XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Construção e análise geométrica de um icosidodecaedro por retificação de um icosaedro: uma fonte sonora omnidirecional

Construcción y análisis geométrico de un icosidodecaedro mediante la rectificación de un icosaedro: una fuente de sonido omnidireccional

Construction and geometric analysis of an icosidodecahedron through rectification of an icosahedron: an omnidirectional sound source

Acústica arquitetônica e urbana / *Acústica arquitectónica y urbana / Architectural and urban acoustics*

Fonseca, William D'Andrea; Bogaz, Lucas; Mello, Felipe Ramos; Silveira, Ricardo; Brandão, Eric; Mareze, Paulo Henrique
Engenharia Acústica e Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil, will.fonseca@eac.ufsm.br

Resumo

O presente estudo propõe a construção e análise geométrica de um icosidodecaedro a partir da retificação de um icosaedro, com o objetivo de desenvolver uma fonte sonora omnidirecional para aplicações em acústica. A metodologia emprega um modelo computacional implementado no Matlab, que permite a geração do sólido, o cálculo de seus parâmetros geométricos e a visualização tridimensional. Os principais resultados incluem a obtenção de um modelo escalável, adequado para diferentes especificações, e a determinação de grandezas como área, diâmetro e raio do incírculo das faces pentagonais. A contribuição do estudo reside na integração entre modelagem geométrica e acústica aplicada, viabilizando a construção de uma fonte sonora (real ou virtual) que pode ser empregada tanto em medições experimentais quanto em simulações numéricas. Como resultado tem-se a ferramenta, isto é, o próprio código computacional gerador do icosidodecaedro.

Palavras-chave: Icosidodecaedro. Acústica. Código computacional. Matlab. Fonte sonora omnidirecional.

Resumen

El presente estudio propone la construcción y el análisis geométrico de un icosidodecaedro a partir de la rectificación de un icosaedro, con el objetivo de desarrollar una fuente sonora omnidireccional para aplicaciones en acústica. La metodología emplea un modelo computacional implementado en Matlab, que permite la generación del sólido, el cálculo de sus parámetros geométricos y la visualización tridimensional. Los principales resultados incluyen la obtención de un modelo escalable, adecuado para diferentes especificaciones, y la determinación de magnitudes como el área, el diámetro y el radio del círculo inscrito en las caras pentagonales. La contribución del estudio radica en la integración entre modelado geométrico y acústica aplicada, viabilizando la construcción de una fuente sonora que puede emplearse tanto en mediciones experimentales como en simulaciones numéricas. El resultado es la herramienta, es decir, el código informático que genera el icosidodecaedro.

Palabras clave: Icosidodecaedro. Acústica. Código informático. Matlab. Fuente sonora omnidireccional.

Abstract

This study proposes the construction and geometric analysis of an icosidodecahedron through the rectification of an icosahedron, aiming to develop an omnidirectional sound source for acoustic applications. The methodology employs a computational model implemented in Matlab, enabling the generation of the solid, the calculation of its geometric parameters, and three-dimensional visualization. The main results include the development of a scalable model suitable for different specifications and the determination of quantities such as area, diameter, and the inradius of the pentagonal faces. The study's contribution lies in the integration of geometric modeling and applied acoustics, facilitating the construction of a sound source that can be used in both experimental measurements and numerical simulations. The result is the tool, i.e., the computer code that generates the icosidodecahedron.

