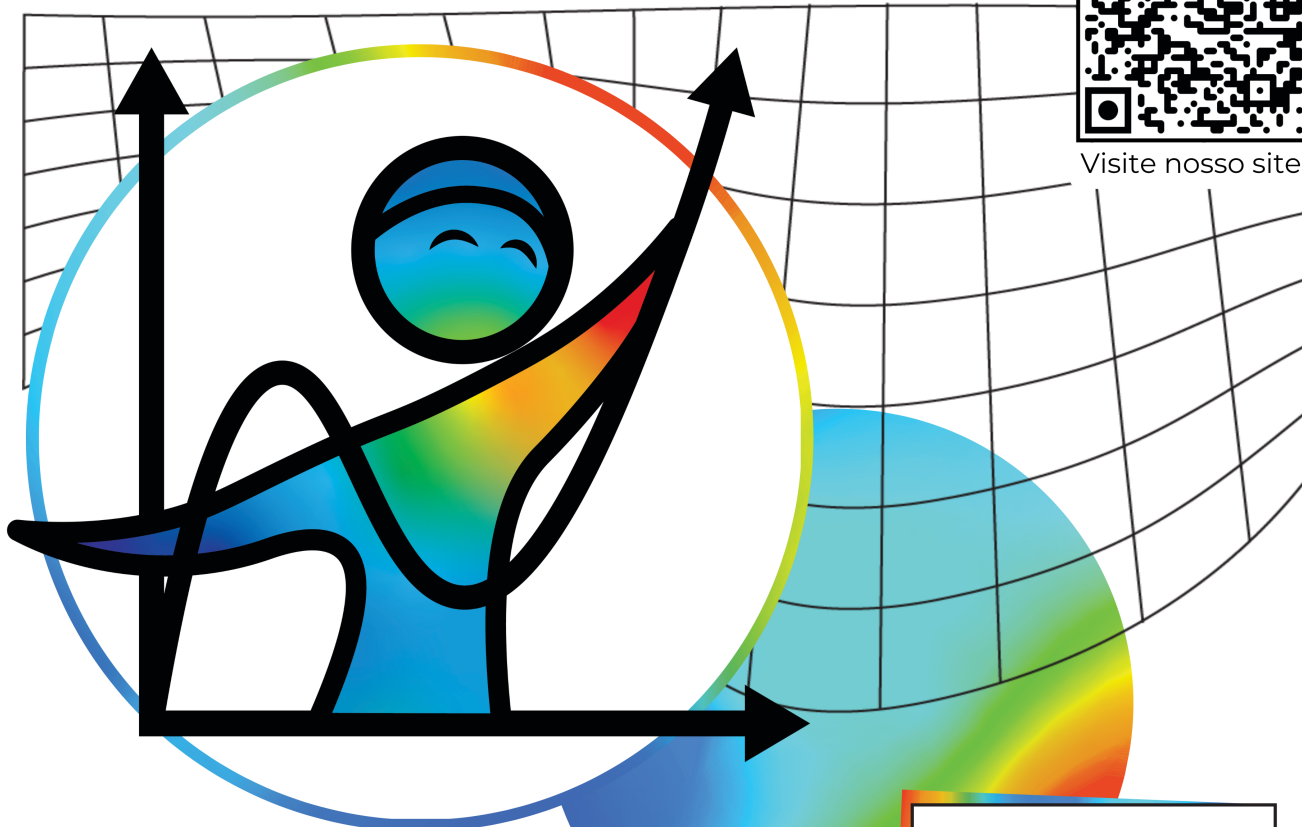


Visite nosso site!



Inovações
Tecnológicas e
Perspectivas
Futuras na
Modelagem
Computacional

14^a
17 **ABRIL**
Auditório do CT
UFPI

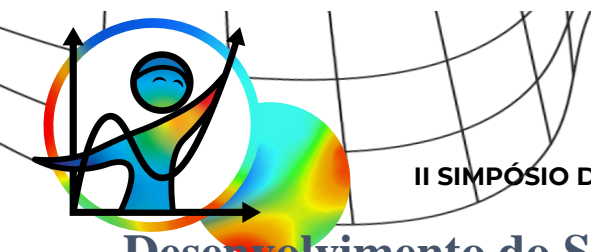
SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL
EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ



ANAIS DO II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ - SIMCOMPI

Desenvolvimento do Sistema de Monitoramento das Grandezas Elétricas em Máquinas Eletromecânicas.....	1
Identificação E Controle Dos Motores De Um Robô Diferencial Micromouse ..	2
Modelagem Computacional De Um Sistema De Minigeração Agrivoltaica Em Um Empreendimento De Avicultura No Estado Do Piauí	3
Numerical Modeling Of Partially Submerged Beam-column	4
Passive Mitigation of Vibration Frequencies on Offshore Structures	5
Periodic Structures for Vibration Attenuation in Tracks	6
Periodic Surface Walls for Ground Vibration Attenuation	7
Propriedades Eletrônicas De Tripentafenos Retangulares Dopados Com Nitrogênio	8
Regulador de Fluxo Diafragma-Íris para Aplicação em uma Planta Didática de Levitação a Ar	9
Simulação Em MATLAB De Controle Psicrométrico Aplicado A Sistemas De Refrigeração	10
Wave Propagation in Periodic Railway Tracks Lateral and Vertical Bending Analysis	11



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Desenvolvimento do Sistema de Monitoramento das Grandezas Elétricas em Máquinas Eletromecânicas

João Ferreira Borges Filho (Acadêmica do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da UFPI)

Otacílio da Mota Almeida (Orientador, Depto. Engenharia Elétrica), Raphael Lima de Paiva (Professor, Depto. Engenharia Mecânica)

Email: joaoferreiraengeletrica@gmail.com, otacilio@ufpi.edu.br, raphaellimap@ufpi.edu.br

Introdução

A procura do mercado por técnicas de controle industrial tem crescido bastante nos últimos 20 anos [15]. Contudo, ainda não é possível determinar, de maneira trivial, quando esses métodos irão compensar uma carga computacional mais robusta e podem trazer de fato, melhorias de desempenho que as estruturas mais simples de controle [16].

O controlador PID é atualmente a estrutura de controle mais empregada em sistemas industriais. Tal fato decorre de sua rapidez de atuação, simplicidade e eficiência no controle de processos [20].

Este projeto de pesquisa visa dar continuidade na modernização e comissionamento das plantas experimentais disponíveis no Laboratório do Grupo de Robótica, Automação e Sistemas Inteligentes (GRASI) do Curso de Engenharia Elétrica da UFPI desenvolver aprofundamentos nos algoritmos de identificação e controle, incluindo o Auto-Ajuste dos controladores PID, o Controle Inteligente, o Controle PID e Preditivo. Serão dado continuidade na melhoria e modernização do túnel de levitação a ar com íris e o tanque duplo multivariável acoplado e do torno mecânico Veker TVK-1660ECO.

Contudo, a automação industrial vem para ajudar na sociedade, e o seu uso tem inúmeras vantagens, como por exemplo: operadores humanos com tarefas de trabalhos pesadas ou monótonas podem ser substituídos; operadores humanos que exercem atividades perigosas, como temperaturas extremas, atmosferas radioativas, ou equipamentos cortantes. O manuseio de cargas grandes e pesadas, a manipulação de equipamentos minúsculos, entre outros.



Fig. 1: Torno mecânico Veker TVK-1660ECO.

Metodologia

I. Captação de Leituras de Tensão e Corrente

Neste estudo, estão sendo capturadas leituras de tensão e corrente com o objetivo de compreender a variação e a forma de onda da corrente. Para isso, utilizam-se transdutores de corrente, dispositivos essenciais para a medição precisa da corrente elétrica em um circuito.

Os transdutores de corrente são dispositivos que convertem a corrente elétrica em outro tipo de sinal, geralmente de tensão, permitindo que essa informação seja interpretada por sistemas eletrônicos (resistor, etc). Existem diversos tipos de transdutores de corrente, incluindo os transformadores de corrente, resistores shunt, sensores de efeito Hall e sensores Rogowski. Cada um deles possui características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações. O efeito Hall é um fenômeno físico que ocorre quando um campo magnético perpendicular à direção da corrente gera uma diferença de potencial transversal ao material semicondutor.

O circuito elétrico utilizado para a medição da corrente compreende um transdutor de corrente conectado em série com a carga elétrica, garantindo que toda a corrente que flui no circuito seja medida com precisão. A saída do transdutor é conectada a um sistema de aquisição de dados, que pode incluir um microcontrolador ou um osciloscópio para análise das variações na forma de onda da corrente.

II. Desenvolvimento do sistema com o sensor ACS712

Foi feita uma pesquisa inicial sobre o sensor de corrente ACS712, um dispositivo baseado no efeito Hall, amplamente utilizado para medição de corrente em circuitos elétricos.

O ACS712 está disponível em três variantes: 5A, 20A e 30A, cada uma com uma sensibilidade distinta. Ele opera com uma tensão de alimentação de 5V e possui uma faixa de temperatura operacional de -40°C a 85°C . Além disso, o sensor apresenta um tempo de resposta rápido de 5 μs , permitindo medições em tempo real.

III. Desenvolvimento do sistema com o sensor LEM LA 55-P/SP1

Atualmente, estão sendo conduzidas pesquisas iniciais com o sensor de corrente LEM LA 55-P/SP1, um componente que também se baseia no efeito Hall para a detecção de corrente elétrica.

Este sensor é projetado para correntes até ± 50 A, mas com o uso adequado de enrolamentos primários (até 20 espiras), é possível ajustar a faixa de medição conforme a aplicação. A saída é uma corrente proporcional que pode ser convertida em tensão com o uso de um resistor de carga (burden resistor), e essa tensão pode ser lida por microcontroladores, conversores analógico-digitais ou equipamentos de monitoramento.

IV. Circuito integrado Esp 32

A ESP32 é uma placa programável via Wi-Fi e Bluetooth, que é integrada com a plataforma de programação das placas Arduino. Além disso, é bastante conhecida por seu baixo custo e alto poder de processamento. Possui 36 pinos GPIO, 12 destes são pinos analógicos, que podem ser usados para ler sinais analógicos, como temperatura, tensão elétrica, e pressão. As possibilidades de programação também são uma característica notável, já que é compatível com C, C++, Python, Lua, MicroPython, além de JavaScript.



Fig. 2: Sensor de Corrente ACS712, Sensor de Corrente LEM LA 55-P/SP1., ESP 32.

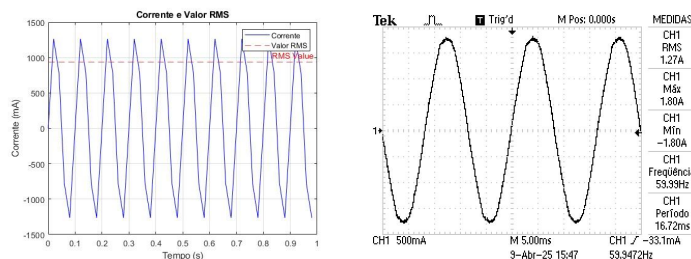
V. Corrente Instantânea e Corrente RMS

A corrente instantânea é o valor da corrente elétrica em um dado instante de tempo. Em sistemas de corrente alternada (AC), essa corrente varia continuamente em função do tempo, formando uma onda (geralmente senoidal). A análise da corrente instantânea permite observar a forma real da onda, incluindo picos, ruídos, distorções e comportamentos transitórios.

Já a corrente RMS (Root Mean Square) é o valor eficaz da corrente — uma média que representa a quantidade equivalente de corrente contínua (DC) que geraria o mesmo efeito térmico (potência dissipada) em uma resistência. Para uma onda senoidal pura, a corrente RMS é cerca de 0,707 vezes o valor de pico. O valor RMS é amplamente usado porque está relacionado ao consumo de energia.

Resultados e discussão

Como pode ser observado a corrente retornada pelo sensor ACS712 é a corrente rms. Contudo, o sensor LA55-P retornou corrente instantânea.



