



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA IA E
APRENDIZADO DE MÁQUINA NO
MELHORAMENTO DE ENLACES DE FIBRA
ÓPTICA**

LAYANNE KELLY GOMES SANTOS

Orientador: Ewerton Romulo Silva Castro

Campina Grande, Setembro de 2023

©Layanne Kelly Gomes Santos

S237a Santos, Layanne Kelly Gomes

Análise da utilização da IA e aprendizado de máquina no melhoramento de enlaces de fibra óptica / Layanne Kelly Gomes Santos. - Campina Grande, 2023.

46f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia de Telemática) - Instituto Federal da Paraíba, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Ewerton Rômulo Silva Castro

1. Telemática - enlace óptico 2. Inteligência artificial 3. Aprendizagem de máquina I. Castro, Ewerton Rômulo Silva II. Título.

CDU 004.7



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Cursos Superior de Tecnologia em Telemática

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA IA E APRENDIZADO DE MÁQUINA NO MELHORAMENTO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA

LAYANNE KELLY GOMES SANTOS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Telemática do IFPB - Campus
Campina Grande, como requisito parcial
para conclusão do curso de Tecnologia em
Telemática.

Orientador: Ewerton Romulo Silva Castro

Campina Grande, Dezembro de 2023

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA IA E APRENDIZADO DE MÁQUINA NO MELHORAMENTO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA

LAYANNE KELLY GOMES SANTOS

Ewerton Romulo Silva Castro

David Candeia Medeiros Maia

Katysco de Farias Santos

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Dezembro/2023

Quero dedicar este trabalho de conclusão de curso à minha família e amigos, pois o amor, apoio e dedicação deles foram pilares fundamentais ao longo da minha jornada acadêmica. Expresso minha gratidão à família e amigos pela compreensão nos momentos de dedicação intensa e pelas palavras de incentivo que sempre me impulsionaram. Agradeço também aos meus professores pela orientação valiosa e inspiração constante. Este trabalho simboliza o resultado do esforço conjunto de todos que confiaram em mim.

As mulheres pertencem a todos os lugares onde decisões são tomadas
Ruth Bader Ginsburg

Agradecimentos

Gostaria de expressar meu sincero agradecimento a todos que contribuíram para a concretização desta monografia. Este trabalho representa uma colaboração valiosa de diversas pessoas que, de maneiras distintas, deixaram uma marca positiva em minha trajetória acadêmica.

Em primeiro lugar, manifesto minha gratidão ao meu orientador Ewerton Romulo Silva Castro. Sua dedicação, orientação e perspicácia foram elementos cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. A paciência e experiência compartilhada foram fontes inestimáveis de aprendizado.

À minha família, especialmente aos meus pais, expresso meu agradecimento pelo amor incondicional, encorajamento constante e pelos sacrifícios que tornaram possível minha jornada acadêmica.

Aos amigos e colegas que compartilharam ideias, experiências e desafios ao longo deste percurso, meu sincero reconhecimento. Suas contribuições não apenas enriqueceram este trabalho, mas também moldaram minha formação como estudante e indivíduo.

Agradeço também aos professores e profissionais que, durante o curso, compartilharam conhecimento e proporcionaram um ambiente propício ao aprendizado.

Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia - IFPB que apoiou este trabalho, seja por meio de recursos, infraestrutura ou oportunidades de desenvolvimento, meu profundo reconhecimento.

Por último, dedico um agradecimento especial a todas as fontes de inspiração que permearam este trabalho, sejam autores, pesquisadores ou figuras que influenciaram meu pensamento.

Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental nesta jornada acadêmica, e é com profunda gratidão que expresso meu reconhecimento por fazerem parte deste percurso.

Resumo

A comunicação por meio de enlaces ópticos desempenha um papel fundamental em várias áreas, como telecomunicações, redes de computadores e transmissão de dados. No entanto, a atenuação do sinal óptico é um desafio significativo que afeta a qualidade e a eficiência da transmissão. Com o avanço da tecnologia, a inteligência artificial (IA) e aprendizagem de máquina emergiram como ferramentas promissoras para lidar com esse problema. Esta revisão sistemática tem como objetivo examinar o uso da inteligência artificial para aperfeiçoar a atenuação em enlaces ópticos. A pesquisa foi conduzida em várias bases de dados acadêmicas e resultou na seleção de um conjunto relevante de estudos publicados nos últimos anos. Os resultados desta revisão indicam que a inteligência artificial tem sido aplicada de diferentes maneiras para melhorar a atenuação em enlaces ópticos. Uma das abordagens mais comuns é o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para prever e compensar a atenuação óptica em tempo real. Esses algoritmos analisam os dados do enlace óptico e ajustam automaticamente os parâmetros para otimizar o desempenho.