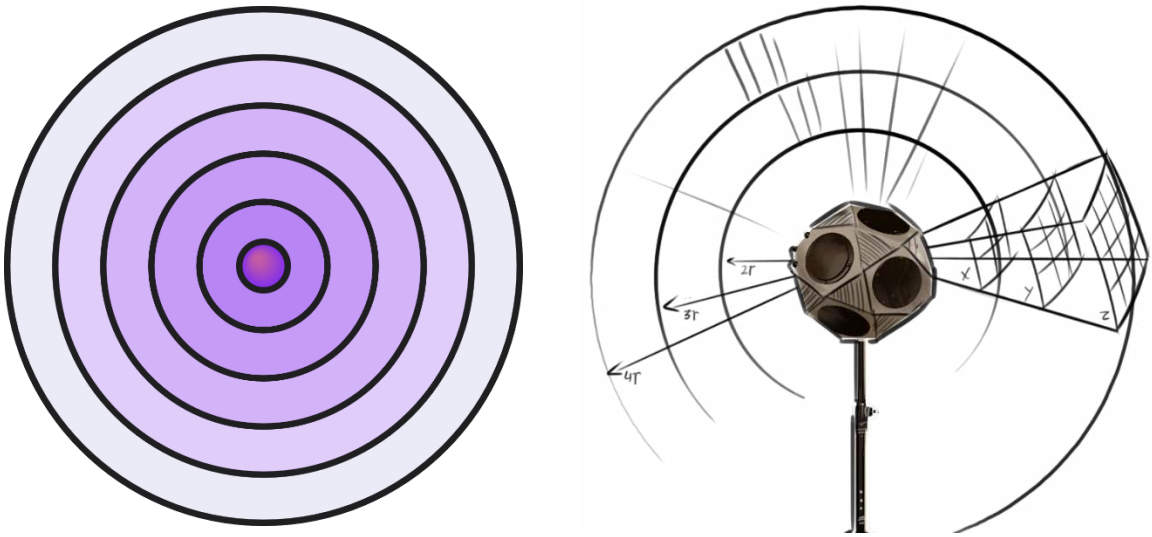
Keywords: Icosidodecahedron. Acoustics. Computer code. Matlab. Omnidirectional sound source.

1. Introdução

Fontes sonoras omnidirecionais são fundamentais para a obtenção de resultados confiáveis em diversos experimentos e simulações em acústica. Tais fontes são projetadas para irradiar som uniformemente em todas as direções, garantindo uma distribuição esférica da energia sonora, veja a Figura 1 (a). Essa característica é essencial para avaliações acústicas que demandam uniformidade na propagação do som, como na medição de isolamento acústico aéreo e na determinação do tempo de reverberação de ambientes (sendo este simulado ou experimental).

Poliedros regulares, como o dodecaedro e o icosidodecaedro (veja as Figuras 1 e 2), têm sido largamente empregados na construção de fontes sonoras que se pretendem omnidirecionais. No caso específico do dodecaedro, suas 12 faces pentagonais, cada qual equipada com um alto-falante, conferem à estrutura uma emissão sonora aproximadamente uniforme em todas as direções, tornando-a uma fonte *quasi-omnidirecional*. Essa configuração geométrica favorece a distribuição do som, embora a efetividade ainda dependa de fatores como as características dos transdutores e o diâmetro global do conjunto, além de estar sujeita aos requisitos de espectro e direcionalidade prescritos por normas técnicas, a exemplo das séries ISO 10140 (2021) e ABNT NBR 15.575 (2013).

Figura 1: Fontes sonoras (esboço): (a) monopolo idealizado; e (b) fonte sonora real.



(a) Esboço de monopolo acústico. (b) Esboço de fonte real.

Fonte: (a) Fonseca (2025); (b) Bortolini (2016).

Apesar do potencial de irradiação espacial equilibrada buscado por esses modelos poliedrais, a realização de uma fonte perfeitamente omnidirecional (monopolo acústico) ainda se constitui em um ideal pouco factível, veja as Figuras 1 e 2. Questões construtivas, a direcionalidade inerente dos alto-falantes, variações entre diferentes transdutores e as interferências provocadas pelas múltiplas faces contribuem para desvios em relação ao comportamento ideal. Estudos que analisam a direcionalidade de fontes dodecaédricas, tais como os relatados por Hak *et al.* (2011); Wenmaekers e Hak (2015); e Quested *et al.* (2014) atestam a presença dessas limitações e demonstram que, embora tais configurações geométricas sejam eficientes e práticas, não prescindem de ajustes específicos para cada aplicação.

