



**MADEIRA RECUPERADA E O
RISCO DE INCLUSÕES FERROSAS:
POR QUE MADEIRA DE
SALVAMENTO, DE CELEIRO E DE
RECUPERAÇÃO INDUSTRIAL É
MAGNETICAMENTE
DESQUALIFICADA COMO
MATERIAL DE SUPORTE DE ÁUDIO**



Madeira recuperada e o risco de inclusões ferrosas: por que madeira de salvamento, de celeiro e de recuperação industrial é magneticamente desqualificada como material de suporte de áudio

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Resumo

Madeira recuperada obtém um sobrepreço de marketing baseado em procedência: carvalho de celeiro com um século de exposição ao tempo, pinho resinoso retirado de um armazém demolido, teca resgatada de um caça-minas desativado ou de uma antiga bancada de laboratório. O romantismo é real, e o argumento da sustentabilidade não é frívolo. Mas um material de suporte é escolhido pelo que faz ao cabo apoiado sobre ele, não por sua biografia, e a madeira recuperada traz um defeito que sua procedência garante ativamente em vez de apenas permitir: metal ferromagnético embutido. Pregos cortados, parafusos, grampos, grampos de cerca, pernos, fragmentos de arame farpado, chumbos de chumbo e aço e cavacos de serra de fita e circular são o mobiliário comum de qualquer madeira que tenha vivido uma vida de trabalho. Isso não é um evento raro de contaminação; é por isso que serrarias operam detectores ferrosos industriais antes da serra principal e que depósitos de madeira recuperada anunciam seu estoque como «detectado para metais».

Relatamos um estudo de triagem de 96 peças recuperadas em quatro classes de procedência -- carvalho de celeiro, pinho e abeto de armazém industrial, teca recuperada de fontes marítimas e laboratoriais e carvalho de barril de vinho -- passadas por um gradiômetro fluxgate e, diante de qualquer resultado positivo, por tomografia computadorizada de raios X para mapear as inclusões. Inclusões ferromagnéticas foram detectadas em 71 das 96 peças (74%), com reprovação de 19 entre 20 peças de carvalho de celeiro. Um único prego de aço embutido é uma inclusão permanente de alta permeabilidade: com μ_r do aço macio na casa das centenas ou poucos milhares, ele constitui uma descontinuidade local de campo situada a milímetros do condutor, e nenhuma limpeza dielétrica da madeira ao redor o compensa. Também caracterizamos o halo de corrosão -- a mancha difusa e paramagnética de tanato de ferro que um objeto ferroso embutido sangra para o carvalho ao longo de décadas, apresentando um volume contaminado ordens de grandeza maior do que o próprio metal -- e mostramos por que até mesmo estoque «detectado para metais» supera apenas um limiar industrial grosseiro, não o grau de áudio submilígrama definido por Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Os Equatorial Elevation Blocks são fresados exclusivamente de material de plantação de primeiro uso e nunca de madeira recuperada; o argumento de sustentabilidade da recuperação é respondido, em vez disso, por plantação equatorial gerida, que abordamos diretamente.

1. INTRODUÇÃO

O estudo complementar nesta revista (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) estabeleceu uma escala de neutralidade em graus N para madeira estrutural, definida pelo conteúdo paramagnético residual e pela suscetibilidade magnética volumétrica que ele produz, e demonstrou que a teca de plantação equatorial atinge 5N tal como fornecida. Aquele estudo classificou madeira limpa de primeiro uso. Mencionou madeira recuperada apenas de passagem -- como uma categoria que falha «rotineiramente» na varredura de inclusões ferrosas -- e prosseguiu. Este artigo é aquela frase incidental expandida em todo o seu detalhe desqualificante, porque a questão da madeira recuperada não é nota de rodapé para os compradores. É o desafio mais comum que recebemos: se a teca equatorial gerida é escassa e cara, e se celeiros e antigos armazéns estão cheios de madeira velha, bela, densa e dimensionalmente estável que de outra forma seria queimada, por que não fresar suportes dela?

A resposta é metalúrgica e não é equilibrada. Madeira recuperada é definida por ter prestado uma vida estrutural anterior, e serviço estrutural significa fixadores. Uma viga de celeiro foi pregada, cravejada, aparafusada e grampeada; uma viga de piso de armazém recebeu pernos passantes e parafusos de cabeça quadrada; uma peça naval foi presa com cavilhas de ferro e tornéis travados com ferro; uma bancada de laboratório sustentou cantoneiras de aço e bordas de pregos cortados por um século. A maior parte desse metal é retirada na recuperação. Parte não é, porque se partiu abaixo da superfície, porque foi cravada em excesso e escareada, porque se corroeu até virar uma massa irreconhecível ou porque nunca foi visível do lado de fora. O recuperador remove o metal que consegue ver. O gradiômetro encontra o que ele não consegue.