Conclusão

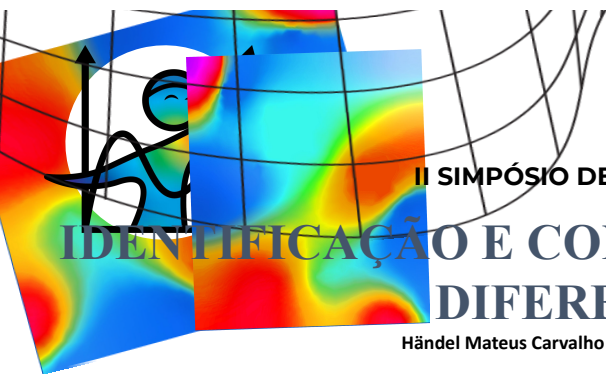
A corrente instantânea apresenta vantagens relevantes em aplicações industriais e de controle eletrônico, superando as limitações da corrente RMS. Em sistemas de acionamento de motores elétricos, por exemplo, a leitura instantânea permite identificar variações rápidas, sobrecargas e falhas em tempo real.

Enquanto a corrente RMS é útil para medir consumo de energia e aquecimento, a corrente INSTANTÂNEA oferece uma visão completa e em tempo real do comportamento elétrico, sendo indispensável em aplicações que exigem precisão, segurança e controle dinâmico.

Referências

- [1] Aguirre L. A.; Sistemas Dinâmicos Não Lineares: Conceitos e Análise de Dados, eBook Kindle 2024
- [2] Neto, J. B. C.; Almeida, O. M.; Level control of a conical tank using Interval Type-2 Fuzzy Logic PID controllers for the Phase and Gain Margins of the System ; ICUMT 2022 IEEE Conference, Valencia, Spain, 2022.





II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DOS MOTORES DE UM ROBÔ DIFERENCIAL MICROMOUSE

Händel Mateus Carvalho Sarmento (Acadêmico do Bacharelado em Engenharia Elétrica da UFPI)

Otacílio da Mota Almeida (Orientador)

Email: otacilio@ufpi.edu.br, handelmateus@ufpi.edu.br

Introdução

Os robôs solucionadores de labirintos surgiram na década de 1950 como dispositivos autônomos e compactos, e, desde os anos 1970, competições de micromouses se tornaram populares, especialmente no Reino Unido e no Japão, conforme pode ser visto na Figura 1.

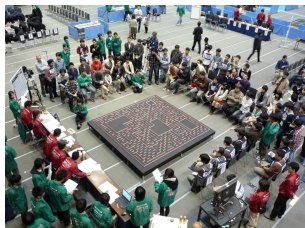


Fig. 1: Torneio da Modalidade no Japão

A competição envolve robôs móveis autônomos (Figura 2) para resolver um labirinto composto de 16x16 células de 180x180 mm². A padronização da competição foi introduzida pela revista do IEEE Spectrum em 1977. O robô tem um tempo limitado para resolver um labirinto, cuja configuração é estabelecida no início da competição.

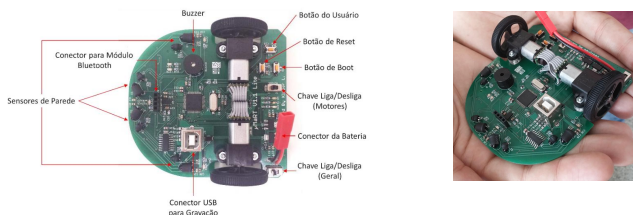


Fig. 2: Micromouse do Laboratório de Controle e Sistemas Inteligentes – Engenharia Elétrica - UFPI

O robô tem como objetivo sair de um dos cantos do labirinto e alcançar o centro no menor tempo possível. O autômato é pontuado de acordo com três parâmetros: velocidade, eficiência em resolver labirinto, e confiabilidade do Micromouse.

O desenvolvimento desses robôs envolve etapas essenciais, sendo o controle e a automação fundamentais para otimizar a navegação. Este trabalho foca no controle simulado de percursos em linha reta para o micromouse do Laboratório de Controle e Automação da Engenharia Elétrica – UFPI apresentado na Figura 2, ajustando independentemente as velocidades lineares de suas rodas para melhorar a eficiência dos deslocamentos.

Metodologia

Um passo necessário para realização de todo o processo de controle e monitoramento do comportamento do robô é a transferência das informações coletadas localmente para o computador. Para isto, foi elaborada uma pequena rede local de comunicação que faz uso de dois microcontroladores do tipo ESP que trocam informações entre si via wifi através do protocolo ESP-NOW, sendo um do modelo ESP8266 e um ESP-WROOM-32.

A rede de comunicação completa consiste em 3 microcontroladores – os dois ESPs e o STM32 do micromouse - e um computador portando o software MATLAB e pode ainda ser dividida em dois grupos de comunicação serial que trocam informações via wifi, conforme visto na Figura 3. O primeiro grupo está composto pelo STM32F405RGT6 e pelo ESP8266 D1 Mini e fica localizado no espaço físico do robô, onde o primeiro chip está soldado à placa e o segundo está conectado através da entrada do conector UART. O segundo grupo, formado pelo ESP-WROOM-32 e pelo PC, está localizado separado do robô, na bancada de trabalho, conectados ao computador.

O próximo passo envolve a utilização da estrutura desenvolvida para coletar dados e identificar o sistema, processo esse dividido em três etapas: medição de velocidade, transferência de informações e aplicação do algoritmo dos Mínimos Quadrados Não Recursivos (MQNR).



Fig. 3: Rede de comunicação criada para coleta e transferência de dados

Com base em Filho (2017) e utilizando a resposta a uma entrada em degrau, determinou-se o período de amostragem de ambos os motores com 0,01s (10ms). Em seguida, aplicou-se uma entrada randomizada em torno de um degrau de referência, variando em +/- 10% desse valor, e coletaram-se as respectivas saídas para cada motor. A partir desses dados, torna-se possível aplicar o algoritmo do estimador MQNR, possibilitando, assim, o avanço para a etapa de controle dos motores.

Resultados e discussão

A partir da estimação da função de transferência Eq (1), é possível utilizar o método desenvolvido por Åström and Hägglund (1995) para automatizar o cálculo dos ganhos dos parâmetros do controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) com o uso de um relé com histerese. A Tabela 1 mostra os coeficientes do modelo estimado e dos controladores de cada um dos motores.

Coefficientes	Motor Esquerdo	Motor Direito
a_1	-0.1615	-0.3379
a_2	-0.1247	0.0036
b_1	0.5540	0.3755
b_2	0.1515	0.2539
g_0	1.0176	1.0397
g_1	-0.9548	-1.0961
g_2	0.2648	0.3220

$$G(z) = z^{-1} \frac{b_1 z + b_2}{z^2 + a_1 z + a_2} \quad (1)$$

$$G_{PID}(z) = \frac{g_0 z^2 + g_1 z + g_2}{z(z-1)} \quad (2)$$

Tabela 1: Coeficientes da função de transferência do modelo estimado e do controlador

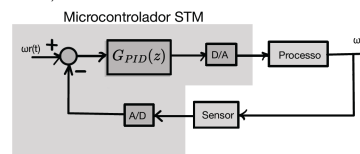


Fig. 4: Malha de Controle de Velocidade angular do Micromouse

A seguir são apresentados os resultados dos controladores PID aplicados aos modelos estimados via MQNR.

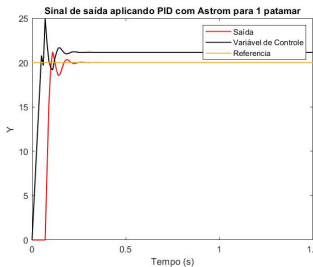


Fig. 5: Simulação do PID no motor direito



Fig. 6: Simulação do PID no motor esquerdo

Conclusão

A análise e observação das figuras permite verificar que o comportamento dos controladores simulados, baseados em Åström and Hägglund (1995), tem um comportamento dentro do esperado com baixo tempo de amortecimento e overshoot baixo além de não tornar o sistema oscilatório.

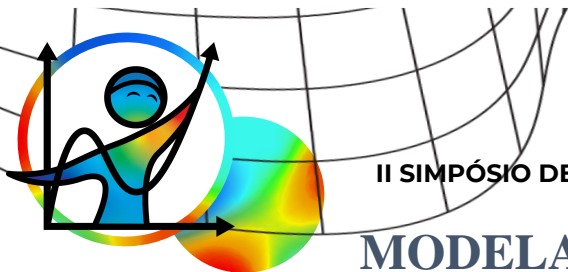
Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Piauí, ao professor Dr Otacílio da M. Almeida e aos colegas de graduação Matheus C. P Prado; João Marcos Vilar de A. M. S. por todo apoio fornecido durante a realização deste trabalho.

Referências

Åström, K.J. and Hägglund, T., 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. ISA: The Instrumentation, Systems and Automation Society, Research Triangle Park, North Carolina, 2nd edition. ISBN 1-55617-516-7. da Silva, K.L., 2015. Manual do Usuário – Robô µMaRT Lite Plus V1.1. micromouseBrasil. URL: https://kleberufu.wixsite.com/micromousebrasil/arquivos. Espresif Systems, 2025. "Esp-now: A wireless communication protocol for quick responses and low-power control". URL: https://www.espressif.com.translate.google/en/solutions/low-power-solutions/esp-now?xtsrsl=enxtrtl=pxtrtl=ptxtrtpo=tc. Acesso em: 16mar.2025.
Filho, F.M.R., 2017. Estudo e implementação de algoritmo inteligente para resolução de labirinto com robô autônomo diferencial Micromouse. Belo Horizonte. Pereira, G.A.S., 2000. Identificação e Controle de Micro-Robôs Móveis. Belo Horizonte.





II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

MODELAGEM COMPUTACIONAL

DE UM SISTEMA DE MINIGERAÇÃO AGRIVOLTAICA EM UM EMPREENDIMENTO DE AVICULTURA NO ESTADO DO PIAUÍ

Atos A. S. Borges (Universidade Estadual do Piauí), Juan de A. Gonçalves (Universidade Estadual do Piauí), Thiago M. S. Rocha (Cruze Energia e Engenharia), Ítalo F. e Silva (Cruze Energia e Engenharia)

Email: atosborges@ctu.uespi.br, juan@ctu.uespi.br, thiagomiranda08@ufpi.edu.br, italo@energiacruze.com

Introdução

Os sistemas agrivoltaicos (AgroPV) emergem como uma solução inovadora e sustentável para a integração de produção de energia fotovoltaica com a agricultura. Esses sistemas combinam a geração de eletricidade a partir da radiação solar com o uso do mesmo espaço físico para atividades agrícolas, tanto vegetais como animais, otimizando o uso de recursos naturais, como a luz solar e o espaço disponível (GOETZBERGER; ZASTROW, 1982; DINESH; PEARCE, 2016). No contexto da avicultura, a associação de sistemas fotovoltaicos à criação de aves tem se mostrado promissora (VIDOTTO et al., 2024). Como o desenvolvimento tecnológico crescente dos empreendimentos de avicultura, o setor vem continuamente aumentando sua demanda pelo consumo de energia elétrica. Automatização de produção, controle climático das plantas de produção e produções em maior escala são fatores que contribuem diretamente para o aumento do consumo de energia elétrica desse tipo de produção (HANDLER; PEARCE, 2022).

O presente trabalho propõe a modelagem tridimensional e simulação de um empreendimento agrivoltaico de minigeração fotovoltaica aliada a uma indústria privada de avicultura. O objetivo do estudo é construir um modelo virtual para avaliar o potencial de geração de energia elétrica, analisando a presença e o impacto de sombreamentos, dimensionamento de perdas elétricas, perdas de irradiância e métricas de performance de geração. O estudo é baseado em um caso prático em desenvolvimento a partir da parceria entre o Núcleo de Formação e Pesquisa em Energias Renováveis e Telecomunicações do Piauí (NUFPERPI) e uma empresa do setor privado de energia renovável.