1.1 Icosidodecaedro

Os sólidos de Arquimedes, reconhecidos por sua elevada simetria e por suas qualidades estéticas e matemáticas, despertam amplo interesse em diversas áreas de pesquisa (Berman, 1971). Entre esses poliedros semirregulares, o icosidodecaedro se destaca por apresentar 32 faces, sendo 12 pentagonais e 20 triangulares, além de 30 vértices e 60 arestas (Baez, 2025). Sua origem está relacionada à retificação de um icosaedro — poliedro convexo formado por 20 faces triangulares equiláteras, 30 arestas e 12 vértices, frequentemente visto em dados de jogos. Isso demonstra a forte interação entre poliedros regulares e semirregulares e as múltiplas possibilidades de variação geométrica que deles decorrem.

Embora o dodecaedro seja, em geral e historicamente, mais empregado na construção de fontes sonoras omnidirecionais, o icosidodecaedro também se mostra adequado a esse propósito (HBK, 2025). Devido à sua forma, mais próxima de uma esfera quando comparada ao dodecaedro, esse poliedro pode propiciar uma radiação sonora aprimorada, fator relevante em experimentos e simulações (por exemplo, nas medições de acústica de salas ou na caracterização de materiais). Ou seja, um potencial benefício para pesquisas voltadas à propagação de ondas nos ambientes.

Neste artigo, descreve-se um método computacional em Matlab, elaborado para gerar o icosidodecaedro a partir da definição de um icosaedro canônico. O procedimento permite, além da geração do poliedro em si, o cálculo de parâmetros geométricos importantes como: comprimento de arestas pentagonais, áreas de pentágonos e triângulos regulares, diâmetro aproximado (definido como a maior distância entre quaisquer dois vértices) e o raio do incírculo em um pentágono (característica relevante para acomodar um alto-falante na face). Assim, a abordagem não apenas esclarece as relações entre poliedros regulares e

semirregulares, mas também contribui para aplicações práticas em acústica, em que a forma e a simetria do poliedro exercem impacto direto na uniformidade de radiação sonora.

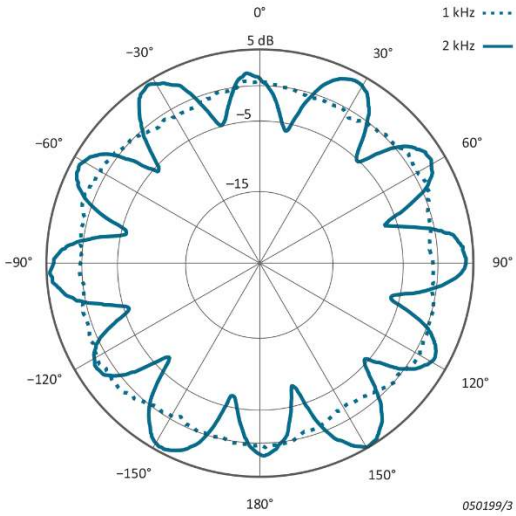
Figura 2: Fontes sonoras reais: (a) icosidodecaedro HBK Type 4292-L; (b) dodecaedro B&K Type 4296; e (c) direcionalidades da fonte sonora HBK Type 4292-L.

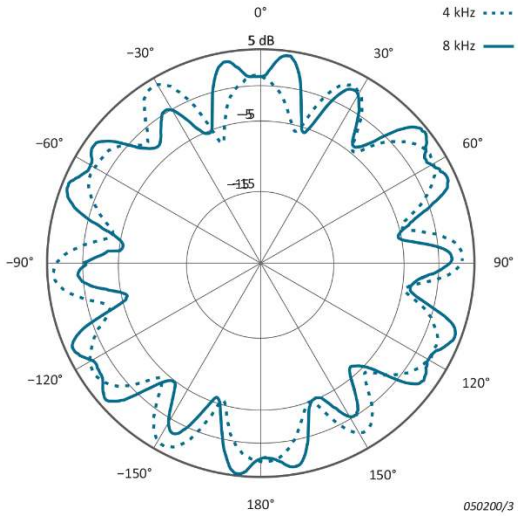


(a) HBK Type 4292-L.



(b) B&K Type 4296.





(c) Direcionalidade do icosidodecaedro HBK Type 4292-L (Figura 2 (a)).

