



ARTIGOS TECNOLÓGICOS

ELECTROSFI: SIMULADOR ELETROMAGNÉTICO EM NUVEM COMPUTACIONAL



INSTITUTO FEDERAL
São Paulo

ELECTROSFÍ: SIMULADOR ELETROMAGNÉTICO EM NUVEM COMPUTACIONAL

Paulo H. V. Cândido, Guilherme M. Silva, Carlos N. Romão, Leonardo Domingos Luz,
Rafael J. S. Vieira, Carlos H. Silva Santos

Resumo: As tecnologias Web permitiram o desenvolvimento de softwares baseados em nuvem, flexibilizando e facilitando o acesso a recursos computacionais. Assim, este trabalho apresenta um simulador eletromagnético no modelo *Software as a Service* (SaaS) chamado ElectrosFI (acessível em <https://electrosfi.itp.ifsp.edu.br>) para aplicações de telecomunicações. São apresentados resultados de usabilidade deste SaaS por validação com usuários baseados em preceitos éticos, os quais executaram com sucesso simulações bidimensionais guiadas de dispositivos ópticos. A modelagem numérica foi implementada com a biblioteca Meep, desde a modelagem até a visualização dos resultados numéricos. Assim, obteve-se bons resultados de uso da ferramenta e que está em contínuo desenvolvimento colaborativo com a comunidade de interesse, inclusive com recursos de modelagem tridimensional.

Palavras-chave: Software as a Service; Simulador Eletromagnético; Telecomunicações; Meep; Usabilidade.

1. Introdução

O desenvolvimento de dispositivos ópticos é complexo devido à variedade de teorias, aplicações práticas e normas técnicas (BOGAERTS; FIERIS; DUMON, 2013), exigindo profissionais especializados e simuladores robustos (GALLINET; BUTET; MARTIN, 2015).

A aplicação de métodos numéricos aumenta essa complexidade, demandando elevado processamento e armazenamento de dados (SANTOS et al., 2010). Soluções comerciais como as da *Photon Design*, a suíte Lumerical e o Comsol Multiphysics ilustram essas demandas. Como alternativa, este trabalho propõe o *ElectrosFI*, uma interface Web para simulações ópticas 2D utilizando o método FDTD via a biblioteca MIT-Meep (OSKOOI et al., 2010), acessível em <https://electrosfi.itp.ifsp.edu.br>.

2. Computação em Nuvem e Simulação Numérica

A Computação em Nuvem possibilita modelos como IaaS, PaaS, SaaS e FaaS (WERNER; WEST-PHALL; WESTPHALL, 2017), permitindo flexibilidade e escalabilidade. No modelo SaaS, requisitos como escalabilidade, segurança e usabilidade são fundamentais (LAATIKAINEN; OJALA, 2014).

A arquitetura MVC que separa dados, interface e lógica de aplicação (VELASCO-ELIZONDO et al., 2017) facilita a integração com APIs e bibliotecas numéricas como Meep (OSKOOI et al., 2010) e NGSolve (SCHÖBERL, 2014).

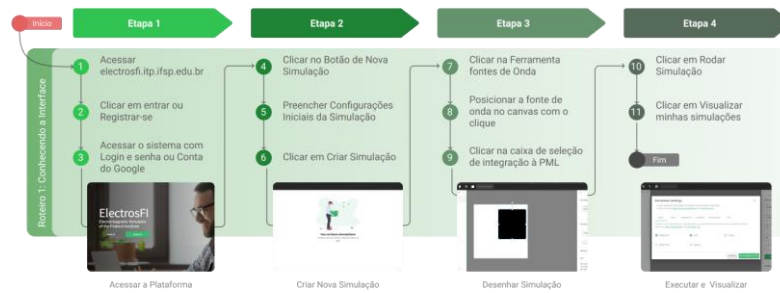
A experiência do usuário (UX) é igualmente essencial, sendo orientada pela disciplina de IHC para otimizar usabilidade e percepção (LOW-DERMILK, 2019). Técnicas como mapeamento de jornadas e uso de padrões de design (*User Interface Design Patterns* - UIDP) aprimoram a interação (KALBACH, 2019; CÂNDIDO; BUENO; SANTOS, 2019). Em sistemas complexos, como simuladores ópticos, a visualização clara dos resultados é crucial para democratizar o acesso às informações, mesmo para usuários sem conhecimento técnico profundo.

3. Metodologia e Desenvolvimento

O *ElectrosFI* foi desenvolvido com a arquitetura MVC, com comunicação assíncrona entre interface, backend e módulos numéricos. A plataforma integra três APIs, sendo a de autenticação baseada no Google Firebase. O backend utiliza Node.js e Python para maior flexibilidade.

A interface gráfica foi construída com Vue.js, proporcionando um fluxo de navegação dinâmico e atualizações em tempo real. A Figura 1 ilustra o roteiro inicial de interação.