Metodologia

A modelagem do sistema agrivoltaico passou pelas etapas de modelagem tridimensional e modelagem do sistema fotovoltaico utilizando um conjunto de ferramentas de software com objetivo de dar uma melhor precisão ao modelo. A abordagem inicial para modelagem tridimensional foi a utilização da técnica de fotogrametria digital. A fotogrametria é uma técnica que permite a criação de modelos 3D precisos a partir de fotografias. Este processo envolve a captura de múltiplas imagens de um objeto ou cenário de diferentes ângulos. Essas imagens são então processadas utilizando algoritmos de fotogrametria, que identificam pontos comuns nas fotografias e calculam suas posições no espaço tridimensional. A partir de uma sequência de fotos de Veículos Autônomos Não Tripulados (VANTS) é possível modelar objetos tridimensionais, determinar distâncias, melhorar a precisão geográfica e extrair dados de topografia.

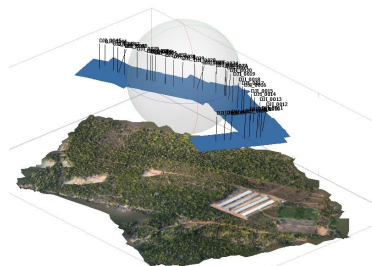


Fig. 1: Processamento de fotogrametria digital no Agisoft Metashape



Fig. 2: Modelagem 3D da planta de produção agrivoltaica no SketchUp

A partir do modelo tridimensional da área do empreendimento obtido pela modelagem com fotogrametria, foi possível iniciar a modelagem tridimensional da usina fotovoltaica utilizando o software SketchUp 2023. Os espaçamentos foram definidos de acordo com as especificações técnicas e de modo a evitar sombreamentos. A área total da produção avicultora é de aproximadamente 240.000 m², sendo 31.478 m² ocupados pelos galpões onde é feito o cultivo avicultor, e 208.000 m² de terreno livre não utilizado. A usina fotovoltaica foi projetada para solo a ser alocada justamente no espaço não utilizado do terreno, dando uso a 2.097 m² de área até então improdutiva.

Com o arquivo que informações espaciais tridimensionais, foi iniciada a modelagem dos parâmetros fotovoltaicos do modelo. Com o software PVsyst versão 7.2 foi possível inserir todas as variáveis relevantes para modelagem do sistema fotovoltaico.

Foram inseridos 285 painéis fotovoltaicos bifaciais de modelo SOLAR N PLUS SP-N16/144HG-570, totalizando 162,45 kWp de potência nominal. Foram adicionados 2 inversores fotovoltaicos: a) Inversor trifásico modelo SAJ C6-100K-T9 de 100 kW de potência nominal, com sobrecarga CC de 45%; b) Inversor trifásico modelo DEYE SUN-12K-G06P3-EUAM2 com 12 kW de potência nominal, com sobrecarga CC de 43%. A combinação de inversores (112 kW) é a máxima possível para manter a modalidade tarifária B Optante, a qual o empreendimento é aderente. O consumo médio mensal da produção avicultora é de 24.138 kWh.

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos no ponto mais próximo encontrado na base de dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). As coordenadas georreferenciadas da instalação são: latitude -5.415419 e longitude -42.903941. A simulação foi realizada com orientação dos módulos em plano fixo com inclinação de 8° e azimute de 0°. Essa inclinação corresponde à menor inclinação encontrada para as estruturas de montagem em solo comercialmente disponíveis.

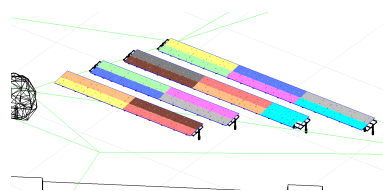


Fig. 3: Configuração de strings fotovoltaicas no PVsyst

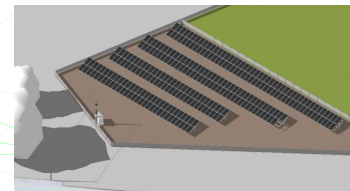


Fig. 4: Modelo 3D simplificado exportado para simulação

Resultados e discussão

A partir dos parâmetros de simulação citados foi possível obter o relatório de simulação do software PVsyst. A média mensal de geração líquida obtida através da simulação foi de 22.218,33 kWh, correspondendo à 92% do consumo médio de energia elétrica da produção. Considerando que o empreendimento não realiza contratação de demanda de consumo, a energia fotovoltaica gerada poderá ser utilizada diretamente na compensação de energia, reduzindo o gasto com energia de forma direta. As perdas mais significativas encontradas em simulação foram: perdas devido à temperatura (-6,88%), perdas no inversor devido à sobrecarga de potência nominal (-4,18%), perdas por acúmulo de resíduos e sujeira (-3,00%), incompatibilidade de módulos e strings (-2,09%) e degradação devido à luz (-2,00%).

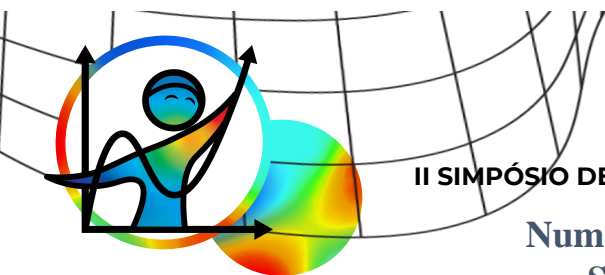
Conclusão

A partir dos resultados obtidos em simulação, concluímos que a instalação de uma usina fotovoltaica aliada à produção avicultora é uma excelente medida tanto para a otimização dos espaços disponíveis no empreendimento, otimizando o uso de espaços não-produtivos, quanto para a economia de até 92% do custo com energia elétrica consumida pela planta, melhorando as condições de operação de forma sustentável e economicamente atrativa.

A partir desta análise é possível traçar cenários mais complexos de gestão energética, como a utilização de microrredes para armazenamento de energia, a análise do perfil de consumo para otimização dos horários de injeção e consumo de energia da planta, além do aumento de renda através de novas modalidades de negócios para minigeração, como usinas de aluguel.

Referências

- DINESH, H.; PEARCE, J. M. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 54, p. 299-308, 1 fev. 2016.
- GOETZBERGER, A.; ZASTROW, A. On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. *International Journal of Solar Energy*, v. 1, n. 1, p. 55-69, jan. 1982.
- HANDLER, R.; PEARCE, J. M. Greener sheep: Life cycle analysis of integrated sheep agrivoltaic systems. *Cleaner Energy Systems*, v. 3, p. 100036, 1 dez. 2022.
- VIDOTTO, L. C. et al. An evaluation of the potential of agrivoltaic systems in Brazil. *Applied Energy*, v. 360, p. 122782, 15 abr. 2024.



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Numerical Modeling Of Partially Submerged Beam-column

Davi Kauê de Sousa Gomes (Universidade federal do Piauí)
 Simone dos Santos Hoefel (Orientadora, Universidade federal do Piauí)
 Email: davi.gomes@ufpi.edu.br, simone.santos@ufpi.edu.br
 Laboratório de método de modelagem computacional (LAMEC)

Introduction

The offshore industry often employs excessive structural material due to the unpredictable nature of the marine environment (Fig. 1). Submerged structures are subject to various hydrodynamic forces, including drag, inertia, added mass, diffraction, Froude-Krylov, and wave slamming forces. This study aims to contribute to reducing overdimensioning, thereby lowering manufacturing costs and CO₂ emissions. The Morison equation is applied to estimate wave-induced forces, and the structure is modeled using a beam-column element.

Methodology

The structure was modeled as a cantilever beam-column partially submerged in a marine environment, and its dynamic behavior was analyzed in both time and frequency domains, focusing on movements at the free end. Hydrodynamic loading was simulated using the Morison equation and a stochastic wave spectrum to represent ocean randomness. This semi-empirical formulation consists of two main components: the inertia force and the drag force, with the latter typically dominating. The normal component of the Morison equation, acting perpendicularly to the cylinder's axis, is expressed as:

$$f^n(x, t) = C_D \rho_f r (-w_y \dot{\theta} + \dot{u} \theta + w_x + U_c - \dot{v}) [-w_y \theta + \dot{u} \theta + w_x + U_c - \dot{v}] + C_M \rho_f \pi r^2 (\ddot{w}_y - \ddot{w}_x \theta).$$

The term f^n represents the distributed force on the cylinder and depends on hydrodynamic parameters such as inertia and drag coefficients, cylinder radius, water density, flow velocity, and wave particle velocity. The variables θ , u , and v correspond to rotation, axial, and transverse displacements, respectively.

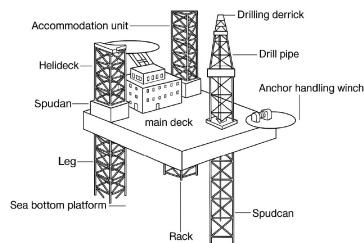


Fig. 1: Offshore jacket type.

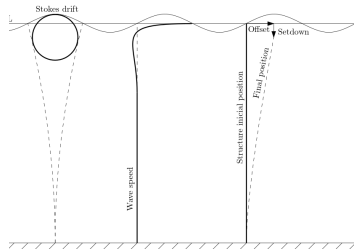


Fig. 2: Structure displacement and wave speed.

The structural response was evaluated using a Timoshenko beam-column element, formulated through the Finite Element Method (FEM) to derive the stiffness and mass matrices. To solve the equation of motion under Morison-type loading, a predictor-corrector version of the Newmark-beta method well-suited for nonlinear systems was applied to solve the equation of motion:

$$M\ddot{x} + Kx = f^n.$$

Results

The results show the dynamic response at the free end of the cantilever beam-column, considering both translational and rotational degrees of freedom in the time and frequency domains. Figures 3 and 4 present the time histories of displacement, velocity, and acceleration for the transverse and rotational motions, respectively. Figures 5 and 6 display the corresponding phase plots, highlighting the system's dynamic trajectory in phase space. The frequency content of the transverse displacement is shown in Figure 7, with a zoomed-in view of its low-frequency range in Figure 8. Figures 9 and 10 show the power spectral density (PSD) of the rotational response and its detailed behavior in the lower frequency range, confirming the dominance of low-frequency components in the system's behavior.

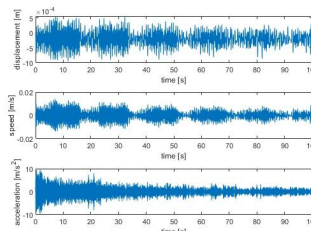


Fig. 3: Transversal time domain response.

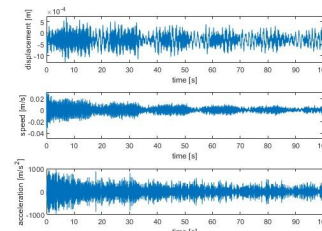


Fig. 4: Rotational time domain response.

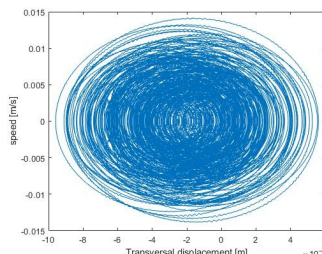


Fig. 5: Transversal phase plot.

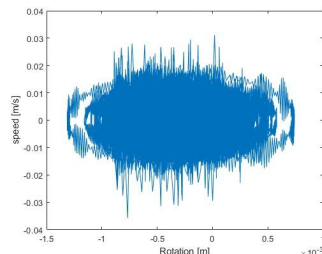


Fig. 6: Rotational phase plot.

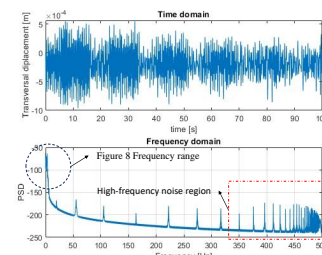


Fig. 7: PSD response of transversal displacement.

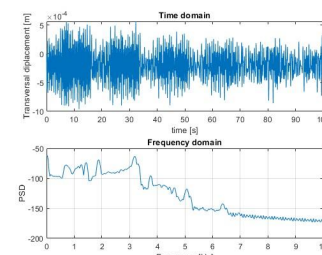


Fig. 8: Zoomed view of transversal PSD.