Palavras-chave: Projetos de Enlace, Fibra Óptica, Inteligência Artificial, Aprendizagem de Máquina.

Abstract

Communication via optical links plays a key role in various areas, such as telecommunications, computer networks and data transmission. However, optical signal attenuation is a significant challenge that affects transmission quality and efficiency. With the advancement of technology, artificial intelligence (AI) and machine learning have emerged as promising tools to deal with this problem. This systematic review aims to examine the use of artificial intelligence to improve attenuation in optical links. The search was conducted in various academic databases and resulted in the selection of a relevant set of studies published in recent years. The results of this review indicate that artificial intelligence has been applied in different ways to improve attenuation in optical links. One of the most common approaches is the use of machine learning algorithms to predict and compensate for optical attenuation in real time. These algorithms analyze optical link data and automatically adjust parameters to optimize performance.

Keywords: Link Projects, Fiber Optics, Artificial Intelligence, Machine Learning.

Sumário

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Organização do Documento	3
2 Fundamentação Teórica	4
2.1 Introdução histórica: comunicação usando a luz	4
2.2 Principais meios utilizados na comunicação digital	5
2.2.1 Comunicação via cabos	5
2.2.2 Comunicação sem fio	5
2.2.3 Comunicação óptica	6
2.2.4 Comunicação digital	6
2.3 Uso atual da fibra óptica	7
2.4 Projeto de enlace	7
2.5 Inteligência artificial	8
2.6 História do uso da inteligência artificial	8
2.7 O que é aprendizagem de máquina?	9
2.8 Redes neurais artificiais	10
3 Metodologia	12
3.1 Metodologia	12
3.2 Etapas da revisão sistemática	12
3.2.1 Formular uma questão de investigação	13
3.2.2 Produzir um protocolo de investigação	14
3.2.3 Definir critérios de inclusão e de exclusão	15
3.2.4 Seleção dos estudos	16

3.2.5	Extração dos dados nos artigos selecionados	17
3.2.6	Análise dos resultados	17
3.3	Etapas da pesquisa bibliográfica	17
3.3.1	Fichamento dos artigos selecionados	18
3.3.2	Análise e interpretação	18
4	Resultados	19
4.1	Artigos encontrados	19
4.2	Artigos selecionados	20
5	Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros	30
5.1	Considerações Finais	30
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	31
	Referências Bibliográficas	32

Lista de Figuras

- 2.1 Interpolação de canais 5
- 2.2 Enlace óptico 7
- 2.3 Estrutura do córtex humano. 10
- 2.4 Rede neural artificial. 11

Lista de Tabelas

3.1	Palavras para strings de busca	15
3.2	String de Busca e Componentes	15
3.3	Critérios de inclusão	16
3.4	Critérios de Exclusão	16
4.1	Resultados da Busca	19
4.2	Publicações selecionadas - parte I.	20
4.3	Publicações selecionadas - parte II.	21
4.4	Inteligência Artificial na Otimização de Projetos de Enlaces de Fibra Óptica	22
4.5	Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring	23
4.6	Optical Performance Monitoring in Fiber-Optic Networks Enabled by Machine Learning Techniques	24
4.7	Machine learning for optical fiber communication systems: An introduction and overview	24
4.8	Automated training dataset collection system design for machine learning application in optical networks: an example of quality of transmission estimation	25
4.9	Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey	26
4.10	Machine Learning Techniques in Radio-over-Fiber Systems and Networks . .	27
4.11	Harnessing Machine Learning for Fiber-Induced Nonlinearity Mitigation in Long-Haul Coherent Optical OFDM	28

Capítulo 1

Introdução

À medida que surgem novas tecnologias, como a internet das coisas do inglês, *Internet of Things-IoT* e o *BigData*, há uma elevação nas taxas de transmissão, exigindo uma tecnologia capaz de suprir essa necessidade. Nesse contexto, a melhor opção atualmente é a fibra óptica, tanto por alcançar altas taxas de transmissão, como também pela confiabilidade, segurança e até mesmo sua infraestrutura (CARVALHO, 2014). Contudo, as várias vantagens da fibra óptica não a isenta de falhas, como é o caso das distorções de informação transmitida causadas por fenômenos ópticos¹, que podem comprometer a qualidade da transmissão (KEISER; GODOY, 2014).