Fonte: HBK (2025).

2. Fundamentos

Nesta seção são apresentados os conceitos matemáticos e as etapas para projetar um icosidodecaedro por retificação de um icosaedro. Além disso, outros parâmetros relevantes são também apresentados.

2.1 Definição do icosaedro

Inicialmente, define-se o icosaedro canônico com 12 vértices (e 20 faces), cujas coordenadas são expressas em função do número áureo, ϕ, dado por

$$\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}.$$

Os vértices V_{icos} são dispostos da seguinte forma:

$$V_{\text{icos}}^{T} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \phi & \phi & -\phi & -\phi \\ \phi & \phi & -\phi & -\phi & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \phi & \phi & -\phi & -\phi & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

em que $\{\cdot\}^{T}$ significa a transposição da matriz. As vinte (20) faces triangulares são definidas por conjuntos de índices que referenciam esses vértices, estabelecendo a estrutura topológica do icosaedro — também chamado de "D20" em jogos de tabuleiro —, veja a Figura 3 (b).

2.2 Construção das faces do icosidodecaedro

O icosidodecaedro possui duas famílias de faces:

- **Faces triangulares:** cada face do icosaedro gera, pela conexão dos três pontos médios das suas arestas, uma face triangular do icosidodecaedro (sendo 20 faces no total).
- **Faces pentagonais:** cada vértice do icosaedro, onde incidem cinco (5) arestas, gera um pentágono. Para tal, os pontos médios das arestas incidentes são ordenados circularmente. A ordenação é realizada calculando-se os ângulos dos vetores que ligam o centro dos pontos incidentes a cada ponto, com referência a um vetor base definido a partir do próprio vértice (sendo 12 faces no total).

2.2.1 Cálculo dos pontos médios das arestas

Cada face triangular possui três arestas, e a retificação consiste na obtenção dos pontos médios dessas arestas. Assim, sejam V_i e V_j dois vértices que definem uma aresta, o ponto

médio é calculado por $M_{ij} = (V_i + V_j)/2$. Com a devida ordenação dos índices para evitar duplicidades, os 30 pontos médios obtidos correspondem aos vértices do icosidodecaedro.

2.3 Reescalonamento do sólido

Para ajustar o tamanho do sólido conforme um critério definido pelo projetista, procede-se ao reescalonamento dos vértices. São consideradas duas modalidades neste desenvolvimento, a saber:

- **Modo "edge" (aresta):** o valor fornecido define o comprimento desejado da aresta. Utiliza-se, por exemplo, a distância L_{atual} entre dois vértices adjacentes (obtida a partir de uma face triangular) e define-se o fator de escala como

$$\text{escala} = \frac{\text{valor desejado}}{L_{\text{atual}}} \ .$$

- **Modo "diameter" (diâmetro):** o valor fornecido determina o diâmetro aproximado do sólido, isto é, a maior distância entre quaisquer dois vértices. Logo, seja D_{atual} essa distância máxima, então

$$\text{escala} = \frac{\text{valor desejado}}{D_{\text{atual}}} \ .$$

Após o cálculo, os vértices do icosaedro e, consequentemente, os pontos médios são multiplicados pelo fator de escala.

2.4 Cálculos geométricos informativos

Após a construção e plotagem do sólido, procedem-se os seguintes cálculos informativos que têm o propósito de auxiliar o projetista, a saber:

- **Comprimento da aresta:** obtém-se a distância entre dois vértices adjacentes (por exemplo, de uma face triangular), denotada por s.

- **Área de um pentágono regular:** a área A_{pent} de um pentágono regular com lado s é dada por $A_{\text{pent}} = (1/4)\sqrt{5(5 + 2\sqrt{5})}\ s^2$.

- **Cálculo da área do triângulo:** utiliza-se a fórmula padrão para a área de um triângulo equilátero de aresta s, isto é, $A_{\triangle} = \left(\sqrt{3}/4\right) s^2$.

- **Cálculo da área total do icosidodecaedro:** considerando que o sólido possui 20 faces triangulares e 12 faces pentagonais, a área total é dada por $A_{\text{total}} = 20\,A_{\triangle} + 12\,A_{\text{pent}}$.