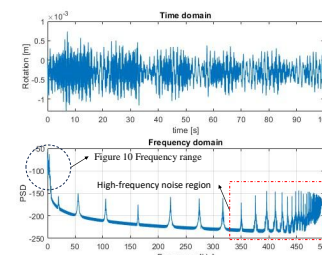


Fig. 9: PSD response of rotational displacement.

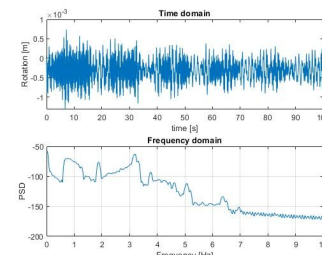
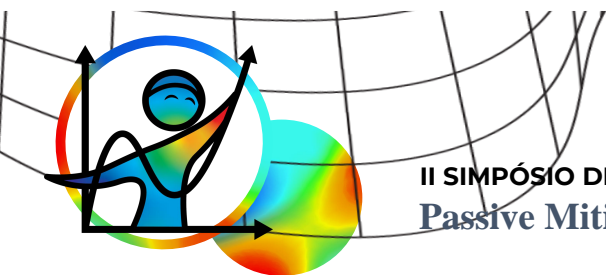


Fig. 10: Zoomed view of rotational PSD.

Conclusion

Offshore structures subjected to hydrodynamic loading exhibit dominant responses in the low-frequency range, while the influence of forced vibrations diminishes at higher frequencies. This behavior is consistent with the literature and reflects the inherent unpredictability of ocean wave excitation.

Due to the random phase angles of ocean waves, the time-domain response lacks full predictability, although general amplitude patterns and phase space behavior can still be identified. Future developments will incorporate the added mass effect and focus on optimizing the topology of a structural framework, aiming to improve performance and reduce material usage.



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ Passive Mitigation of Vibration Frequencies on Offshore Structures

Thierry Miqueias Melo Madeira (Universidade Federal do Piauí)
Dário Carvalho Viveiros (Universidade Federal do Piauí)
Simone dos Santos Hoefel (Orientadora, Universidade Federal do Piauí)
Email: thierrymiqueias@gmail.com
Laboratório de Métodos de Modelagem Computacional (LAMEC)

Introduction

Offshore platforms operate in environments subject to constant wave action, which induces dynamic loads on structural components, particularly the support legs or tendons (Fig. 1a). These loads propagate as mechanical vibrations throughout the structure and may compromise its integrity, performance, and service life.

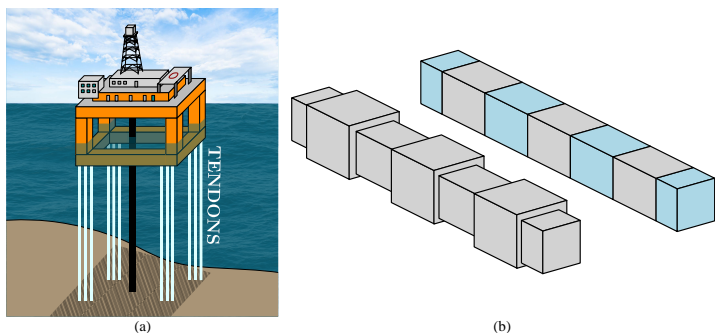


Fig. 1: Tension-Leg Platform (a) and tendons represented as stepped and bimaterial periodic beams (b).

Among passive vibration mitigation strategies, periodic structures have attracted increasing interest due to their ability to generate **band gaps**—specific frequency ranges where the propagation of waves is naturally attenuated. This behavior is directly influenced by the geometry and material distribution along the structure (Fig. 1b). This study investigates the vibrational behavior of stepped and bimaterial periodic beams, focusing on how geometric variations influence wave attenuation.

Methodology

The periodic beams were modeled using **Euler–Bernoulli theory**, with unit cells composed of three segments—two identical outer sections and a central one. Two configurations were analyzed: **stepped beams**, with variations in cross-sectional geometry, and **bimaterial beams**, alternating materials along the length (Fig. 2).

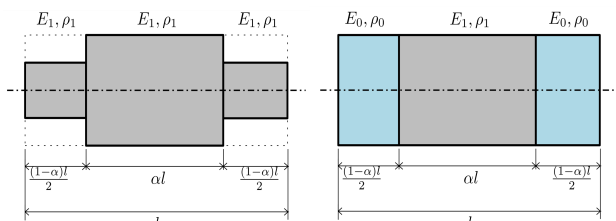


Fig. 2: Unit cells for stepped and bimaterial beams.

The relative length of the central segment is governed by a saturation parameter α , ranging from 0 to 1. Values of $\alpha = \{0, 1\}$ correspond to prismatic beams. Each segment is modeled individually and assembled by enforcing compatibility at interfaces. The vibrational behavior was analyzed in the frequency domain using the Finite Element Method (FEM). A MATLAB® script was developed to assemble the global stiffness and mass matrices of the periodic structure and solve the resulting generalized eigenvalue problem, enabling the construction of dispersion curves.

Numerical Results and Discussion

Numerical simulations were performed for both stepped and bimaterial beam configurations, considering hinged-hinged boundary conditions. Initially, the natural frequencies corresponding to modes 1 through 22 were calculated for a fixed saturation parameter of $\alpha = 1/2$, which defines the relative length of the central segment within each unit cell. The geometric and material properties adopted in the simulations are illustrated in Fig. 3, while the resulting frequency spectra for each mode are presented in Fig. 4.

These results serve as a basis for analyzing the emergence of band gaps and assessing how the different periodic configurations influence vibrational behavior and wave attenuation performance.

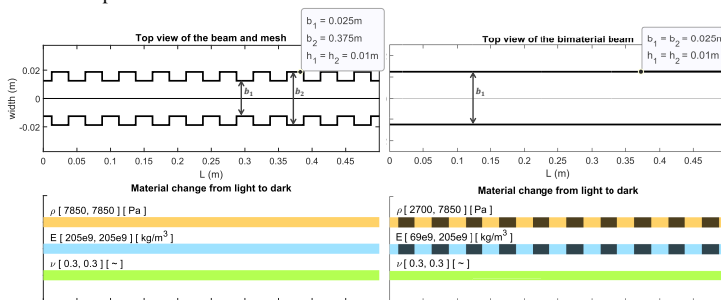


Fig. 3: Stepped and bimaterial beam parameters.

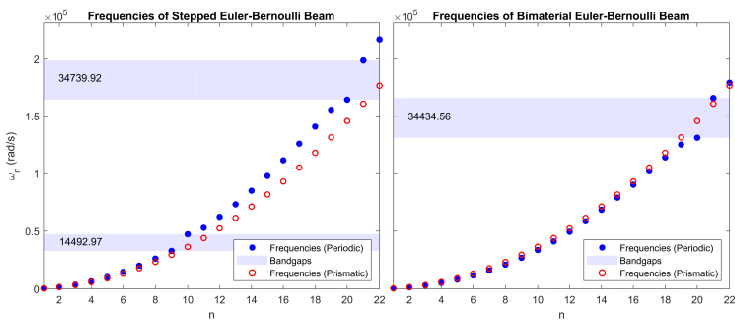


Fig. 4: Natural frequencies and band gaps for $\alpha = 1/2$ for stepped and bimaterial beams.

By varying the saturation parameter α , it is possible to adjust the relative lengths of the beam segments and, consequently, shift the band gap position. Natural frequencies for modes 18 to 22 were computed for α values of 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, and 7/8, and the results are shown in Fig. 5.

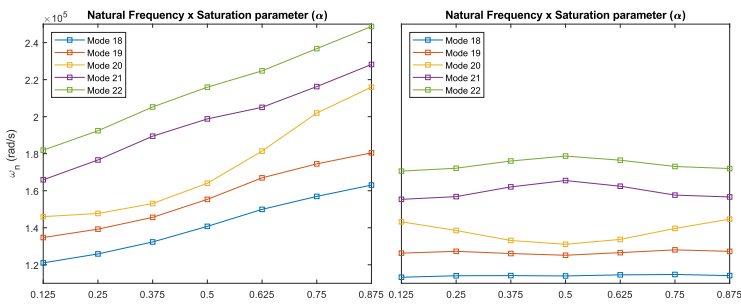


Fig. 5: Natural frequencies by saturation parameter for stepped (left) and bimaterial beams (right).

Conclusion

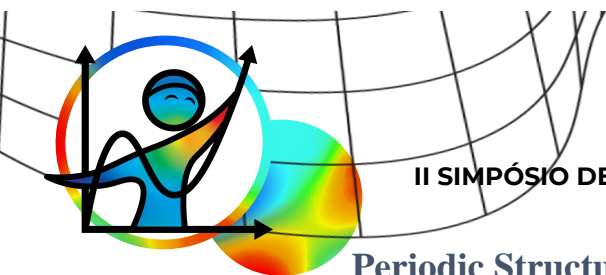
The study demonstrated that the dynamic behavior of periodic Euler-Bernoulli beams, including stepped and bimaterial configurations, can be effectively controlled by adjusting the saturation parameter α . Numerical simulations showed that varying α influences the relative segment lengths within the unit cell, allowing for the tuning of band gaps within desired frequency ranges. This passive approach offers a promising strategy for vibration mitigation in offshore platforms and other structural systems subjected to dynamic loads.

Acknowledgments

PICME (Programa de Iniciação Científica e Mestrado) - IMPA and CNPq.

References

- ŁUKASZ DOMAGALSKI. Comparison of the natural vibration frequencies of timoshenko and Bernoulli periodic beams. *Materials* 14, 7628 (2021).
- ASIRI, S. A., AND AL-ZAHIRANI, Y. Z. Theoretical analysis of mechanical vibration for offshore platform structures. *World Journal of Mechanics* 4, 11 (2014).



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Periodic Structures for Vibration Attenuation in Tracks

Iasmin Brandão Leal (Universidade Federal do Piauí)

Jenário Souza dos Reis Júnior (Universidade Federal do Piauí)

Profa. Dra. Simone dos Santos Hoefel (Orientadora, Universidade Federal do Piauí)

Email: iasmin.leal@ufpi.edu.br

Laboratório de Métodos de Modelagem Computacional (LAMEC)

Introduction

Railway tracks are subject to dynamic loads that generate vibrations in rails, ballast, and underlying structures. These vibrations can cause noise, accelerate maintenance needs, and affect nearby infrastructure. Periodic structures offer a passive solution by creating band gaps - frequency ranges where wave propagation is suppressed. In rail systems, such effects can be achieved using components like pads or dampers with varying mass and stiffness.

This study analyzes how changes in the mass ratio between adjacent elements influence the formation and width of the first band gap, using analytical models and Wave Finite Element Method (WFEM) simulations.

Methodology

Railway tracks (Fig. 1) can be idealized as periodic systems when analyzing vibration propagation along structural elements such as rail pads, sleepers, or substructure layers. To model and understand these effects, the mathematical formulation of periodic structures is developed by integrating the Finite Element Method (FEM) with Floquet-Bloch theory, allowing for the analysis of wave propagation and attenuation in periodic media.



Fig. 1: Railway tracks
Fonte: AGICO Group*

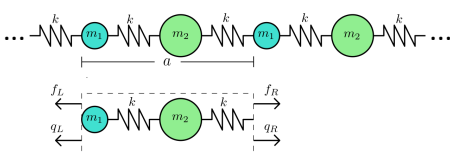


Fig. 2: 1D Spring-mass periodic system and its unit cell interactions

To evaluate the specific influence of mass ratio ($\alpha = m_2/m_1$) on the formation of band gaps, an infinite 1D spring-mass periodic system was adopted, composed of two alternating masses (m_1 and m_2) connected by springs of stiffness k , illustrated in Fig. 2. The equation of undamped harmonic motion is given by:

$$[\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}] \mathbf{q} = \mathbf{f},$$

where \mathbf{K} and \mathbf{M} denotes the stiffness and mass matrices, respectively, \mathbf{q} the vector of degrees of freedom, \mathbf{f} the vector of nodal forces, and ω the angular frequency. Periodicity is imposed by the Floquet-Bloch theorem to reduce the entire infinite system to a single unit cell, relating the boundary parameters shown in Fig. 2 as follows:

$$\mathbf{q}_R = \mathbf{q}_L \lambda \quad \text{and} \quad \mathbf{f}_R = -\mathbf{f}_L \lambda.$$

The Bloch propagator is $\lambda = e^{i\mu}$, is related to the propagation constant as $\mu = ka$, in which k represents the wavenumber.