Para isso, a inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina (AM) tem se mostrado ferramentas poderosas na solução de problemas em diversas áreas, inclusive na atenuação em cabos de fibra óptica. Ambas estão interligadas, visto que a aprendizagem de máquina é uma subárea da IA, se concentrando em desenvolver algoritmos e técnicas que permitem aos computadores aprender com dados e melhorar seu desempenho em tarefas sem serem explicitamente programados. A IA teve seu início após a Segunda Guerra Mundial e, desde então, vem atuando em diversos campos, realizando operações semelhantes a tomadas de decisão e aprendizagem humana (MATA *et al.*, 2018). Desse modo, a ambas contribuem para minimizar distorções nos projetos de enlace, também chamados de *links ópticos*, tratando variáveis e analisando recursos para melhorar o tempo na formulação e instalação de um link.

Com isso, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa proceder uma revisão e análise sistemática sobre a relação entre inteligência artificial, aprendizado de máquina e fibra óptica, mais precisamente entender como essas tecnologias podem contribuir nas atenuações e distorções que podem acontecer na fibra óptica. E ainda, catalogar uma base de artigos científicos sobre o tema a fim de aumentar o conhecimento intelectual utilizando o conhecimento coletivo, permitir o conhecimento de novos recursos para o desenvolvimento de estudos específicos bem como ajudar a propor temas, problemas, metodologias para pesquisas, entre outros (GALVÃO, 2010).

¹Fenômeno óptico é qualquer evento que resulte da interação entre luz e matéria.

1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho

Os enlaces de fibra óptica desempenham um papel fundamental na transmissão de dados em alta velocidade, sendo amplamente empregados em redes de telecomunicações e transmissões de dados em larga escala. Com o rápido crescimento da demanda por conectividade e desempenho cada vez mais eficiente, as redes de fibra óptica se tornaram a espinha dorsal da infraestrutura digital global. No entanto, essas redes são suscetíveis a vários problemas, como a atenuação e degradação do sinal requerendo uma manutenção complexa.

Nesse contexto, a IA e a AM oferecem a capacidade de otimizar e aprimorar significativamente a gestão e manutenção desses enlaces. Através da análise de dados em tempo real e da previsão de falhas potenciais, essas tecnologias permitem a detecção precoce de problemas, o que resulta em uma maior confiabilidade da infraestrutura de comunicação e na redução de custos de manutenção.

Assim, a relevância desse trabalho é destacada pela sua capacidade de promover o diálogo e o conhecimento sobre as melhorias substanciais na qualidade e disponibilidade para enlaces ópticos, ao utilizar a IA e o AM para oferecer conexões mais estáveis e rápidas aos usuários finais, melhorar a conectividade em regiões remotas e aprimorar a disponibilidade das redes, bem como, realizar um levantamento bibliográfico acerca do tema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é investigar por meio de fontes bibliográficas selecionadas a utilização da Inteligência Artificial (IA) e do Aprendizado de Máquina como ferramentas para o aprimoramento de enlaces de fibra óptica, visando melhorar o desempenho, a confiabilidade e a eficiência das redes de comunicação óptica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar as principais técnicas e algoritmos de IA e Aprendizado de Máquina que têm sido aplicados em problemas relacionados à otimização e manutenção de enlaces de fibra óptica, utilizando as fontes e referências relevantes sobre o tema;
- Contribuir para o avanço do conhecimento na área de telecomunicações, fornecendo *insights* valiosos sobre como a IA e o Aprendizado de Máquina podem ser aplicados para enfrentar desafios específicos relacionados à fibra óptica;
- Indicar fontes atuais acerca do tema proposto;
- Identificar fontes de dados e referências relevantes;
- Identificar lacunas no conhecimento.