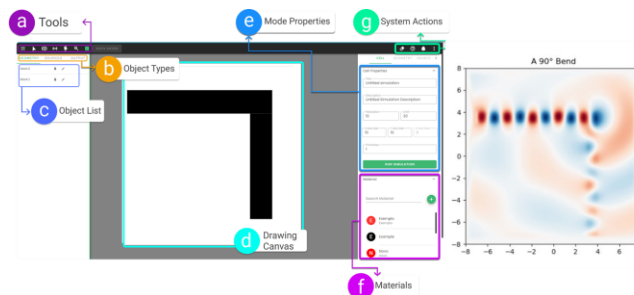
Figura 1 - Diagrama de atividade da navegação



Fonte: Autores, 2025.

A Figura 2 mostra a interface do sistema: (a) edição do domínio, (b) ferramentas de desenho, (c) lista de elementos, (d) *canvas* para desenho, (e) atributos dos elementos, (f) biblioteca de materiais e (g) suporte e compartilhamento.

Figura 2 - Interface do *ElectrosFI*: guia de ondas com dobra de 90°.



Fonte: Autores, 2025.

Foi conduzido um estudo com 11 profissionais de tecnologia para avaliar a interface e a usabilidade. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética.

4. Resultados

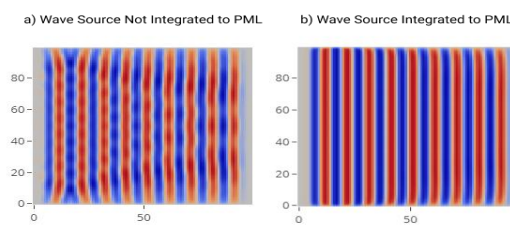
O *ElectrosFI* é um simulador eletromagnético em nuvem, modelado por meio de uma interface web. A literatura indica que poucos simuladores oferecem características semelhantes, com destaque para a ferramenta TiDy 3D, da *FlexCompute*, em. Esta ferramenta tem uma interface de modelagem 3D em expansão no *ElectrosFI*. O sistema permite a criação de geometrias, traçados, definição de materiais, cadastro de fontes eletromagnéticas e modelagem de materiais periódicos em 2D, com processamento pela biblioteca *Meep* (OSKOOI et al., 2010).

A validação do *ElectrosFI* foi realizada por meio de dois testes: primeiro pela reprodução de três exemplos do manual do *Meep* para comparar os resultados numéricos com os obtidos pela interface gráfica; em seguida avaliou-se a usabilidade da interface com usuários especialistas

com exploração livre.

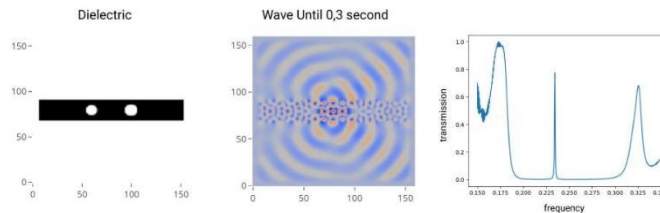
Nos experimentos de validação usuários modelaram um guia de onda com dois retângulos ortogonais para observar a propagação dos campos eletromagnéticos ao longo de um tempo definido (Figura 2), testaram condições de contorno com camadas de absorção eletromagnética (*Perfectly Matched Layers* - PML) para simular um espaço sem reflexões nas bordas (Figura 3) e modelaram cavidades com retângulos e circunferências de $0,36\ \mu\text{m}$, analisando a transmissão de sinais por um feixe gaussiano de $0,25\ \text{THz}$ (Figura 4).

Figura 3 - Simulações com e sem a aplicação de PML.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 4 - Simulação de guia com cavidades.

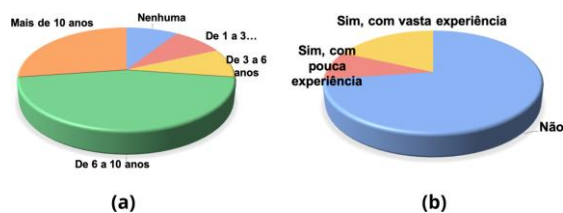


Fonte: Autores, 2025.

Os resultados dos testes confirmaram a fidelidade da interface do *ElectrosFI* com os exemplos do manual do *Meep*.

Foi conduzido um estudo de usabilidade com 11 especialistas, aplicando a Análise Heurística de Nielsen. A maioria tinha mais de seis anos de experiência em desenvolvimento de software (Figura 5(a)), entretanto poucos haviam utilizado simuladores de eletromagnetismo computacional, ressaltando a necessidade de interfaces mais intuitivas (Figura 5(b)).

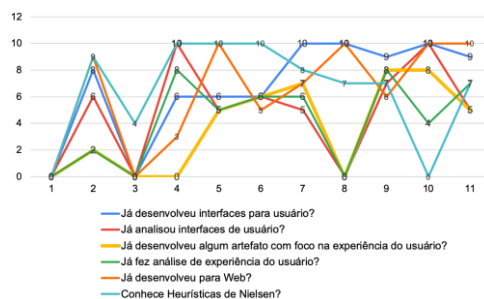
Figura 5 – (a) Experiência dos participantes com desenvolvimento/programação. (b) Contato com simuladores físicos.