Inverse Method imposes real values of propagation constants to obtain the angular frequencies. The following eigenvalue problem for $\omega(\mu)$ is obtained:

$$[\bar{\mathbf{K}} - \omega^2 \bar{\mathbf{M}}] \bar{\mathbf{q}} = 0.$$

Direct Method determines real and imaginary components of propagations constants from given angular frequencies. In this approach, motion is governed by:

$$\mathbf{D}(\omega) \mathbf{q} = \mathbf{f} \quad \text{and} \quad \mathbf{D}(\omega) = \mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M},$$

in which \mathbf{D} is the dynamic stiffness matrix. The following eigenvalue problem for $\mu(\omega)$ is obtained:

$$\Lambda^H \mathbf{D}(\omega) \Lambda \bar{\mathbf{q}} = 0.$$

Results and discussion

Three configurations were analyzed by varying m_2 (Table 1), while reference values of $m_1 = 1$, $a = 1$, and $k = 1$ were kept constant. Dispersion curves were obtained using the WFEM, allowing identification of the band gap frequency ranges for each case.

Table 1: Parameters for m_2

Case	Case 1	Case 2	Case 3
m_2 (kg)	2	5	10

Results indicate that increasing the mass ratio (α) significantly widens the band gaps in the periodic spring-mass system due to enhanced Bragg scattering from greater mass contrast. Dispersion curves for $\alpha = 2, 5$, and 10 (Figs. 3-5) clearly illustrate this shift and enlargement.

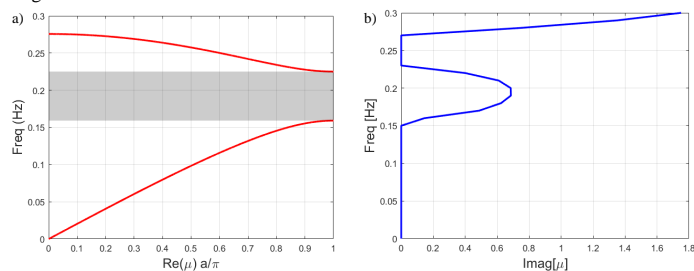


Fig.3: Dispersion curves for $\alpha=2$

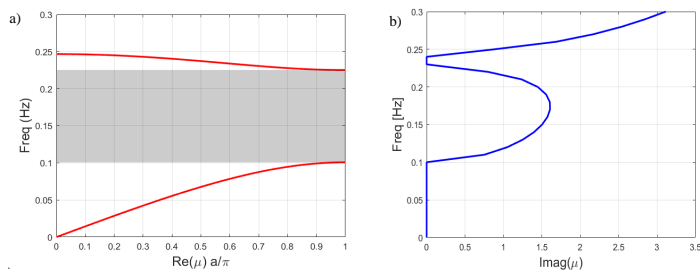


Fig.4: Dispersion curves for $\alpha=5$

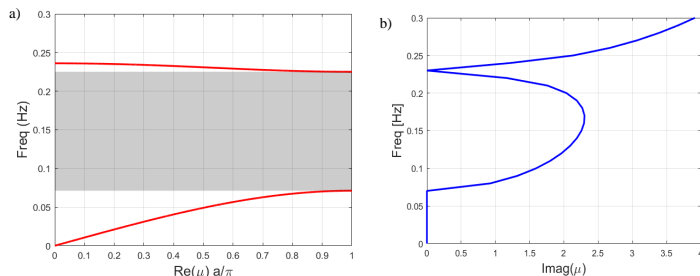


Fig.5: Dispersion curves for $\alpha=10$

Table 2: Numerical results for band gaps frequency range for 1D spring-mass system

Frequency (Hz)	$\alpha = 2$	$\alpha = 5$	$\alpha = 10$
ω_1	0.1592	0.1007	0.0712
ω_2	0.2251	0.2251	0.2251
$\Delta\omega$	0.0659	0.1244	0.1539

Table 3: Relative band gap increment with reference to $\alpha=2$

$\alpha_5/\alpha_2 = 2.5$	$\alpha_{10}/\alpha_2 = 5$
88%	133%

Conclusion

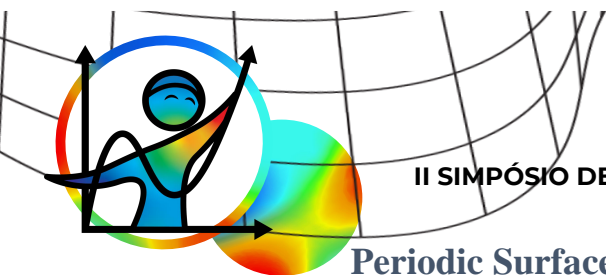
Numerical results confirmed that the mass ratio (α) plays a crucial role in shaping and widening band gaps in 1D periodic spring-mass systems. Increasing α results in broader gaps and enhanced attenuation, establishing it as a key parameter for vibration control design. The findings also validate the WFEM as an efficient and reliable tool for analyzing and optimizing periodic structures aimed at passive wave suppression in engineering applications, particularly in railway tracks and other infrastructure subjected to dynamic loads.

References

HUSSEIN, Mahmoud I.; LEAMY, Michael J.; RUZZENE, Massimo. Dynamics of phononic materials and structures: Historical origins, recent progress, and future outlook. *Applied Mechanics Reviews*, v. 66, n. 4, p. 040802, 2014.

REIS, J. S.; SOUZA, I. R.; HOEFEL, S. S.. Flexural wave propagation analysis of a locally resonant beam. In: *CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*, ABCM, 2024, p. 1-10.

*<https://railroadrails.com/information/types-of-railway-tracks/>



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Periodic Surface Walls for Ground Vibration Attenuation

Jenário Souza dos Reis Júnior (Universidade Federal do Piauí)

Profa. Dra. Simone dos Santos Hoefel (Orientadora, Universidade Federal do Piauí)

Prof. Dr. Josué Labaki (Orientador, Universidade Estadual de Campinas)

Laboratório de Métodos de Modelagem Computacional (LAMEC)

Email: jenariojunior4@gmail.com, simone.santos@ufpi.edu.br and labaki@unicamp.br

Introduction

Ground vibrations caused by construction, traffic, earthquakes, and other external sources can compromise structural integrity and disturb the operation of sensitive equipment, such as particle accelerators. These facilities demand efficient vibration mitigation strategies to ensure stability and precision. Among the proposed solutions, surface walls (Carneiro et al., 2022) and periodic walls stand out for their ability to reflect and absorb vibrational energy, increasing structural resilience to dynamic disturbances. In this work, the interaction between a novel model of periodic walls and the soil is analyzed using a coupled formulation based on the Indirect Boundary Element Method (IBEM) and the Finite Element Method (FEM), the IBEM-FEM coupling scheme. FEM is used to model the walls and IBEM is employed to model the soil. To represent a substantial range of phenomena relevant to geotechnical and seismic engineering practice, the proposed models account for ground vibration induced by Rayleigh waves.

Methodology

Figure 1 shows a typical gabion wall structure, commonly used as a surface barrier to attenuate ground vibrations. Building on this concept, the present study investigates the interaction between a novel periodic wall model (Fig. 2) and the soil through a coupled formulation that combines the Indirect Boundary Element Method (IBEM) and the Finite Element Method (FEM). In this coupling scheme, FEM is employed to model the wall, while IBEM represents the soil behavior. To simulate realistic geotechnical and seismic conditions, the model incorporates Rayleigh wave-induced ground vibrations, which are predominant in surface wave propagation.



Fig. 1: Typical Gabion Wall Structure.

Consider n identical linear-elastic walls of width L , height H , and spacing a , characterized by E , ν , η , and ρ . These walls are placed on a homogeneous, isotropic, viscoelastic half-space, defined by ρ_s , G_s , ν_s , and η_s . The analysis assumes plane strain and perfect bonding at the soil-structure interface. Ground vibrations are induced by Rayleigh waves.

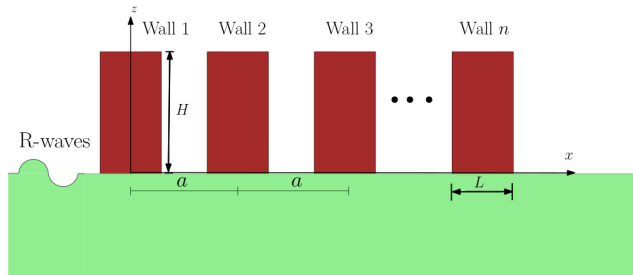


Fig. 2: Periodic structures under Rayleigh wave excitations.

The walls are modeled using quadrilateral FEM elements, while the soil is represented via IBEM as a transversely isotropic half-space. Coupling is enforced through interface equilibrium and displacement continuity, and the system is analyzed under seismic excitation.

Results and discussion

The walls are discretized using quadrilateral FEM elements, with stiffness and mass matrices obtained through standard procedures. The soil is modeled as a transversely isotropic half-space using IBEM, which relates displacements to fictitious tractions through influence matrices. Soil-structure coupling is enforced via equilibrium and displacement continuity at the interface. The system is subjected to seismic excitation by Rayleigh waves acting on multiple walls.

A numerical analysis is conducted for the case of n gabion walls ($E = 367$ MPa) of $H = 2$ m and two different widths are considered: $L = 1$ m and $L = 2$ m. The insertion point of these walls is separated by $a = 5$ m. Tab.1 shows the material parameters of the walls and the soil. The results are expressed in terms of the insertion loss, defined as:

$$IL = 20 \log_{10} \left| \frac{u_b}{u_a} \right|,$$

which represents the ratio of ground motion before (u_b) and after (u_a) the installation of the wall. This metric is evaluated for both horizontal and vertical displacements at the measurement point located at $x = 30$ m.

Table 1: Material properties of walls and soil.

Medium	ρ (kg/m ³)	η	ν
Wall	1700	0.02	0.2
Soil	1945	0.025	0.485

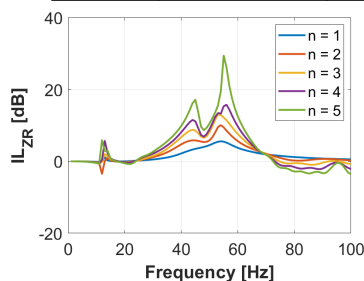


Fig. 3: Vertical insertion loss for $L = 1$ m walls.

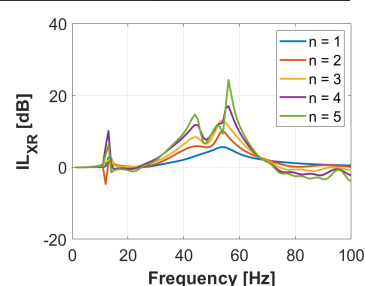


Fig. 4: Horizontal insertion loss for $L = 1$ m walls.

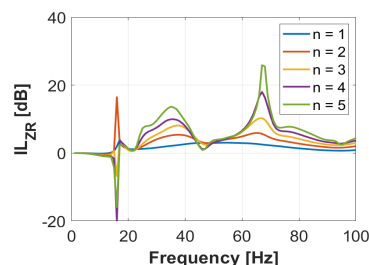


Fig. 5: Vertical insertion loss for $L = 2$ m walls.

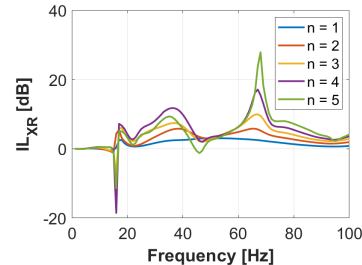


Fig. 6: Horizontal insertion loss for $L = 2$ m walls.