1.3 Organização do Documento

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está organizado da seguinte maneira: O Capítulo 2 descreve toda metodologia que foi utilizada para a elaboração do mesmo, sendo dividida em tópicos e subtópicos. Seguindo temos o Capítulo 3, que foca na fundamentação teórica do trabalho, contendo 6 títulos para auxiliar no entendimento do tema. Em seguida temos o Capítulo 4 com os resultados finais, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. E por fim as referências utilizadas para a elaboração deste trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução histórica: comunicação usando a luz

As primeiras formas de comunicação usando a luz surgiu em meados do século XIII a.C, onde era usado o fogo como forma de avisar a chegada de exércitos inimigos, ou até mesmo o uso de faróis para marcar costas perigosas para navios antigos, como é o caso do Tévenec Lighthouse na França (MAGNANI; PISTOCCHI, 2017). Esses eventos foram a introdução para o sistema de retransmissão, em alguns casos as torres ficavam espalhadas por centenas de quilômetros e um aviso poderia ser retransmitido, cada torre só precisaria estar na linha de visão uma da outra, e a luz poderia ser guiada em torno de obstáculos como montanhas.

Ao longo da história, a comunicação por meio de sinais foi uma das formas mais antigas de se transmitir mensagens para pessoas ou grupos distantes. Com o passar dos anos, o homem descobriu e criou várias outras formas de se comunicar, culminando em sociedades mais organizadas e um conhecimento mais avançado. Desde os gregos até a Idade Moderna, o homem evoluiu na forma de se comunicar, dominando técnicas cada vez mais complexas e eficazes (GONCALVES, 2016).

Se considerarmos a comunicação óptica em um contexto mais amplo, podemos observar que o uso da luz com fins de comunicação remonta a tempos antigos. Ao longo da história, muitas civilizações utilizaram métodos como espelhos, fogueiras ou sinais de fumaça para transmitir informações simples, como a notícia de uma vitória em uma batalha. De fato, essa ideia fundamental persistiu até o final do século XVIII, quando eram empregadas lâmpadas, bandeiras e outros dispositivos de sinalização visual para o mesmo propósito. (AGRAWAL, 2014)

Com o conhecimento em como transmitir informações foi uma questão de tempo até que as mesmas fossem transmitidas de forma mecânica, de um ponto a outro, e até mesmo usando decodificação. Os estudos envolvendo a fibra óptica iniciam em meados do século XIX quando o físico inglês Jonh Tyndall realiza experimentos com feixes de luz, provando que a luz era algo inflexível e retilíneo, que seguia em linha reta sem se desviar do seu trajeto, sua experiência consistia em utilizar uma lanterna dentro de um recipiente opaco com água,

para provar que a luz poderia fazer curvas. (TRONCO, 2007) Esse princípio de guiamento de luz foi uma descoberta revolucionária, porém ele só teve o reconhecimento da mesma cerca de 100 anos depois quando foi utilizado para a criação da tecnologia de fibra óptica.

2.2 Principais meios utilizados na comunicação digital

Os principais meios de comunicação digital na sociedade contemporânea incluem o meio cabeado, que utiliza cabos de par trançado e elétrons para transmitir informações; o meio óptico, que emprega fibras ópticas e faz uso de luz ou fótons para o tráfego de dados; e a comunicação sem fio, utilizando tecnologia wireless que emprega ondas eletromagnéticas para modular a transmissão. Cada um desses meios possui benefícios distintos e limitações, sendo comparáveis entre si.

2.2.1 Comunicação via cabos

A transmissão por cabo predominantemente utiliza cabos de par trançado, sendo os tipos mais comuns o UTP e o STP. A principal diferença entre eles reside na presença de blindagem adicional contra interferências no STP (TORRES, 2010). Esses cabos alcançam velocidades de transmissão de até 10 Gbps. No entanto, eles apresentam limitações, como a suscetibilidade a interferências eletromagnéticas, que podem corromper os dados no destino, e uma restrição de comprimento, com cada cabo atingindo até 100 metros.

2.2.2 Comunicação sem fio

A comunicação sem fio refere-se à transmissão de dados entre dispositivos sem a necessidade de conexões físicas por meio de cabos. Essa forma de comunicação utiliza ondas eletromagnéticas para transferir informações, proporcionando mobilidade e flexibilidade em diversos contextos. As redes sem fio utilizam três tipos de emissores: laser, infravermelho e micro-ondas, sendo este último capaz de alcançar até 70 km. No entanto, sua eficácia é limitada devido a diversos obstáculos que podem reduzir a distância de comunicação, como paredes, baixa taxa de transferência, interferências de rádio transmissão, conforme ilustrado na Figura 3.1, e preocupações com a segurança.

