

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Luiz Henrique Pinto Assunção

Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos

BELÉM – PARÁ

2021

Luiz Henrique Pinto Assunção

Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Victor Dmitriev

BELÉM – PARÁ
2021

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor,
Sistema de Bibliotecas da UFPA

ASSUNÇÃO, L. H. P.

Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos / Luiz Henrique Pinto Assunção. – Belém – Pará, 2021-
49p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Victor Dmitriev

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, 2021.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. 2. Palavra-chave03. I. Victor Dmitriev.
II. Universidade Federal do Pará. III. Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica.
IV. Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos
CDU 02:141:005.7

Luiz Henrique Pinto Assunção

Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos

Trabalho aprovado. Belém – Pará, 01 de junho de 2021:

Victor Dmitriev
Orientador

Nome do Professor Convidado 01
Convidado 1

Nome do Professor Convidado 02
Convidado 2

BELEM – PARÁ
2021

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Universidade Federal do Pará (UFPA).

EPÍGRAFE

*“O nitrogênio em nosso DNA, o cálcio em nossos dentes,
o ferro em nosso sangue, o carbono em nossas tortas de maçã...
Foram feitos no interior de estrelas em colapso,
agora mortas há muito tempo.
Nós somos poeira das estrelas.”
(Carl Sagan – COSMOS, 1980)*

RESUMO

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecedidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

Palavras-chave: latex. abntex. publication de textes.

ABSTRACT

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

Key words: latex. abntex. publication de textes.

ZUSAMMENFASSUNG

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecedidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

Schlüsselwörter: latex. abntex. publication de textes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fig. Area of the i^{th} component 30

456 Isto é um número

123 Isto é outro número

lauro cesar este é o meu nome

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Estado da Arte	27
1.2	Motivação	27
1.3	Objetivos	27
1.4	Materiais e Métodos	27
1.5	Organização do Trabalho	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	Nanofotônica	29
2.2	Dispositivos Fotônicos	29
2.2.1	Princípio de Funcionamento	29
2.3	Machine Learning	29
2.3.1	Redes Neurais Artificiais	29
2.3.2	Algoritmo de Aprendizagem	29
3	MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO PROPOSTO	31
3.1	Visão Geral	31
3.2	Descrição do Problema	32
3.3	Otimização por Aprendizado Profundo	32
3.3.1	Construção do Dataset	33
3.3.2	Rede Neural Profunda	33
3.3.3	Treinamento e Predição	33
3.3.4	Procedimento de Otimização	34
3.4	Aplicação em Cristal Fotônico 2D	34
3.4.1	Ressonador Dipolo	35
3.4.2	Ressonador Quadripolo	35
4	RESULTADOS	37
4.1	Objetivos	37
4.2	Organização do Trabalhos	37
4.3	Objetivos	37
4.4	Organização do Trabalhos	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
5.1	Conclusão	39

5.2	Trabalhos Atuais e Sugestões Para Trabalhos Futuros	39
	REFERÊNCIAS	41
6	GLOSSÁRIO	43
7	APÊNDICE	45
7.1	Apêndice A	45
7.2	Apêndice B	46
8	ANEXOS	47
8.1	Anexo A	47
8.2	Anexo B	48
9	ÍNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

A *nanofotônica* é um ramo da engenharia ótica que estuda o comportamento da luz em escala nanométrica. Compreender esses fenômenos óticos permite construir dispositivos a partir destes nesse contexto, há uma grande linha de pesquisa em dispositivos fotônicos para atuarem em circuitos puramente óticos.

1.1 Estado da Arte

Nesse contexto da otimização de dispositivos nanofotônicos, alguns estudos emergiram nos últimos anos com essa proposta.

1.2 Motivação

A inteligência artificial tem revolucionado muitos campos de estudo. Na engenharia,.