Conclusion

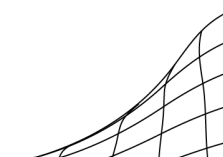
The results confirm that periodic surface walls can effectively attenuate ground vibrations, especially when excited by Rayleigh waves. The use of a coupled IBEM-FEM formulation enabled precise modeling of the soil-structure interaction. It was observed that increasing the number of walls intensifies insertion loss peaks, improving vibration attenuation in both vertical and horizontal directions. Moreover, changes in wall width directly influence the frequency range of attenuation, allowing for targeted vibration control. These findings highlight the potential of periodic structures as a passive mitigation strategy in geotechnical and seismic engineering.

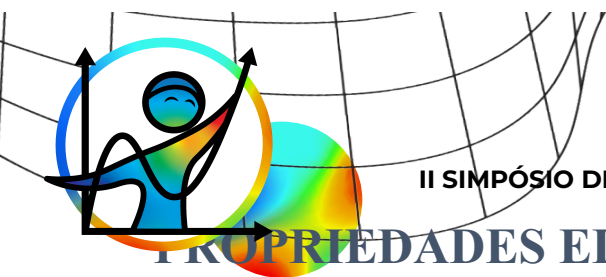
Acknowledgements

The research leading to this article has been funded by the São Paulo Research Foundation (Fapesp) through grant 2022/02753-5.

References

- ANDERSEN, Lars V.; PELOW, Andrew; BUCINSKAS, Paulius. Efficiency of nearly periodic structures for mitigation of ground vibration. In: *COMPDYN 2017—Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*. 2017.
- CARNEIRO, David; BARROS, Pérsio LA; LABAKI, Josué. Ground vibration attenuation performance of surface walls. *Computers and Geotechnics*, v. 149, p. 104715, 2022.





II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

PROPRIEDADES ELETRÔNICAS DE TRIPENTAFENOS RETANGULARES DOPADOS COM NITROGÊNIO

Lourdes Maria de Oliveira Santos (Acadêmica do Curso de Física da UFPI)

Eduardo Costa Girão (Orientador)

Email: 3b.lourdesmaria.23@gmail.com

Introdução

Nos últimos anos, o ramo da nanociência tem se desenvolvido substancialmente no mundo acadêmico, ganhando uma posição de destaque, sob a luz de grande interesse pela comunidade científica (Macêdo, et al, 2022; Kumar, Yadav, Prasad, 2023; Silva, et al, 2020; Silva, et al, 2022; Van Noorden, 2011; Vega, Saillard, 2007; Zeng, et al, 2020) e de altos investimentos pelas indústrias. As nanoestruturas apresentam aplicações em variadas áreas como medicina, eletrônica, ciência dos materiais, energia, aeroespacial, automotiva, ambiental e entre outros, uma vez que têm apresentado uma alta capacidade de otimizar processos nesses âmbitos.

O conhecimento existente acerca das nanoestruturas já nos proporciona técnicas e procedimentos, bem como a criação de equipamentos como o microscópio de varredura por tunelamento, para a manipulação, produção e estudo das mesmas. No entanto, é necessário que mais conhecimento seja produzido na área a fim de proporcionar uma produção efetiva, em larga escala, baixo custo e sustentável de nanomateriais, assim como utiliza-los em aplicações específicas, como nos circuitos presentes em chips, de modo que possam competir comercialmente com outros materiais dominantes no mercado global, como o silício.

Este trabalho tem como objetivo investigar alterações na estrutura eletrônica de um tripentafeno de rede retangular, alótropo do carbono bidimensional baseado na concatenação direta de moléculas de acepentaleno, mediante dopagens substitucionais com nitrogênio.

Metodologia

Para a investigação teórica e computacional das propriedades eletrônicas das estruturas estudadas, utilizamos o pacote computacional SIESTA. O programa é baseado na aplicação da teoria do funcional da densidade (Soler, et al, 2002), que por sua vez tem como alicerce os teoremas de Hohenberg-Kohn (Hohenberg, Kohn, 1964), que dão embasamento para tratar sistemas não homogêneos de elétrons através das equações de Kohn-Sham (Kohn, Sham, 1965), que resolvem o problema de muitos elétrons mediante a substituição equivalente por um conjunto de equações autoconsistentes de um elétron.

Troca e correlações foram tratadas com aproximações de gradiente generalizada. No cálculo da relaxação estrutural foi utilizada uma tolerância de força máxima de 0.01 eV/Ång e tolerância de estresse de 0.1 GPa.

Resultados e discussão

Inicialmente foram realizados cálculos de relaxação estrutural utilizando o pacote computacional SIESTA. Após a relaxação, percebeu-se a permanência dos padrões estruturais dos materiais, evidenciando a integralidade das nanoestruturas. Analisando as distâncias interatômicas dos sistemas relaxados na Fig. 1, nota-se uma proximidade com a distância da ligação carbono-carbono presente no grafeno de 1,42 angstroms. Para os sistemas dopados com nitrogênio, observamos distâncias de ligação geralmente menores que no caso puro. Isso é consistente com a natureza do dopante (nitrogênio), que tem um raio atômico menor que o do carbono.

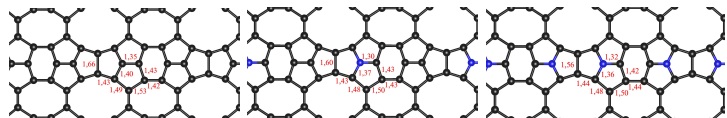


Fig. 1: Estrutura atômica do tripentafeno puro, dopado com um nitrogênio, com dois nitrogênio e as distâncias de ligação em angstrom. Fonte: De autoria própria.

Em seguida, plotamos os gráficos das bandas de energia juntamente com as densidades de estados (DOS), expostos na Fig. 2. Percebe-se que todas as nanoestruturas apresentam caráter metálico, uma vez que há níveis de energia cruzando o nível de Fermi nos gráficos de bandas. Quanto às densidades de estados, analisando mais especificamente no nível de Fermi, para o sistema puro, nota-se a presença de uma região de DOS constante, o que é compatível com a alta dispersão das bandas. Em relação ao sistema com um nitrogênio, observamos a existência de um pico intenso, resultante da baixa dispersão das bandas. Para o sistema de dois nitrogênios, avista-se uma pequena elevação da DOS, oriunda da sobreposição de diferentes bandas que cruzam o nível de Fermi. Dentre todos os sistemas, o que possui apenas um nitrogênio apresenta mais estados localizados.

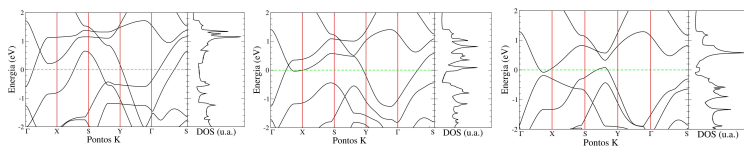


Fig. 2: Gráficos das bandas de energia em conjunto com a densidade de estados para o sistema puro, com um e dois nitrogênio inseridos. Fonte: De autoria própria.

Posteriormente, geramos as imagens das densidades de estados locais (LDOS) presentes na Fig. 3. Ao observar a LDOS do sistema puro, percebemos o espalhamento dos estados e sua maior presença na ligação do átomo central do tripentafeno com um de seus primeiros vizinhos (ao longo da direção do maior parâmetro de rede). No sistema com um nitrogênio, nota-se que não há formação de nuvens eletrônicas nas ligações químicas, característico de um estado mais localizado. Já no sistema com dois nitrogênios, observamos a DOS dispersa e mais incidente nos octôgonos.

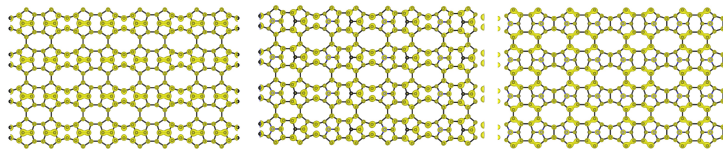


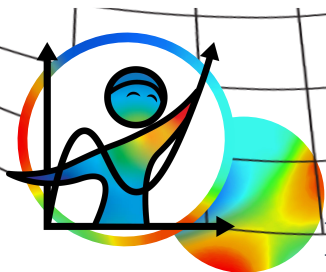
Fig. 3: Localização das densidades de estados para o sistema primitivo, com um e dois heteroátomos. Fonte: De autoria própria.

Conclusão

Os tripentafenos retangulares estudados apresentaram-se íntegros após a relaxação estrutural, com distâncias interatômicas próximas as do grafeno. Entretanto, as ligações C-N são encurtadas em relação ao caso C-C devido ao menor raio atômico do nitrogênio. Em relação às propriedades eletrônicas, todos os sistemas apresentaram um caráter metálico. O tripentafeno puro evidenciou bandas de energia mais dispersivas, com a DOS de comportamento constante no nível de Fermi e de maior presença nas ligações dos átomos centrais. O sistema dopado com dois nitrogênios também apresentou espalhamento nas bandas de energia, expondo uma pequena elevação da DOS, que concentrou-se nos octôgonos da estrutura. O tripentafeno dopado apenas com um nitrogênio mostrou baixa dispersão das bandas de energia com um pico da DOS no nível de Fermi e ausência de nuvens eletrônicas nas ligações químicas, provando ser o sistema mais localizado entre os estudados.

Referências

- Hohenberg, P.; Kohn, W., 1964, Inhomogeneous electron gas. *Physical Review*, v. 136, n. 3B, p. B864-B871.
- Kohn, W.; Sham, L. J., 1965, Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical Review*, v. 140, n. 4A, p. A1133-A1138.
- Kumar, S. M.; Yadav, R.; Prasad, T. S., 2023, Recent advances in nanotechnology, *International Journal of Nanomaterials, Nanotechnology and Nanomedicine*, v.9, Índia, n. 2, p. 15-23.
- Macêdo, L. E. et al, 2022, Electronic Properties of Carbon Sheets and Nanoribbons Based on Acepentalene-like Building Blocks. *Computational materials science*, v. 211, n. 111520.
- Silva, P. V. et al, 2020, Tripentaphenes: Two-Dimensional Acepentalene-Based Nanocarbon Allotropes. *Physical chemistry chemical physics: PCCP*, v. 22, n. 40, p. 23195-23226.
- Silva, P. V. et al, 2022, Electronic and magnetic properties of tripentaphene nanoribbons. *Physical Review Materials*, v. 6, n. 6.
- Soler, J. et al, 2002, The siesta method for ab initio order-n materials simulation. *Journal of physics: Condensed Matter*, v. 14, n. 11, p. 2745-2779.
- Van Noorden, R., 2011, The trials of new carbon. *Nature*, v. 469, London, n. 7328, p. 14-16.
- Vega, A.; Saillard, J. Y., 2007, Stabilization of Acepentalene by Coordination to Transition Metals: A DFT Investigation. *Inorganic chemistry*, v. 46, n. 8, p. 3295-3300.
- Zeng, T. et al, 2020, Acepentalene Membrane Sheet: A Metallic Two-Dimensional Carbon Allotrope with High Carrier Mobility for Lithium Ion Battery Anodes, *American Chemical Society*, v. 124, n. 11.



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Regulador de Fluxo Diafragma-Íris para Aplicação em uma Planta Didática de Levitação a Ar

João Marcos V. A. M. Silva; Douglas de Araújo França (Acadêmicos do Curso de Engenharia Elétrica UFPI)

Otacílio da Mota Almeida (Orientador)

Email: joaomarcossbj@ufpi.edu.br, douglasfranca@ufpi.edu.br, otacilio@ufpi.edu.br

Introdução

A engenharia necessita de experimentos práticos na formação de engenheiros, sendo essencial o estudo e prática em sistemas protótipos com problemas dinâmicos para modelagem e adequação matemática, garantindo a capacidade teórica e prática de tomada de decisões (Chacon et al., 2017). Nos cursos de engenharia elétrica, especialmente em controle e automação de sistemas dinâmicos, a experimentação conecta teoria e prática, e a construção de uma planta didática assegura essa conexão. A adição de uma planta de levitação a ar inspirada nos estudos de Chodowicz e Orłowski (2017) e Chacon et al. (2017), junto a um inédito regulador de fluxo para o Laboratório de Controle Digital da Universidade Federal do Piauí traz consigo uma abordagem diferente das empregadas no laboratório.