Tratamos o fixador embutido não como falha cosmética a ser preenchida e escondida, mas como aquilo que ele é eletromagneticamente: uma inclusão permanente de alta permeabilidade colocada, pela geometria de um suporte de cabo, a poucos milímetros do condutor de sinal. Um material de suporte existe para manter um cabo classificado em um ambiente de campo próximo controlado. Um material de suporte com um prego de aço é uma falha magnética que, por acaso, está sustentando um cabo.

2. O ARGUMENTO DO PREGO ÚNICO

Considere a contaminação menos dramática imaginável: um único prego cortado, quebrado rente e invisível, enterrado em uma peça por outro lado impecável de carvalho recuperado. Vale a pena percorrer esse caso por inteiro, porque, se o caso menos dramático for desqualificante, as estatísticas de levantamento que se seguem serão mera contabilidade.



Madeira limpa e seca fica próxima de uma suscetibilidade magnética volumétrica de $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- fraca e uniformemente diamagnética, condição desejável para um material chamado a ocupar um campo estático sem perturbá-lo. Um prego de aço macio tem permeabilidade relativa μ_r na casa das centenas ou poucos milhares. A razão de permeabilidades através da fronteira madeira-aço, portanto, não é de poucos pontos percentuais; é de três a seis ordens de grandeza. Essa fronteira é uma descontinuidade de campo: linhas de fluxo estáticas e quase estáticas que atravessam suavemente a madeira diamagnética são coletadas, concentradas e reirradiadas pela inclusão, produzindo um gradiente de campo local medido em dezenas-centenas de nT na superfície diretamente acima -- que, em um suporte de cabo, é precisamente onde ficam o berço e o cabo.

A inclusão também é, ao contrário de uma carga paramagnética de metais-traço distribuída uniformemente pela massa, uma fonte pontual com estrutura. Ela retém remanência: um fixador de aço que permaneceu no campo terrestre durante décadas adquire um momento magnético permanente, portanto a inclusão não é apenas uma perturbação passiva de permeabilidade, mas um pequeno ímã permanente com seu próprio eixo dipolar fixo, indiferente ao alinhamento equatorial que o restante da instalação foi construído para atingir. Nenhuma propriedade da madeira ao redor -- nem suscetibilidade 7N, nem constante dielétrica recorde, nem fresagem perfeita com topo do veio na vertical -- compensa um dipolo permanente assentado no caminho de carga. A peça é classificada por seu pior ponto, não por sua média, e seu pior ponto é o prego.

3. LEVANTAMENTO: CLASSES DE PROCEDÊNCIA E TAXAS DE DETECÇÃO

Noventa e seis peças recuperadas foram obtidas em quatro classes de procedência, de 20 a 28 por classe, de depósitos estabelecidos de madeira recuperada na América do Norte e Europa; todas eram vendidas como livres de fixadores e, em três classes, como «detectadas para metais». Cada peça foi passada por um gradiômetro fluxgate de três eixos (Bartington Grad-13, resolução de 1 nT) sobre uma mesa motorizada a 20 mm/s -- o mesmo instrumento e protocolo usados na triagem de teca de produção no estudo complementar. Qualquer peça que retornasse anomalia discreta acima de 5 nT sobre seu fundo diamagnético era marcada e enviada para tomografia computadorizada de raios X (fonte microfoco de 225 kV, voxel de 90 μ m) para localizar e identificar a inclusão.

A taxa agregada de detecção foi de 71 em 96 (74%). Por classe: o carvalho de celeiro falhou em 19 das 20 peças, o pior resultado, com inclusões dominadas por pregos cortados, pregos de arame e grampos de cerca e mediana de três inclusões discretas por peça reprovada. Pinho e abeto de armazém industrial falharam em 22 das 28, com hastes de parafusos de cabeça quadrada, pernos de máquina e -- em quatro peças -- chumbos de chumbo e aço de uma vida anterior que não investigamos. Teca recuperada de fontes marítimas e laboratoriais falhou em 21 das 25: madeira naval continha fragmentos de cavilhas de ferro e tocos de pinos de leme, e teca de bancada de laboratório continha parafusos de madeira escareados em aço e, em dois casos, latão que o gradiômetro aprovou, mas que é desqualificado por outros motivos. Carvalho de barril de vinho foi o melhor dos quatro e ainda falhou em 9 das 23, principalmente por fragmentos de rebites dos aros e arame de grampo dos aros desmontados.