- **Diâmetro aproximado do sólido:** calcula-se a maior distância entre quaisquer dois vértices do icosidodecaedro.

- **Raio do incírculo de um pentágono regular:** o raio r_{in} do círculo inscrito em um pentágono regular (de aresta s) é obtido através da expressão $r_{\text{in}} = s/(2\tan(\pi/5))$.

3. Desenvolvimento, metodologia e implementação computacional

Foram criados três códigos funcionais, sendo duas funções e um terceiro código dedicado à exportação do sólido criado. Os algoritmos foram implementados em Matlab (R2024a), permitindo que o projetista escolha o critério de reescalonamento (por comprimento de aresta ou diâmetro) e visualize o sólido em 3D, veja a Figura 3. Ao final da execução das funções, os valores calculados são exibidos no *Command Window* (do Matlab) — proporcionando uma análise ampliada das propriedades geométricas do volume criado, veja o Código 1. Ademais, os códigos em si foram estruturados em células, podendo ser executados de forma passo a passo, permitindo também o uso em situações didáticas — veja o início da função no Código 2.

Código 1: *Command Window* (do Matlab) com a execução da função e exibição de dados informativos.

```
>> plot_icosidodecaedro(0.035, 'edge', 0.02);

Resultados:
Comprimento da aresta (dos pentágonos): 0.0350
Área de um pentágono: 0.0021
Área de um triângulo: 0.0005
Área total do icosidodecaedro: 0.0359
Diâmetro aproximado do sólido: 0.1133
Raio do círculo inscrito no pentágono: 0.0241
```

A função completa que gera o icosidodecaedro é chamada de

- `plot_icosidodecaedro(value, mode, circleRadius)`

e está disponível para *download*, sem custo, no repositório do GitHub (https://github.com/willdfonseca/icosidodecahedron). A função opera com três argumentos, sendo o primeiro obrigatório e mínimo — é assumido `mode` como `edge` e `circleRadius` como vazio se não informados. Se o argumento `circleRadius` receber um valor, são plotadas circunferências nas faces pentagonais, o que facilita o projeto com alto-falantes (nas faces pentagonais).

Código 2: Cabeçalho da função `plot_icosidodecaedro` explicando o seu uso básico.

```
function [V, F] = plot_icosidodecaedro(value, mode, circleRadius)
% plot_icosidodecaedro(value, mode, circleRadius)
%
% Plota o icosidodecaedro (sólido de Arquimedes com 20 faces triangulares e 12 pentagonais)
% de acordo com um parâmetro geométrico e, ao final, exibe:
%   - o comprimento da aresta (dos pentágonos, que é igual ao das outras faces),
%   - a área de um pentágono regular com essa aresta,
%   - o diâmetro aproximado (distância máxima entre quaisquer dois vértices),
%   - o raio do incírculo (maior círculo inscrito) em um pentágono,
%   - a área de um triângulo equilátero (face triangular) e
%   - a área total do icosidodecaedro.
%
% Parâmetros:
%   value : valor numérico que define o tamanho do sólido.
%           No modo 'edge', value é o comprimento da aresta.
%           No modo 'diameter', value é o diâmetro aproximado.
%
%   mode  : string que pode ser 'edge' (padrão) ou 'diameter'.
%
%   circleRadius (opcional): se fornecido (e não vazio), em cada face pentagonal
%           será plotado um círculo de raio especificado, em cor cinza.
%
% Exemplos:
%   plot_icosidodecaedro(1);                  % assume aresta = 1 (modo 'edge')
%   plot_icosidodecaedro(2, 'diameter');      % diâmetro aproximado = 2
%   plot_icosidodecaedro(1, 'edge', 0.05);    % plota também círculos de raio 0.05
%
% Autor: Prof. William D'Andrea Fonseca
% Data: 15/02/2025
```

