir um som “limpo” e ressonante, bem como de explorar timbres variados, como o rugoso, áspero, ruidoso, ou ainda frouxo, sibilante, difuso, depende diretamente da habilidade do músico em gerenciar a estabilidade (ou a instabilidade controlada) do movimento de Helmholtz.

Conclui-se que a incorporação ativa desses conhecimentos na formação do violinista, desde as fases iniciais, pode acelerar o desenvolvimento técnico e aprofundar a maturidade artística. Encoraja-se, assim, que pedagogos e performers explorem essa intersecção entre arte e ciência, não apenas para otimizar a produção sonora, mas também para fomentar uma nova geração de músicos que dialoguem com o conhecimento científico, enriquecendo tanto a sua prática quanto a própria pesquisa na área. Este trabalho serve como um ponto de partida, convidando a futuras investigações que explorem a aplicação de outros princípios da acústica na performance e pedagogia de instrumentos de cordas.

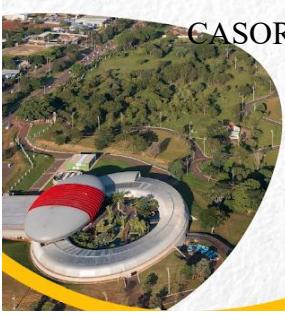
Referências

AUER, Leopold. *Violin playing as I teach it*. New York: Frederick A. Stokes Company, 1921.

AUER, Leopold. *Violin master works and their interpretation*. Mineola: Dover Publications, 2012. Reprodução da obra originalmente publicada em 1925.

BANG, Maia. *Violin method*, Part I. Ed. rev. New York: Carl Fischer, 1919.

CASORTI, August. *The techniques of bowing*, Op. 50. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].



DE BÉRIOT, Charles-Auguste. *Method for the violin*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

DONOSO, José P.; TANNÚS, Alberto; GUIMARÃES, F. E. G.; FREITAS, T. C. A física do violino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2305.1-2305.21, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000200006>. Acesso em: 10 jun. 2025.

DONT, Jakob. *24 preparatory exercises*, Op. 37. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

FLESCH, Carl. *Urstudien* (Basic studies). New York: Carl Fischer, 1911.

FLESCH, Carl. *L'art du violon, 2ème partie*: formation artistique et enseignement. Berlin: Ries & Erler, 2022.

FLESCH, Carl. *Problems of tone production in violin playing*. New York: Carl Fischer, 1934.

GALAMIAN, Ivan. Principles of violin playing and teaching. Mineola: Dover Publications, 2013. Reprodução da obra originalmente publicada em 1962.

GUETTLER, Knut. The bowed string: on the development of Helmholtz motion and on the creation of anomalous low frequencies. Estocolmo, 2002. 28 p. Tese (Doutorado em Acústica Musical). KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 2002. Disponível em: <https://knutsacoustics.com/files/thesis-guettler-020607.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

HELMHOLTZ, Hermann von. *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig: Vieweg, 1863.

HELMHOLTZ, Hermann von. *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. Tradução de A. J. Ellis. London: Longmans, Green, and Co., 1875. Obra original publicada em 1863.

HRIMALY, Josef. *Scales studies*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

KREUTZER, Rodolphe. *42 studies or caprices*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

LAOUREUX, Nicolas. *A practical method for the violin*, Part 1. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

RISI, Jorge. *Libro del maestro, el otro violín*: sistema de enseñanza, aprendizaje del violín. [s.l.: s.n.], 2005.

RODE, Pierre. *24 caprices in the form of studies*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

ROLLAND, Paul. *Basic principles of violin playing*. Washington, D.C.: American String Teachers Association, 1959.



ROLLAND, Paul. *The teaching of action in string playing: Developmental and remedial techniques [for] violin and viola*. Urbana: Illinois String Research Associates, 1974.

SCHRADIECK, Henry. *Complete scales studies*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

ŠEVČÍK, Otakar. *Op. 2, Book 1*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

ŠEVČÍK, Otakar. *School of violin technics*, Op. 1, Book 1. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

SITT, Hans. *Op. 32, 100 studies*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

STRANGE, Allen; STRANGE, Patricia. *The contemporary violin: Extended performance techniques*. Berkeley: University of California Press, 2001.

SUZUKI, Shinichi. *Método Suzuki para violino*, volume 1. Ed. rev. Miami: Summy-Birchard, Inc., 2007.

SUZUKI, Shinichi. *Método Suzuki para violino*, volume 2. Ed. rev. Miami: Summy-Birchard, Inc., 2007.

TARTINI, Giuseppe. *The art of bowing*. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

WOHLFAHRT, Franz. *60 estudos*, Op. 45, Livro 1. [s.l.]: CD Sheet Music, [s.d.].

WOODHOUSE, Jim. On the shoulders of giants: Helmholtz and Raman. In: *Euphonics: The science of musical instruments*. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://euphonics.org/9-1-on-the-shoulders-of-giants-helmholtz-and-raman/>. Acesso em: 12 jun. 2025.