Duas conclusões dos mapas de CT merecem ênfase. Primeiro, a maioria das inclusões detectadas estava sob a superfície e era invisível na face acabada -- exatamente a população que sobrevive à remoção visual dos fixadores. Segundo, várias peças que um detector manual para recuperação teria aprovado mostraram múltiplas pequenas inclusões (trilhas de cavacos de uma antiga serragem na serra de fita, coroas de grampos), cada uma individualmente abaixo do limiar de um detector grosseiro, mas coletivamente uma carga ferrosa distribuída. O detector industrial responde «há um prego grande o bastante para arruinar minha lâmina?»; não responde «esta peça está magneticamente limpa?», e nunca foi construído para isso.

4. O HALO DE CORROSÃO

Um objeto ferroso embutido em madeira não é uma inclusão estável e autônoma. Ele corrói, exporta seus produtos de corrosão para o tecido ao redor e, no carvalho, faz isso por uma química termodinamicamente ávida e secular.

O cerne do carvalho é rico em taninos hidrolisáveis. O ferro em contato com carvalho úmido oxida, e os íons ferrosos e férricos resultantes migram ao longo do gradiente de umidade para a madeira e formam complexos com esses taninos, produzindo tanato de ferro -- o composto azul-negro da tinta ferrogálica e a mesma reação que mancha de preto o carvalho em torno de qualquer fixador de aço deixado nele. Ao longo de décadas em um celeiro ou adega, um prego embutido, portanto, não continua sendo um problema do tamanho de um prego. Ele sangra um halo difuso de tanato de ferro para um volume de madeira que CT e ICP-MS mostram ser uma-duas ordens de grandeza maior do que o próprio objeto. O núcleo metálico é ferromagnético; o halo ao redor é paramagnético; e o halo, por ser grande, irregular e interpenetrar a superfície voltada ao cabo, é em alguns aspectos o pior contaminante, porque não pode ser puxado com alicate e não se anuncia de forma alguma a um detector de metais.

Seccionamos quatro peças de carvalho de celeiro ao redor de inclusões conhecidas e mapeamos Fe por ICP-MS em um transecto radial. A concentração de ferro caiu de níveis percentuais na fronteira do metal para um platô paramagnético de 60-240 ppm em um halo que se estendia 15-40 mm a partir do objeto -- uma mancha muito acima do teto 4N de 100 ppm em um volume grande o bastante para engolir um berço de cabo inteiro. Esse é o mecanismo pelo qual um único fixador histórico contamina não um ponto, mas uma região, e é específico precisamente das madeiras nobres ativas em taninos (sobretudo o carvalho) mais valorizadas pelo marketing de madeira recuperada. A procedência que torna romântico o carvalho de celeiro -- um século de serviço estrutural



úmido ao lado de ferro -- é a mesma história que garante o halo.

5. POR QUE «DETECTADO PARA METAIS» NÃO É UM GRAU

Depósitos de madeira recuperada que anunciam estoque «detectado para metais» descrevem honestamente um processo real, e vale esclarecer o que esse processo entrega e não entrega, porque a expressão é rotineiramente lida como um atestado de limpeza que não é.

A detecção industrial de metais em madeira existe para proteger maquinário. Um detector ferroso em uma linha de resserragem é ajustado para disparar diante de um objeto grande o bastante para lascas de metal duro ou estilhaçar uma lâmina de serra de fita -- um prego, parafuso ou perno. Seu limiar é propositalmente alto: uma linha que parasse diante de todo traço submilígrama de ferro nunca cortaria uma tábua. É um intertravamento de segurança de produção, calibrado na moeda dos danos às ferramentas, e aprova por projeto exatamente a população que desqualifica uma peça para uso em áudio: cavacos submilimétricos, fragmentos de arame de grampo, chumbos e, acima de tudo, o halo paramagnético dissolvido, que não contém objeto discreto para um detector encontrar. Uma peça pode passar limpa por um detector industrial e ainda carregar uma mancha de ferro de 200 ppm através da face voltada ao cabo.

O grau de neutralidade de áudio é uma medição diferente que responde a uma pergunta diferente. Ele é estabelecido não pelo risco às ferramentas, mas pelos limites Fe + Mn de 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) e 1 ppm (6N) de Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), verificados por gradiometria fluxgate para inclusões discretas e por VSM mais ICP-MS para suscetibilidade em massa e do halo. Os dois limiares diferem em ordens de grandeza. «Detectado para metais» significa «nenhum objeto grande o bastante para quebrar uma serra». «Neutro 5N» significa «Fe + Mn igual ou inferior a 10 ppm, em toda parte, discreto e dissolvido». Um recuperador pode fornecer o primeiro de boa-fé e não pode fornecer o segundo, porque este exige magnetometria e ensaio de metais-traço em cada peça, que nenhum depósito de recuperação executa e que a maioria das peças recuperadas reprovaria independentemente do cuidado, apenas pela força de sua história.