Fonte: Autores, 2025.

A Figura 6 mostra que, embora todos os participantes tenham experiência com interfaces gráficas, poucos têm vivência em testes de usabilidade. A avaliação foi feita em uma escala Likert de 1 a 10, sendo 10 o nível máximo de familiaridade.

Figura 6 - Experiência dos participantes com UI/UX e desenvolvimento de interfaces.



Fonte: Autores, 2025.

Uma avaliação heurística baseada nas diretrizes de Nielsen foi realizada com o questionário de LodhiA (Lodhi, 2010). Conforme mostrado na Tabela 1, todas as heurísticas apresentaram média de aceitação acima de 60%, destacando-se a heurística VIII (design estético e minimalismo) com a maior média (8,91), enquanto a heurística X (ajuda e documentação) obteve a menor, apontando necessidade de aprimoramentos.

Tabela 1 - Resultados das Heurística de Nielsen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Média	D. Pad.
I	9	10	10	10	8	7	2	9	2	5	8	7,27	3,00
II	8	9	8	9	8	6	3	10	2	8	9	7,27	2,57
III	10	9	9	10	8	7	2	10	1	8	7	7,36	3,11
IV	8	8	9	9	10	9	2	10	9	8	10	8,36	2,25
V	8	9	6	7	10	6	4	9	1	2	10	6,55	3,11
VI	10	10	7	8	10	7	2	10	2	8	9	7,55	2,98
VII	6	10	9	9	8	7	4	6	2	8	8	7,00	2,37

VIII	1 0	1 0	8	1 0	1 0	9	4	1 0	7	1 0	1 0	8,91	1,92
IX	9	1 0	6	8	7	7	3	9	1	8	7	6,73	2,61
X	5	1 0	5	9	7	7	4	7	4	4	8	6,36	2,11
Média	8, 2	9 5	7 7	8 9	8 6	7 2	3 0	9 0	3 0	6, 9	8 6		
D.	1,	0	1	1	1,	1	0	1	2	2,	1		
Pad.	7	7	6	0	3	0	9	4	8	4	2		

Fonte: Autores, 2025.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e validação do *ElectrosFI*, um simulador SaaS para modelagem de dispositivos ópticos em telecomunicações. A validação numérica mostrou equivalência entre os resultados da interface e os exemplos do *Meep*, enquanto a avaliação de usabilidade indicou boa aceitação segundo as heurísticas de Nielsen. Conclui-se que o sistema está apto para uso prático por projetistas. Como futuros desenvolvimentos, destacam-se recursos colaborativos, integração de inteligência artificial para otimização de dispositivos e expansão para simulações 3D com Gmsh e NGSolve.

Referencias

- BOGAERTS, W.; FIERIS, M.; DUMON, P. **Design challenges in silicon photonics**. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, IEEE, v. 20, n. 4, p. 1–8, 2013.
- CÂNDIDO, P. H. V.; BUENO, D. C.; SANTOS, C. H. S. **Análise da utilização de framework front-end em sistema web adaptativo: um estudo da perspectiva do desenvolvedor**. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 7, n. 1, p. 31–54, 2019.
- GALLINET, B.; BUTET, J.; MARTIN, O. J. **Numerical methods for nanophotonics: standard problems and future challenges**. *Laser & Photonics Reviews*, Wiley Online Library, v. 9, n. 6, p. 577–603, 2015.
- KALBACH, J. **Mapeamento de Experiências: um guia para criar valor por meio de jornadas, blueprints e diagramas**. [S.l.]: Alta Books, 2019.
- LAATIKAINEN, G.; OJALA, A. **SaaS architecture and pricing models**. In: IEEE. *2014 IEEE International Conference on Services Computing*. [S.l.], 2014. p. 597–604.
- Lodhi, A. **Usability heuristics as an assessment parameter: For performing usability testing**. In: *2010 2nd International Conference on Software Technology and Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 2, p. V2–256–V2–259.
- LOWDERMILK, T. **Design Centrado no Usuário: um guia para o desenvolvimento de**

aplicativos amigáveis. [S.l.]: Novatec Editora, 2019.

OSKOOI, A. F. et al. **Meep: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the fdtd method**. *Computer Physics Communications*, Elsevier, v. 181, n. 3, p. 687–702, 2010.

SANTOS, C. H. d. S. et al. **Computação bio-inspirada e paralela para a análise de estruturas metamateriais em microondas e fotonica**. [sn], 2010.

SCHÖBERL, J. **C++11 implementation of finite elements in ngsolve**. *Institute of Analysis and Scientific Computing*, TU Wien, p. 1–23, 2014.

VELASCO-ELIZONDO, P. et al. **Towards detecting mvc architectural smells**. In: SPRINGER. *International Conference on Software Process Improvement*. [S.l.], 2017. p. 251–260.

WERNER, J.; WESTPHALL, C. M.; WESTPHALL, C. B. **Cloud identity management: A survey on privacy strategies**. *Computer Networks*, Elsevier, v. 122, p. 29–42, 2017.