Túnel de Levitação com Íris

O funcionamento fluido e eficiente da planta depende da integração harmoniosa de seus componentes essenciais. A Figura 1 apresenta as parcelas fundamentais da planta, as quais são constituídas por um tubo cilíndrico de acrílico e a ventoinha. Na perspectiva eletrônica, é aplicado um microcontrolador em conjunto com placas e sensores. Desse modo, têm-se o WeMos D1 R32 responsável por todo o controle e comunicação com o computador e demais elementos da planta. Para velocidade da ventoinha, utiliza-se a ponte H L298, para medida a altura o sensor laser VL53L0X.



Figura 1: a) Modelo 3D da Planta de Levitação a Ar com Íris. b) Foto da planta real.

Uma adição discutida nesse artigo é um regulador de fluxo de ar inspirado no mecanismo diafragma-íris, como pode ser observado na Figura 2. A íris, assim referida nesse artigo, é regulada por um motor de passo Nema 17 no qual é controlado por um ESP32-WROOM-32 e ajustada pelo driver DRV8825. A fim de identificar a posição inicial da íris, utiliza-se um sensor de fim de percurso TCRT5000.

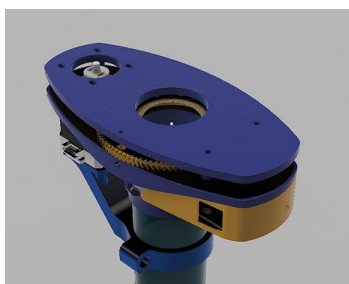


Figura 2: Regulador de fluxo por diafragma-íris.

A estratégia de comunicação adotada utiliza o módulo ESP32-WROOM-32 para comunicação wireless baseada no protocolo ESP-NOW e todo o esquema de comunicação e detalhe do funcionamento de como as placas e sensores se comunicam podem ser observadas na Figura 3.

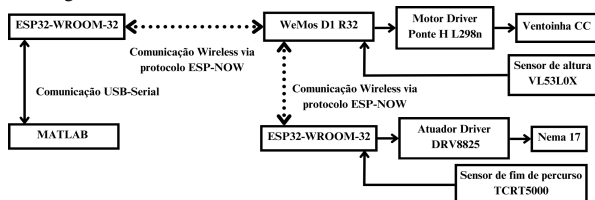


Figura 3: Esquema de comunicação do levitador a ar com regulador de fluxo.

Resultados e discussão

A adição do regulador de fluxo resultada na possibilidade de explorar diferentes configurações do túnel – como a cônica apresentada na Figura 4 – uma vez que o fluxo de ar pode ser alterado conforme o objeto é levitado trazendo uma nova dinâmica para a planta de controle.

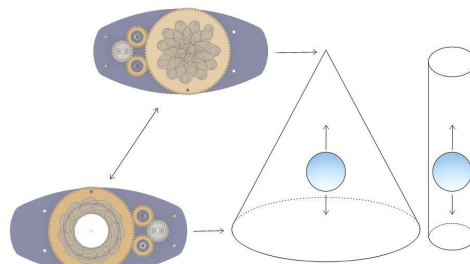


Figura 4: Ilustração da configuração do túnel em cone.

É possível também controlar a altura do objeto levitado somente pela íris ao fixar o valor de PWM da ventoinha e aplicar algoritmos de controle na íris. Desse modo, foi aplicado um PID clássico pelo método frequencial de Ziegler e Nichols (1942) e um controlador preditivo baseado em modelo, o Controlador Preditivo Generalizado (GPC) abordado por Camacho e Bordons (2004). Os resultados comparativos para os dois controladores atuando diretamente no regulador de fluxo pode ser observado na Figura 5 abaixo.

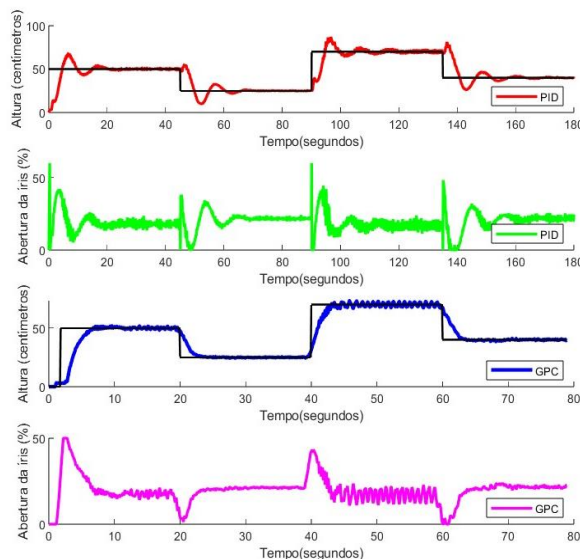


Figura 4: Saídas e variáveis de controle para quatro patamares dos controladores PID e GPC.

Conclusão

A exploração de novas tecnologias aplicadas ao controle de sistemas industriais possibilita a eficácia e aplicabilidade de técnicas de controle clássicas e avançadas em um modelo didático. Destaca-se a construção de um modelo educacional de baixo custo, sendo necessário aplicar novos métodos e tecnologias e melhorando a sua eficiência e reprodutibilidade.

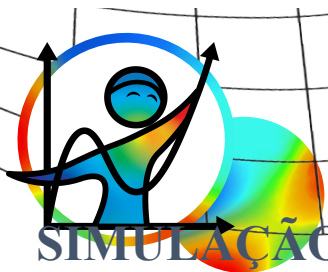
Agradecimentos

É de imensa gratidão o apoio do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica, aos membros Grupo de Automação e Sistemas Inteligentes – GRASI e à orientação do prof. Dr. Otacílio da Mota Almeida.

Referências

- CAMACHO, Eduardo F. et al. Constrained model predictive control. Springer London, 2007.
- CHODOWICZ, Ewelina; ORŁOWSKI, Przemysław. Low-cost air levitation laboratory stand using MATLAB/Simulink and Arduino. *Pomiary Automatyka Robotyka*, v. 21, 2017.
- CHACON, Jesus et al. Design of a low-cost air levitation system for teaching control engineering. *Sensors*, v. 17, n. 10, p. 2321, 2017.
- ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. Optimum settings for automatic controllers. *Journal of Fluids Engineering*, v. 64, p. 759-765, 11 1942.





II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

SIMULAÇÃO EM MATLAB DE CONTROLE PSICROMÉTRICO APLICADO A SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Álvaro Barreto da Silva (Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica IFPI)

Lucas Rodrigues Soares da Silva (Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica IFPI)

Email: alvarobarretosilva01@gmail.com, catce.2020111bemc0203@aluno.ifpi.edu.br

Introdução

A psicrometria, o ramo focado no estudo das propriedades físicas do ar úmido, é muito relevante para a engenharia de climatização. A psicrometria possibilita o estudo e o controle de variáveis psicrométricas básicas para manter o conforto térmico e a economia de energia em sistemas de ar condicionado. À medida que ambientes climatizados se tornam cada vez mais necessários em países tropicais e diante das questões e imprecisões associadas à leitura manual das cartas psicrométricas, a aplicação de simulação computacional aparece como uma alternativa avançada e precisa. Com base nesse raciocínio, este trabalho sugere o emprego do MATLAB para modelar e simular os processos de desumidificação e resfriamento, a fim de oferecer uma ferramenta intuitiva e estável para o controle de sistemas HVAC.

Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste em uma modelagem matemática em código computacional de dois tipos de sistemas de refrigeração, sendo um sistema de ar condicionado de verão com volume de ar variável e outro de volume de ar constante que fornece ar a três zonas. O intuito desta metodologia é analisar e obter os parâmetros de cada etapa dos sistemas de refrigeração a partir dos dados de entrada fornecidos. O software computacional utilizado foi o MATLAB.

Para a simulação foram estimados os parâmetros de entrada dos dois sistemas para simular o ambiente. A partir desses dados, serão calculados, para cada sistema, parâmetros como, a temperatura de bulbo seco, umidade absoluta, umidade relativa, temperatura de ponto de orvalho, volume específico, temperatura de bulbo úmido, viscosidade dinâmica, condutividade térmica e o calor específico de cada estado do sistema de resfriamento. Ademais, os valores e fluxo de massa que deixa a serpentina de resfriamento e a capacidade de resfriamento também são calculados pelo código. Para o sistema com volume de ar variável será calculado o fluxo de massa para cada ambiente e para cada ambiente será calculado o consumo das resistências de aquecimento. Por fim, será gerado a tabela psicrométrica com o comportamento dos estados do sistema.

Resultados e discussão

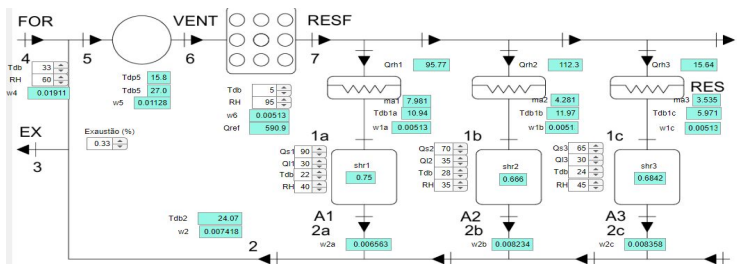


Fig. 1: Interface do sistema de volume constante. Referências: Autoria própria.

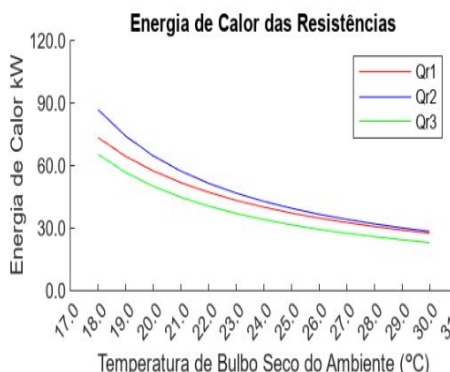


Fig. 2: Comportamento dos fluxos de energia de aquecimento em cada resistência. Referência: Autoria própria.

Na figura 1 é representada a interface do sistema de volume constante, pode-se observar de forma clara a aplicação prática do controle psicrométrico nos sistemas de climatização. Já na Figura 2, observa-se que o fluxo de energia nas resistências de aquecimento varia conforme a temperatura de cada zona. Quanto maior a temperatura de entrada do ambiente, menor a energia necessária para o aquecimento, evidenciando o ajuste eficiente do sistema para manter o conforto térmico com menor consumo energético.

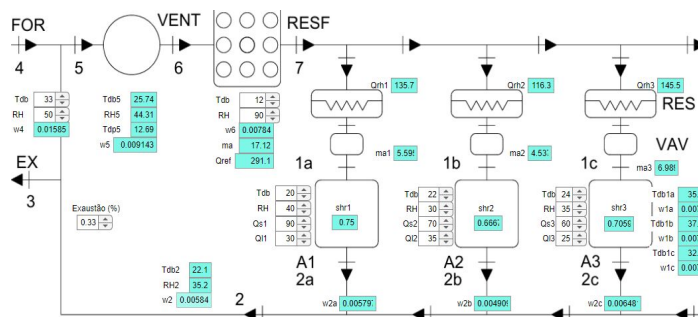


Fig. 3: Interface do sistema de volume de ar variável (VAV) para três ambientes. Referências: Autoria própria.

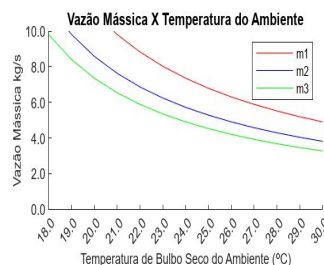


Fig. 4: Comportamento dos fluxos de ar no sistema com VAV em cada ambiente. Referência: Autoria própria.