Para facilitar ainda mais o aprendizado com sólidos, uma segunda função

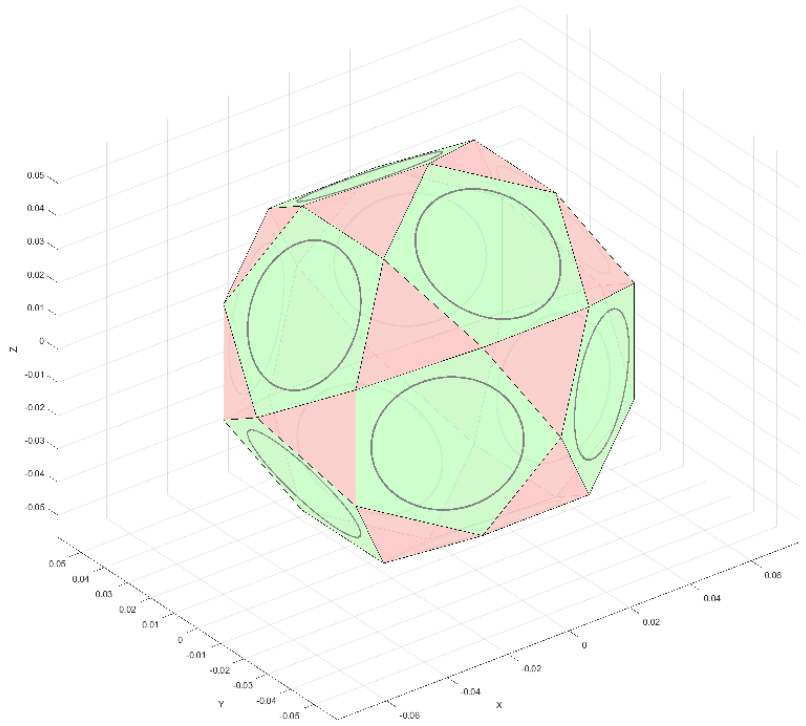
- `plot_polyhedron(value, mode, solid, circleRadius)`

está também disponibilizada, sendo possível projetar icosaedros e dodecaedros. Na Figura 3, é possível observar vistas de todos os sólidos gerados: icosidodecaedro, icosaedro e dodecaedro.

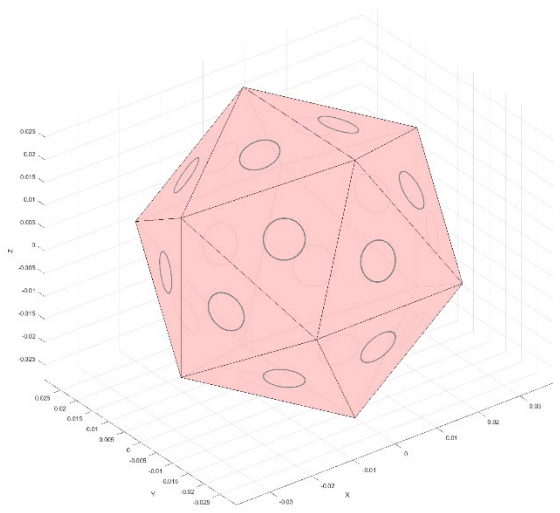
4. Aplicações e resultados

A modelagem computacional do icosidodecaedro, conforme delineada neste estudo, apresenta múltiplas aplicações em áreas interdisciplinares. Em primeiro lugar, o modelo gerado pode ser exportado para ambientes de impressão 3D, possibilitando a produção física de réplicas precisas deste sólido, que servem tanto para fins educacionais quanto para a validação experimental de construções geométricas complexas, além, claro, da construção de uma fonte sonora munida de 12 faces irradiadoras de som. A abordagem utilizada é particularmente relevante na verificação da precisão dimensional e na inspeção de propriedades do icosidodecaedro.