1.3 Objetivos

At vero eos et accusamus et iusto odio dignissimos ducimus qui blanditiis praesentium voluptatum deleniti atque corrupti quos dolores et quas molestias excepturi sint occaecati cupiditate non provident, similique sunt in culpa qui officia deserunt mollitia animi, id est laborum et dolorum fuga. Et harum quidem rerum facilis est et expedita distinctio. Nam libero tempore, cum soluta nobis est eligendi optio cumque nihil impedit quo minus id quod maxime placeat facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum hic tenetur a sapiente delectus, ut aut reiciendis voluptatibus maiores alias consequatur aut perferendis doloribus asperiores repellat.

1.4 Materiais e Métodos

Para o estudo proposto neste trabalho, .

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado como se segue. O Capítulo. Por fim, no Capítulo 5, as considerações finais desde trabalho. O leitor também poderá consultar os manuscritos dos cálculos de projeto no Apêndice.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nanofotônica

Parágrafo.

2.2 Dispositivos Fotônicos

Parágrafo.

2.2.1 Princípio de Funcionamento

Parágrafo.

2.3 Machine Learning

Parágrafo.

2.3.1 Redes Neurais Artificiais

Parágrafo.

2.3.2 Algoritmo de Aprendizagem

Parágrafo.

3 MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO PRO- POSTO

Aenean placerat. In vulputate urna eu arcu. Aliquam erat volutpat. Suspendisse potenti. Morbi mattis felis at nunc. Duis viverra diam non justo. In nisl. Nullam sit amet magna in magna gravida vehicula. Mauris tincidunt sem sed arcu. Nunc posuere. Nullam lectus justo, vulputate eget, mollis sed, tempor sed, magna. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam neque. Curabitur ligula sapien, pulvinar a, vestibulum quis, facilisis vel, sapien. Nullam eget nisl. Donec vitae arcu.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi gravida libero nec velit. Morbi scelerisque luctus velit. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Proin mattis lacinia justo. Vestibulum facilisis auctor urna. Aliquam in lorem sit amet leo accumsan lacinia. Integer rutrum, orci vestibulum ullamcorper ultricies, lacus quam ultricies odio, vitae placerat pede sem sit amet enim. Phasellus et lorem id felis nonummy placerat. Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Aenean vel massa quis mauris vehicula lacinia. Quisque tincidunt scelerisque libero. Maecenas libero. Etiam dictum tincidunt diam. Donec ipsum massa, ullamcorper in, auctor et, scelerisque sed, est. Suspendisse nisl. Sed convallis magna eu sem. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis, urna.

3.1 Visão Geral

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

Maecenas ipsum velit, consetetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

3.2 Descrição do Problema

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

3.3 Otimização por Aprendizado Profundo

Maecenas ipsum velit, consetetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit. Nullam feugiat, turpis

at pulvinar vulputate, erat libero tristique tellus, nec bibendum odio risus sit amet ante. Aliquam erat volutpat. Nunc auctor. Mauris pretium quam et urna. Fusce nibh. Duis risus. Curabitur sagittis hendrerit ante. Aliquam erat volutpat. Vestibulum erat nulla, ullamcorper nec, rutrum non, nonummy ac, erat. Duis condimentum augue id magna semper rutrum. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. Proin pede metus, vulputate nec, fermentum fringilla, vehicula vitae, justo. Fusce consectetur risus a nunc. Aliquam ornare wisi eu metus. Integer pellentesque quam vel velit. Duis pulvinar.

3.3.1 Construção do Dataset

Aenean placerat. In vulputate urna eu arcu. Aliquam erat volutpat. Suspendisse potenti. Morbi mattis felis at nunc. Duis viverra diam non justo. In nisl. Nullam sit amet magna in magna gravida vehicula. Mauris tincidunt sem sed arcu. Nunc posuere. Nullam lectus justo, vulputate eget, mollis sed, tempor sed, magna. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam neque. Curabitur ligula sapien, pulvinar a, vestibulum quis, facilisis vel, sapien. Nullam eget nisl. Donec vitae arcu.