6. A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE, RESPONDIDA DE OUTRA FORMA

O argumento mais forte a favor da madeira recuperada não é acústico; é ambiental. Reutilizar madeira centenária evita uma nova colheita, mantém material íntegro longe da pilha de queima e honra o trabalho incorporado do crescimento original. Levamos esse argumento a sério e o respondemos não o contestando, mas oferecendo um suprimento que não traz nem o risco ferroso nem o custo ambiental.

Os Equatorial Elevation Blocks são fresados de teca de plantação gerida, cultivada a menos de 5 deg do equador geomagnético em plantações arrendadas e certificadas, sob regime de replantio após a colheita. A comparação relevante de sustentabilidade não é madeira recuperada contra exploração de floresta primária -- essa é uma falsa escolha --, mas madeira recuperada contra uma plantação gerida cujas árvores são plantadas especificamente para serem cortadas, sequestram carbono enquanto estão em pé e são substituídas em rotação fixa. A plantação equatorial gerida oferece o benefício ambiental pelo qual a recuperação é valorizada (nenhuma pressão sobre floresta primária, ciclo renovável) e também aquilo que a recuperação estruturalmente não pode oferecer: histórico virgem de fixadores. Madeira de plantação de primeiro uso nunca sustentou um prego, nunca sangrou um halo de tanato de ferro e nunca passou por uma resserragem que a semeou com cavacos. Chega com uma lousa magnética limpa, a única condição inicial a partir da qual um grau 5N é sequer atingível.

Por fim, não há caminho pelo qual uma peça recuperada seja remediada até o grau. As inclusões discretas às vezes podem ser escavadas, mas a escavação deixa um vazio e não alcança o halo dissolvido; o halo só pode ser removido cortando-se o volume manchado, que em uma viga de celeiro muito marcada constitui a maior parte da madeira utilizável. Economia e física apontam para o mesmo lado. É mais barato, mais limpo e metrologicamente correto começar com madeira que cresceu limpa do que perseguir o ferro em madeira que cresceu e depois viveu suja.

7. CONCLUSÃO

Madeira recuperada, de salvamento, de celeiro e de recuperação industrial é desqualificada como material de suporte de áudio não por preferência estética nem por qualquer fraqueza da madeira, mas por seu histórico de fixadores. Serviço estrutural significa ferro embutido; ferro embutido significa inclusão permanente de alta permeabilidade no caminho de carga do cabo; e, em madeiras nobres ativas em taninos, significa um halo difuso de corrosão paramagnética uma ordem de grandeza maior do que o metal que o produziu. Nossa triagem encontrou inclusões ferromagnéticas em 74% das peças recuperadas de quatro classes de procedência, com o carvalho de celeiro -- a classe mais romantizada -- reprovando em 19 de 20. O argumento do prego único mostra que até uma dessas inclusões basta para desqualificar, de modo que a taxa do levantamento subestima o problema em vez de exagerá-lo.

A garantia «detectado para metais» oferecida pelo marketing da madeira recuperada é um limiar de proteção de máquinas configurado em ordens de grandeza mais grosseiras do que o grau de neutralidade de áudio, e aprova por projeto precisamente a contaminação submilígrama e dissolvida que o grau de Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) existe para detectar. É uma medição real e útil que responde a uma pergunta que não é a pergunta do áudio. Por esse motivo, os Equatorial Elevation Blocks são



fresados exclusivamente de material de plantação de primeiro uso e nunca de madeira recuperada de qualquer procedência. O argumento ambiental da recuperação é genuíno e é respondido por completo pela plantação equatorial gerida, cultivada para ser colhida e substituída -- madeira que traz o benefício da sustentabilidade sem o ferro e que começa, como toda peça classificada deve, com uma lousa magnética limpa.

REFERÊNCIAS

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Classificação da neutralidade magnética da madeira estrutural: uma classificação de pureza em graus N para materiais de suporte de áudio. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Corrosão de ferro arqueológico escavado, com detalhes sobre exsudação e akaganeíta. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Distribuição e especiação de ferro e enxofre em relação aos processos de degradação na madeira. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Oxidação de carboidratos da madeira catalisada por ferro. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Orientação de boas práticas para detecção de metais ferrosos e não ferrosos em madeira estrutural recuperada. RWC Technical Bulletin TB-07, Londres.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Gradiometria fluxgate e tomografia computadorizada para triagem de inclusões ferromagnéticas em peças de madeira. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.