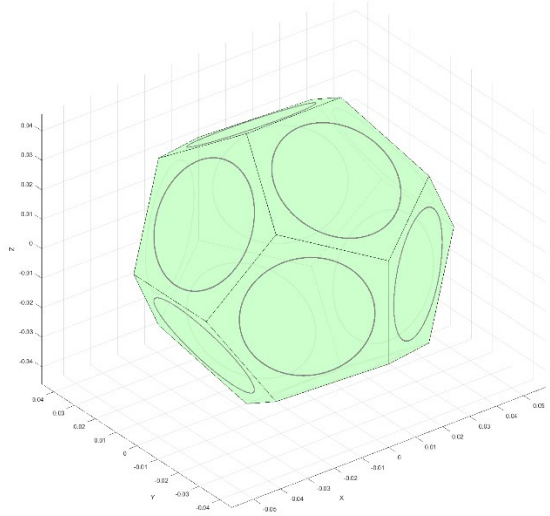
Figura 3: (a) Icosidodecaedro gerado com a função `plot_icosidodecaedro`; (b) icosaedro; e (c) dodecaedro — (b) e (c) com `plot_polyhedron`.



(a) Icosidodecaedro com 0,035 m de aresta (circunferência de raio inscrito de 0,02 m).



(b) Icosaedro.



(c) Dodecaedro.

Fonte: Autor.

Adicionalmente, o sólido pode ser empregado na elaboração de maquetes tridimensionais — tanto virtuais quanto físicas — com vistas à realização de medições acústicas em arquitetura. Tais modelos, em escala ou em tamanho real, viabilizam a análise do comportamento sonoro em ambientes de geometria complexa, contribuindo para o aperfeiçoamento de métodos numéricos voltados à simulação de salas em condições análogas às reais.

A modelagem geométrica não apenas pode favorecer o planejamento, mas também se constitui via fundamental para a construção de instrumentação, exemplificada pela concepção de um icosidodecaedro com 12 alto-falantes instalados em suas faces pentagonais, configurando, assim, uma fonte omnidirecional. Ademais, essa abordagem possibilita estudos de parâmetros eletroacústicos do sistema, além do processamento digital de sinais, uma vez que cada alto-falante pode operar a partir de um sinal comum ou individualizado.

O uso de métodos numéricos em acústica tem se mostrado promissor na simulação de ambientes com características acústicas específicas. Essa simulação numérica de acústica permite a previsão de fenômenos sonoros e a otimização de projetos arquitetônicos, consolidando o papel do sólido como ferramenta auxiliar no planejamento e na implementação de soluções para problemas de engenharia acústica. Em síntese, a integração entre modelagem geométrica, métodos numéricos e experimentação prática evidencia a versatilidade do icosidodecaedro como elemento importante no avanço das técnicas de simulação, medição e análise em acústica.

Por fim, para exportar o sólido criado para um arquivo .STL basta usar o Código 3. Um arquivo desse tipo STereoLithography (STL) é um formato amplamente utilizado para representar objetos tridimensionais em *software* de modelagem e impressão 3D. Ele descreve a geometria da superfície de um sólido por meio de uma malha de triângulos.

Código 3: Código para gerar um icosidodecaedro e exportar para arquivo 3D tipo STL.

```
%% Gera a malha do icosidodecaedro e exporta para STL
[V, F] = plot_icosidodecaedro(1, 'edge', []);  % Exemplo sem círculos
% Inicia a lista de faces trianguladas com as faces já trianguladas
facesTriAll = F.tri;
% Triangula as faces pentagonais (fan triangulation)
for i = 1:length(F.pent)
    poly = F.pent{i};
    if ~isempty(poly) && numel(poly) >= 3
        % Fan triangulation: fixa o primeiro vértice e cria triângulos
        for j = 2:(length(poly)-1)
            facesTriAll(end+1,:) = [poly(1), poly(j), poly(j+1)];
        end
    end
end
TR = triangulation(facesTriAll, V);     % Cria o objeto triangulation
stlwrite(TR, 'icosidodecaedro_1.stl');  % Salva em STL
```

4.1 Exemplo prático

Considere-se um projetista que deseja construir uma fonte sonora destinada à medição de maquetes em escala ou espaços reduzidos — técnica usada para estudo da difração sonora. Logo, o aparato escolhido tem um radiador pequeno, um alto-falante de 40 mm de diâmetro. Ao executar a função `plot_icosidodecaedro(0.035, 'edge', 0.02)`, ele receberá as informações do Código 1 e Figura 3 (a), permitindo verificar que seu alto-falante cabe em uma face do pentágono. Por fim, pode-se exportar um arquivo STL (Código 3), e o arquivo pode então ser ajustado em outros *software* como o SolidWorks ou Blender, veja a Figura 4 (a). Neste projeto houve o condicionamento do desenho 3D para a acomodação do alto-falante, bem como o icosidodecaedro foi seccionado em duas metades para proporcionar a instalação elétrica, veja as Figuras 4 (b) e (c).