3.3.2 Rede Neural Profunda

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

3.3.3 Treinamento e Predição

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi gravida libero nec velit. Morbi scelerisque luctus velit. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Proin mattis lacinia justo. Vestibulum facilisis auctor urna. Aliquam in lorem sit amet leo accumsan lacinia. Integer rutrum, orci vestibulum ullamcorper ultricies, lacus quam ultricies odio, vitae placerat pede sem sit amet enim. Phasellus et lorem id felis nonummy placerat. Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Aenean vel massa quis mauris vehicula lacinia. Quisque tincidunt scelerisque libero. Maecenas libero. Etiam dictum tincidunt diam. Donec ipsum massa, ullamcorper

in, auctor et, scelerisque sed, est. Suspendisse nisl. Sed convallis magna eu sem. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis, urna.

3.3.4 Procedimento de Otimização

Aenean placerat. In vulputate urna eu arcu. Aliquam erat volutpat. Suspendisse potenti. Morbi mattis felis at nunc. Duis viverra diam non justo. In nisl. Nullam sit amet magna in magna gravida vehicula. Mauris tincidunt sem sed arcu. Nunc posuere. Nullam lectus justo, vulputate eget, mollis sed, tempor sed, magna. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam neque. Curabitur ligula sapien, pulvinar a, vestibulum quis, facilisis vel, sapien. Nullam eget nisl. Donec vitae arcu.

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

3.4 Aplicação em Cristal Fotônico 2D

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

3.4.1 Ressonador Dipolo

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

3.4.2 Ressonador Quadripolo

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

4 RESULTADOS

4.1 Objetivos

vgvgvcfgc

4.2 Organização do Trabalhos

vghvygvgy

4.3 Objetivos

vgvgvcfgc

4.4 Organização do Trabalhos

vghvygvgy

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Neste trabalho de pesquisa, foi proposto um procedimento de otimização de dispositivos nanofotônicos com o uso algoritmos em *Machine Learning*.

5.2 Trabalhos Atuais e Sugestões Para Trabalhos Futuros

Dapibus gravida tristique sodales purus condimentum porttitor, aliquam vulputate condimentum donec sapien justo praesent, sociosqu pellentesque dictum eros auctor. odio amet sem pretium eros facilisis curabitur velit tempus sapien, sodales praesent rutrum interdum tincidunt habitant euismod augue, tristique vehicula tempus molestie at quisque erat potenti. lacinia pulvinar class dictumst suspendisse eget etiam, molestie lectus class aenean purus eros primis, quam purus lectus viverra est. ante eget pretium lacus torquent cras ullamcorper neque, elit platea diam nulla potenti class auctor lectus, tempor dapibus a justo aptent rhoncus. praesent aliquet purus felis nostra pellentesque odio quisque praesent porttitor, curae maecenas placerat nostra maecenas erat ac tristique, iaculis porttitor habitant aptent suscipit posuere accumsan curabitur.

Himenaes rutrum augue nec nunc vulputate senectus vel aptent blandit, curae pulvinar gravida enim condimentum pretium ante posuere vehicula, pellentesque ut dolor amet ante cras cubilia neque. laoreet aliquet rutrum eros mattis torquent curae habitasse, pulvinar turpis nulla convallis molestie netus tincidunt, habitant et ut integer inceptos massa. sapien etiam sed posuere viverra ullamcorper rutrum euismod, platea netus imperdiet ultrices feugiat lectus sit, cursus rutrum tincidunt mollis risus ligula. dui quisque sapien tellus curabitur proin lacus proin lorem, magna aliquam adipiscing dictum leo consequat nisl orci, etiam vitae mi eros augue mauris imperdiet.

REFERÊNCIAS

6 GLOSSÁRIO

7 APÊNDICE

7.1 Apêndice A

vgvgvcfgc

7.2 Apêndice B

vghvygvygvy

8 ANEXOS

8.1 Anexo A

vgvgvcfgc

8.2 Anexo B

vghvygvy

9 ÍNDICE