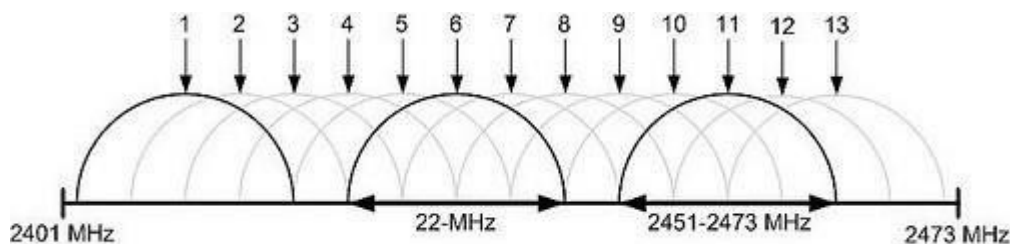


Figura 2.1: Interpolação de canais

2.2.3 Comunicação óptica

A comunicação óptica é uma tecnologia que utiliza luz como meio para transmitir dados entre dispositivos. Nesse contexto, a luz é modulada para representar informações digitais e transmitida através de meios ópticos, como fibras ópticas. Esse método oferece várias vantagens em comparação com outras formas de comunicação.

Atualmente, as comunicações digitais encontram na tecnologia óptica o meio mais robusto, beneficiando-se de sua notável imunidade a interferências eletromagnéticas, capacidade superior de transmissão de dados e comprimento vantajoso em comparação com outros meios. No entanto, é importante reconhecer que, apesar dessas vantagens, a comunicação óptica enfrenta desafios, especialmente relacionados a fenômenos ópticos que podem distorcer as informações transmitidas pela fibra, caso não sejam adequadamente corrigidos.

2.2.4 Comunicação digital

A comunicação é algo fundamental para o desenvolvimento humano e a indústria sempre até os dias de hoje, tenta formular técnicas onde a sociedade possa se comunicar a longas distâncias e em tempo real, um exemplo desse desenvolvimento, é o telefone fonte (WU, 2011). Com o advento das redes de computadores, surgiu uma oportunidade para a transferência de dados por meio de um novo canal de comunicação que se estabeleceria ao longo dos anos (MORAES, 2010). Essa solução envolve o transporte de dados por cabos de par trançado, utilizando sinais elétricos e realizando conversão digital na entrada e saída do sistema de comunicação (MARIN, 2014).

No entanto, foi observado que esse método apresentava limitações devido às características físicas inerentes ao meio utilizado, como o alcance limitado devido à atenuação do sinal, exigindo repetidores ao longo do canal, e uma baixa largura de banda (SOUSA, 2009). A crescente demanda por uma transmissão de qualidade e a diversidade de dados transmitidos atualmente exigem um sistema mais robusto.

O interesse por comunicações digitais remonta a períodos anteriores à Segunda Guerra Mundial, com aplicações militares. Desde então, pesquisadores têm dedicado esforços para implementar sistemas ópticos de comunicação devido à menor atenuação e à maior largura de banda em comparação com sistemas cabeados tradicionais (CARVALHO, 2014). Com avanços nos estudos de óptica, percebeu-se que a luz poderia ser guiada por meio de materiais como vidro e plástico, pois a física clássica descrevia a luz como ondas eletromagnéticas, apoiada nas equações de Maxwell (RIBEIRO, 2009). No entanto, com o advento da física quântica (HEWITT, 2009), que descreve a dualidade da luz como onda e partícula (KEISER; GODOY, 2014), a compreensão da física da luz foi revista. O estudo da partícula fóton subsidiou a criação do que hoje conhecemos como comunicações ópticas ou enlace óptico via fibras de sílica, popularmente conhecidas como fibras ópticas.

A comunicação óptica consiste em um emissor, meio e receptor, representando os três elementos clássicos da comunicação. O emissor é um diodo semicondutor que transmite o

sinal luminoso, o meio é a fibra de sílica composta por dióxido de silício, e o receptor é um fotodetector (RIBEIRO, 2009), que converte os fótons em sinal elétrico para os dispositivos eletrônicos, como computadores.

Atualmente, existem dois tipos principais de fibras ópticas, monomodo e multimodo, diferenciadas pelo diâmetro das fibras e pela geometria óptica do feixe de luz incidente. A monomodo tem a vantagem de alcançar maiores distâncias em um enlace em comparação com a multimodo.