Figura 4: Icosidodecaedro gerado: (a) função no Matlab + finalização no SolidWorks; (b) impressão 3D; e (c) colocação de radiadores e finalização elétrica.



(a) Projeto Matlab + SolidWorks. (b) Impressão 3D. (a) Colocação de radiadores e finalização elétrica.

Fonte: Autor.

5. Conclusões

O método descrito neste trabalho permite a construção do icosidodecaedro por meio da retificação de um icosaedro canônico, demonstrando que, a partir de operações geométricas elementares, é possível reconstruir um sólido complexo e obter suas propriedades geométricas de interesse. A reescalagem do sólido, conforme os modos “edge” ou “diameter”, confere flexibilidade para que o modelo atenda a diversas especificações de projeto. Adicionalmente, os cálculos da área do pentágono, do diâmetro aproximado e do raio do

incírculo fornecem informações essenciais para a análise detalhada do sólido e projeto de uma fonte sonora omnidirecional.

Esta abordagem integra teoria geométrica com técnicas de computação gráfica, oferecendo uma ferramenta computacional eficaz para a exploração de sólidos de Arquimedes. O procedimento contribui para a compreensão dos vínculos entre diferentes poliedros e abre possibilidades para aplicações em modelagem tridimensional, *design*, educação matemática, arquitetura, engenharia e acústica em geral.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Desempenho de edificações habitacionais. ABNT NBR 15575**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Seis (6) partes. (Norma).

BAEZ, John C. The icosidodecahedron. *arXiv preprint*, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2309.15774. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2309.15774. Acesso em: 17 fev. 2025.

BERMAN, Martin. Regular-faced convex polyhedra. ***Journal of the Franklin Institute***, v. 291, n. 5, p. 329-336, maio 1971. DOI: 10.1016/0016-0032(71)90071-8.

BORTOLINI, Ângelo. [Ilustração]. In: BRANDÃO, Eric. *Acústica de salas: projeto e modelagem*. São Paulo: Blucher, 2016. Capa.

FONSECA, William D'Andrea. Material da disciplina DAU870 – Acústica Básica [notas de aula]. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo – UFSM, Santa Maria, 2025.

HAK, Constant C. J. M.; WENMAEKERS, Remy H. C.; HAK, Jan P. M.; LUXEMBURG, Renz C. J. van. The source directivity of a dodecahedron sound source determined by stepwise rotation. In: ***FORUM ACUSTICUM 2011***, Aalborg, Denmark. Anais [...]. European Acoustics Association, 2011.

HBK - Hottinger Brüel & Kjær. OmniPower Sound Source Type 4292-L: sound source for room and building acoustics. *Product Data BP 2667-12*, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: https://www.hbkworld.com. Acesso em: 17 fev. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements**. **ISO 10140:2021**. Geneva: ISO, 2021. Cinco (5) partes. (Norma).

QUESTED, Christopher; MOORHOUSE, Andy; PIPER, Ben; HU, Bin. An analytical model for a dodecahedron loudspeaker applied to the design of omni-directional loudspeaker arrays. ***Applied Acoustics***, v. 85, p. 161-171, 2014. DOI: 10.1016/j.apacoust.2014.03.023. ISSN 0003-682X.

WENMAEKERS, R. H. C.; HAK, C. C. J. M. The sound power as a reference for sound strength (G), speech level (L) and support (ST): uncertainty of laboratory and in-situ calibration. ***Acta Acustica United with Acustica***, v. 101, p. 892-907, 2015. DOI: 10.3813/AAA.918884.