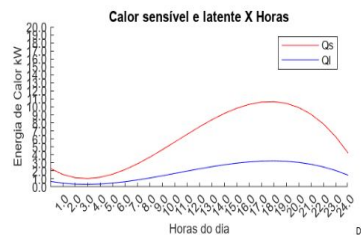


Fig. 5: Comportamento dos calores sensível e latente ao longo do dia com valores arbitrários utilizados apenas para fins de ilustração. Referência: Autoria própria.

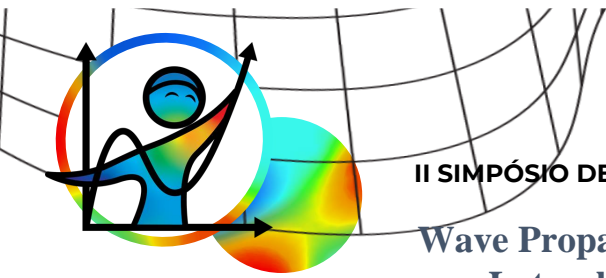
A interface do sistema de volume de ar variável (VAV) representada na figura 3, ressalta a capacidade de ajuste dinâmico da vazão de ar conforme as demandas específicas de cada ambiente. Por meio de uma disposição gráfica intuitiva, são apresentados os controles que regulam a taxa de fluxo, demonstrando a precisão do sistema na adaptação às variações térmicas. O gráfico da Figura 4 demonstra como o sistema VAV ajusta a vazão de ar fornecida para cada zona conforme a temperatura requisitada. A medida que a temperatura de conforto aumenta, observa-se uma redução na vazão, evidenciando a eficiência do controle proporcional aplicado. A Figura 5 apresenta a variação dos calores sensível e latente ao longo do dia, com valores arbitrários utilizados apenas para fins de ilustração. O gráfico permite visualizar a dinâmica da carga térmica total, representando como esses dois componentes influenciam o desempenho do sistema de climatização em diferentes horários.

Conclusão

Em conclusão, o desenvolvimento da interface em MATLAB para o controle psicrométrico de sistemas HVAC multi zonas representa um avanço significativo, ao transformar um processo complexo e suscetível a erros em uma ferramenta intuitiva e de rápida análise. Essa solução possibilita a avaliação em tempo real dos parâmetros do ar e contribui para a otimização do desempenho dos sistemas de refrigeração, promovendo não apenas maior conforto térmico, mas também uma redução nos custos operacionais e um passo importante rumo à sustentabilidade e automação nos projetos de climatização.

Referências

DA SILVA, Luis César. Psicrometria Aplicada à Armazenagem de Grãos. DE JESUS, Marcos Fábio. Francisco da Silva, Gabriel. 2002. Programa para estimativa das propriedades psicrométricas. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. GHIAUS, Christian. 2014. Linear algebra solution to psychrometric analysis of air-conditioning systems. Elsevier. NIHAL, E. Wikseunders., 2016. Principles of heating, ventilation and air conditioning with worked examples. World Scientific Publishing. WANG, Shengwei. SHAN, Kui. 2017. Energy efficient design and control of cleanroom environment control systems in subtropical regions - A comparative analysis and on-site validation. Elsevier.



II SIMCOMPI

II SIMPÓSIO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

Wave Propagation in Periodic Railway Tracks: Lateral and Vertical Bending Analysis

Isadora Rodrigues de Souza (Universidade Federal do Piauí)
Simone dos Santos Hoefel (Orientadora, Universidade Federal do Piauí)
Laboratório de Métodos de Modelagem Computacional (LAMEC)
Email: irs08902@gmail.com, simone.santos@ufpi.edu.br

Introduction

Vibrations in railway tracks, resulting from wheel-rail interactions, can lead to structural damage, passenger discomfort, and environmental disturbances. Periodic structures offer a promising solution by generating bandgaps - frequency ranges that inhibit wave propagation - which can be classified into two types: Bragg scattering bandgaps (BSBG) and local resonance bandgaps (LRBG).

This work analyzes a periodic rail track with uniformly spaced supports, using the Wave and Finite Element Method, which combines finite element modeling with Floquet-Bloch theory to analyze periodic structures. The influence of variations in sleeper spacing and pad stiffness on the attenuation of vertical and lateral bending waves is investigated through dispersion curves, which describe the correlation between angular frequency and propagation constants (DOS REIS; DE SOUZA; HOEFEL, 2024).

Methodology

Figure 1 shows a rail track segment supported by sleepers and rail pads. The infinite periodic rail is modeled as an Euler-Bernoulli beam on linear spring supports, where a is the unit cell length (lattice constant), and k_v and k_l represent the vertical and lateral stiffness, respectively, as shown in Fig. 2. The mass and damping of the rail pad are ignored. Also, effects such as shear and rotational inertia are neglected.

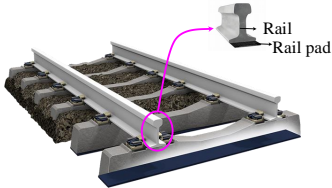


Fig. 1: Rail track with sleepers and rail pads. Fonte: Pandrol*

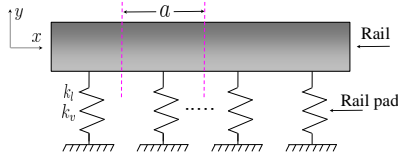


Fig. 2: Equivalent model of a periodic track structure.

The dynamic response of the substructure, assuming harmonic motion and negligible damping, is governed by the matrix equation:

$$\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M} \mathbf{q} = \mathbf{f},$$

where \mathbf{K} and \mathbf{M} are the stiffness and mass matrices, \mathbf{q} is the vector of degrees of freedom of the considered structure, and \mathbf{f} is the vector of nodal loads.

Applying the periodic Floquet-Bloch conditions to the degrees of freedom and forces at the boundaries of the unit cell:

$$\mathbf{q}_R = \mathbf{q}_L \lambda \quad \text{and} \quad \mathbf{f}_R = -\mathbf{f}_L \lambda,$$

with \mathbf{q}_L and \mathbf{q}_R are left/right boundary degrees of freedom, \mathbf{f}_L and \mathbf{f}_R the corresponding forces and $\lambda = e^{i\mu a}$ the Bloch (Floquet) propagator ($\mu = ka$: propagation constant, k : wavenumber).

The relationship between the degrees of freedom vectors is given by $\mathbf{q} = \Lambda \tilde{\mathbf{q}}$, where \mathbf{q} , $\tilde{\mathbf{q}}$ and the periodic transformation matrix Λ are defined as:

$$\mathbf{q} = [\mathbf{q}_L, \mathbf{q}_l, \mathbf{q}_R]^T, \quad \tilde{\mathbf{q}} = [\mathbf{q}_L, \mathbf{q}_l]^T, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & 0 & \lambda \mathbf{I} \\ 0 & \mathbf{I} & 0 \end{bmatrix}.$$

In the absence of external forces, the force equilibrium condition is expressed in matrix form as:

$$\Lambda^H \mathbf{f} = 0,$$

where Λ^H denotes the Hermitian transpose of the periodic transformation matrix Λ .

By substituting the Floquet-Bloch transformation into the dynamic equation: $D(\omega) \mathbf{q} = 0$, with $D(\omega) = \mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}$ yields:

$$\Lambda^H D(\omega) \Lambda \tilde{\mathbf{q}} = 0.$$

After some mathematical manipulations, this expression results in a quadratic eigenvalue problem of the following form:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{D}_{RL} & \mathbf{D}_{RI} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}}_{D_0(\omega)} + \lambda \underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{D}_{LL} + \mathbf{D}_{RR} & \mathbf{D}_{LI} \\ \mathbf{D}_{IL} & \mathbf{D}_{II} \end{pmatrix}}_{D_1(\omega)} + \lambda^2 \underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{D}_{LR} & 0 \\ \mathbf{D}_{RI} & 0 \end{pmatrix}}_{D_2(\omega)} \tilde{\mathbf{q}} = 0.$$

This approach enables the identification of propagating and evanescent modes, characterized respectively by the real and imaginary parts of the propagation constant.

*Disponível em: <https://images.app.goo.gl/iAAVYQ95y16rRKqk8>

Results and discussion

The transmission behavior of vertical and lateral bending waves is investigated in the track structure. The influence of unit cell length and pad stiffness on bandgap characteristics is analyzed. The rail parameters are defined as: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, $EI_{zz} = 6.4e6 \text{ m}^2$, $EI_{yy} = 1.07e6 \text{ m}^2$, while the rail pad parameters are: $k_v = 3.5e8 \text{ N/m}$ e $k_l = 0.5e8 \text{ N/m}$.

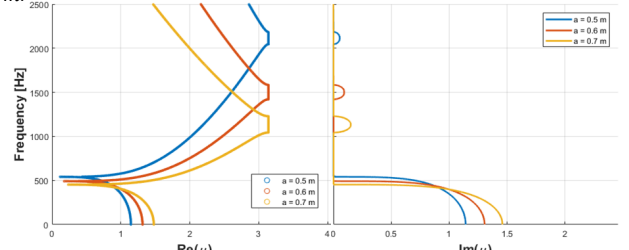


Fig. 3: Complex band structure for vertical bending waves.

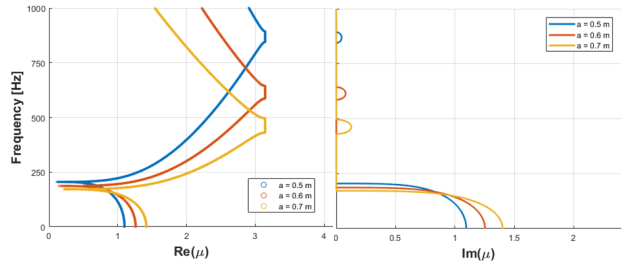


Fig. 4: Complex band structure for lateral bending waves.

Figures 3 and 4 respectively show the dispersion curves for vertical and lateral bending waves. For a lattice constant of 0.6 m, the results are in good agreement with those reported by Iqbal and Kumar (2024).

Table 1: Frequency range for vertical bending waves

a (m)	LRBG (Hz)	BSBG (Hz)
0.5	550.89	140.55
0.6	491.82	164
0.7	454.82	185.17

Table 2: Frequency range for lateral bending waves

a (m)	LRBG (Hz)	BSBG (Hz)
0.5	207.2	49.15
0.6	187.14	57.7
0.7	171.9	65.6

The complex band structures of vertical bending waves for different stiffness values is shown in Fig. 5.

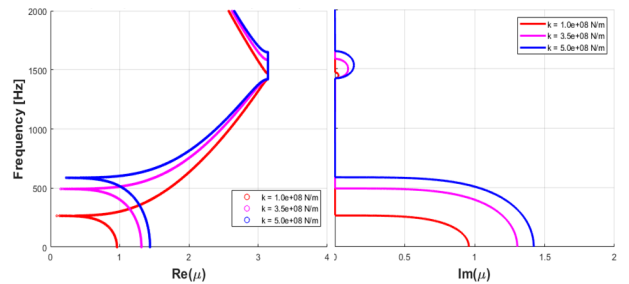


Fig. 5: Complex band structure of vertical bending waves for different pad stiffness values.

Conclusion

The results confirm that periodic rail tracks are effective in attenuating vertical and lateral bending waves through the formation of BSBG and LRBG. Parametric analyses showed that increasing the unit cell length shifts the BSBG to lower frequencies and reduces the width of the LRBG. In contrast, increasing the rail pad stiffness widens both band gaps and enhances attenuation performance.

References

IQBAL, Mohd; KUMAR, Anil. Analysis of bending waves and parametric influence on band gaps in periodic track structure. *Materials Today: Proceedings*, v. 113, p. 235-239, 2024.
DOS REIS, Jenario Souza; DE SOUZA, Isadora Rodrigues; HOEFEL, Simone. CONEM2024-1502 FLEXURAL WAVE PROPAGATION ANALYSIS OF A LOCALLY RESONANT BEAM.