2.3 Uso atual da fibra óptica

Atualmente a fibra óptica é usada em diversos setores sendo considerada uma das tecnologias mais importantes da era moderna devido à sua capacidade de transmitir dados em altíssima velocidade e em grandes distâncias. Na área de telecomunicações a fibra óptica é usada para a transmissão de dados em redes de telefonia fixa e móvel, internet de alta velocidade, televisão por assinatura, videoconferências, entre outros. (TRONCO, 2007)

A medicina também se beneficia da fibra óptica, pois essa tecnologia é utilizada em procedimentos endoscópicos para visualizar internamente o corpo humano. Já a indústria de energia a utiliza para monitorar e controlar remotamente sistemas de produção e transmissão de energia elétrica.

Em resumo, a fibra óptica é uma tecnologia amplamente utilizada e muito versátil nos dias de hoje, desempenhando um papel fundamental em diversos setores da sociedade moderna.

2.4 Projeto de enlace

Um enlace óptico consiste de um transmissor que converte uma entrada elétrica para uma saída óptica, além disso é composto por um LED ou por um laser a depender do tipo de projeto que será feito. A luz do transmissor é acoplada à fibra óptica através de um conector, e assim o sinal luminoso percorre toda a fibra, como ilustra a figura abaixo:

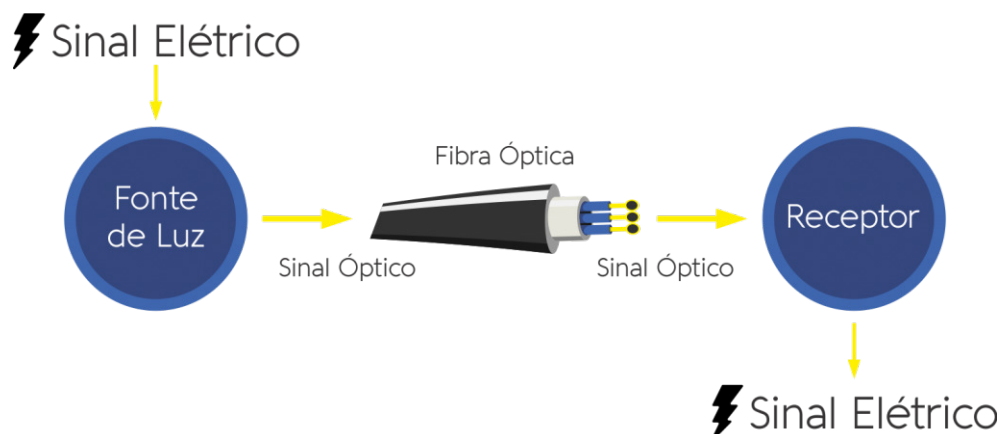


Figura 2.2: *Enlace óptico*

Quando a luz chega ao final do receptor há um detector PIN ou APD, onde o PIN é um tipo de fotodetector, ou seja, um dispositivo que converte a luz em sinal elétrico, o APD segue o mesmo princípio que o PIN convertendo a luz em corrente elétrica., porém sendo mais sensível detectando sinais de luz mais fracos. O bom desempenho do enlace depende do sinal obtido no receptor em relação ao sinal na entrada do receptor, ou seja, se o sinal recebido é semelhante ou idêntico ao sinal de entrada, então a performance do enlace óptico é considerada boa.

De forma geral, a capacidade de um sistema de transmissão óptica é determinada pela potência óptica do sinal transmitido, a qualidade dos componentes utilizados no receptor e a qualidade do meio de transmissão. O meio de transmissão é um elemento decisivo pois a atenuação da luz ao longo da fibra óptica pode limitar a distância de transmissão e a qualidade do sinal.

2.5 Inteligência artificial

Conforme afirmado por Fernandes (2003), a origem da expressão 'Inteligência Artificial' remonta ao latim, em que 'intelligere' é desmembrado em 'inter' entre e 'legere' escolher. Isso sugere que inteligência se refere à capacidade humana de fazer escolhas entre alternativas, sendo essencialmente a maneira pela qual os seres humanos resolvem problemas e executam tarefas. Portanto, a inteligência artificial pode ser conceituada como uma forma de inteligência criada pelo ser humano com o propósito de dotar máquinas de alguma forma de habilidade que simule a inteligência natural humana. No entanto, é importante destacar que há outros autores que oferecem definições distintas para o termo "Inteligência Artificial".

Segundo Feigenbaum (1981, citado por Fernandes, 2003), a inteligência artificial é um campo da ciência da computação que se concentra no desenvolvimento de sistemas de computadores dotados de inteligência, ou seja, sistemas capazes de exibir características que se assemelham ao comportamento inteligente humano. Isso pode incluir habilidades como compreensão da linguagem, aprendizado, raciocínio e resolução de problemas.

2.6 História do uso da inteligência artificial

Conforme apontado por Bittencourt (2001), a inteligência artificial tem uma longa história, remontando séculos atrás, quando dispositivos eram empregados para medir o tempo e imitar comportamentos animais simples. Com o passar do tempo, surgiram inovações como relógios e técnicas de cálculo, como o ábaco, que eventualmente levaram ao desenvolvimento de computadores, um progresso significativo que ocorreu principalmente após a Segunda Guerra Mundial.

De acordo com Martino (2009), após essa fase, a inteligência artificial passou por três gerações de lógica nos computadores modernos. Em 1943, os pesquisadores Warren McCul-

loch e Walter Pitts criaram uma rede de neurônios artificiais que simulava o funcionamento de neurônios biológicos. Eles demonstraram que qualquer função computável poderia ser calculada por meio de redes neurais apropriadas e que as portas lógicas poderiam ser representadas por uma rede neural simples, indicando a possibilidade de aprendizado de máquina. Em 1949, Donald Hebb demonstrou que isso era possível com seu modelo de "Aprendizado de Hebb".

Russel e Norvig (2004) mencionam que o termo "Inteligência Artificial" foi cunhado pela primeira vez em 1956 durante um seminário em Dartmouth. A primeira fase da inteligência artificial, de 1952 a 1969, foi marcada por entusiasmo e otimismo, com avanços significativos na área. No entanto, as expectativas exageradas levaram a metas cada vez mais ambiciosas, que falharam de forma desastrosa.

A partir dos anos 80, os sistemas de inteligência artificial baseados em sistemas especialistas começaram a ganhar destaque, proporcionando grandes economias para as empresas e gerando uma alta demanda por esses sistemas. No entanto, novamente surgiram desafios e problemas relacionados ao não cumprimento de metas, mais notavelmente por volta de 1988. Nos últimos anos, a inteligência artificial amadureceu significativamente, e em 1987 foi reconhecida como uma ciência, o que levou a uma melhor compreensão dos problemas e de suas complexidades.

Hoje em dia, como destaca Pereira (2005), a inteligência artificial desempenha um papel proeminente em áreas como planejamento autônomo, jogos, controle autônomo, diagnóstico, planejamento logístico, reconhecimento de linguagem e resolução de problemas.

2.7 O que é aprendizagem de máquina?

Conforme Santos (2005, citado por Mitchell, 1997) explica, o aprendizado de máquina é essencialmente um processo de aprendizado baseado na experiência, onde, à medida que uma tarefa é executada, o sistema aprende qual é a melhor maneira de resolvê-la. Isso implica na estruturação do conhecimento existente, permitindo um aprimoramento contínuo do entendimento durante o processo de aprendizado.

Como indicado por (COPPIN, 2010), existem vários métodos de aprendizado de máquina disponíveis. Um desses métodos é o aprendizado por hábito, no qual o programa aprende com base em experiências passadas, armazenando apenas os dados que podem ser categorizados. No entanto, se ele não conseguir classificar os dados informados, o método falhará. Outro método é o aprendizado por conceito, que analisa todas as hipóteses e determina qual delas é a correta. Dentro desse método, há uma subdivisão conhecida como "hipótese mais geral", que significa que, se não houver uma hipótese correta clara, o programa escolherá aquela que mais se aproxima do correto. No entanto, esses métodos têm suas limitações, uma vez que nem sempre o usuário está interessado na hipótese correta, mas sim na mais comum.

Uma forma avançada de aprendizado de máquina, conforme descrito por Coppin (2010),

é o uso de redes neurais. Essas redes são semelhantes ao funcionamento do cérebro humano, consistindo em uma vasta rede de neurônios. Geralmente, essas redes são organizadas em duas camadas: a primeira camada recebe as informações a serem classificadas, utiliza um processo de aprendizado supervisionado para ajustar as conexões com base nas informações fornecidas e, por fim, ativa os neurônios de saída. Embora seja uma abordagem complexa, as redes neurais são altamente precisas e tendem a evitar erros comuns encontrados em outros métodos de aprendizado. Além disso, dentro das redes neurais, existe a forma de aprendizado não supervisionado, que não requer classificação prévia, como ocorre, por exemplo, em uma pesquisa na Internet que apresenta resultados interpretados sem uma classificação definida pelo usuário.

2.8 Redes neurais artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são algoritmos computacionais que se baseiam em um modelo matemático inspirado na estrutura de organismos inteligentes. Esses algoritmos permitem a simulação simplificada do funcionamento do cérebro humano em computadores. Similarmente ao cérebro humano, as RNAs têm a capacidade de aprender e tomar decisões com base nesse aprendizado. Em essência, as RNAs constituem um esquema de processamento que pode armazenar conhecimento adquirido por meio de aprendizagem e disponibilizá-lo para aplicação em tarefas específicas (SPÖRL; CASTRO; LUCHIARI, 2011).

O campo das redes neurais surgiu da colaboração entre um matemático e um neurofisiologista, que combinaram suas habilidades para criar uma área da ciência da computação capaz de realizar tarefas de maneira semelhante e possivelmente superior aos seres humanos. Como mostra a Figura 4, a estrutura do córtex humano serviu como inspiração para a construção do arranjo matemático das redes neurais artificiais. A premissa subjacente foi a de que imitar a estrutura do córtex humano em funções matemáticas resultaria em desempenho de processamento semelhante ao do cérebro humano (HAYKIN, 2007). A Figura 5 oferece uma representação visual de uma rede neural artificial.

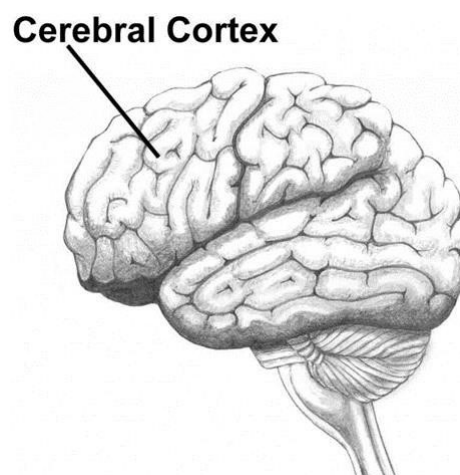


Figura 2.3: *Estrutura do córtex humano.*

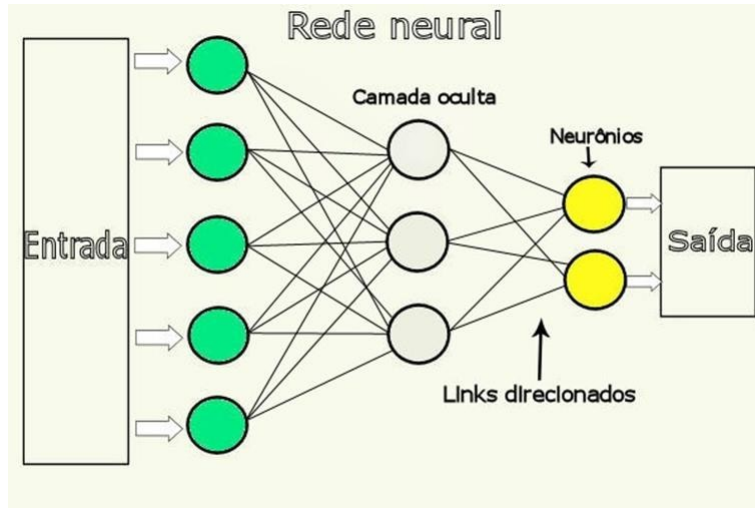


Figura 2.4: Rede neural artificial.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Metodologia

No presente trabalho foram utilizados dois métodos de pesquisa: a revisão sistemática e a pesquisa bibliográfica. A revisão sistemática consiste basicamente em uma técnica de pesquisa que permite reunir e analisar evidências de estudos relevantes para responder a uma pergunta. Já a pesquisa bibliográfica é um método sistematizado baseado em materiais de publicação científica como livros, artigos, jornais, revistas, entre outros.

3.2 Etapas da revisão sistemática

Uma revisão sistemática é uma abordagem metodológica e estruturada utilizada para sintetizar, analisar e interpretar a evidência disponível em uma área específica de pesquisa. Trata-se de um processo sistemático e transparente que visa reunir, avaliar e sintetizar os resultados de estudos primários, proporcionando uma visão abrangente do estado atual do conhecimento em um determinado tópico. (DONATO; DONATO, 2019)

O método envolve uma série de etapas cuidadosamente planejadas, desde a formulação da pergunta de pesquisa até a análise e interpretação dos resultados, como segue abaixo:

1. Formular uma questão de investigação;
2. Produzir um protocolo de investigação (especifica a questão a ser investigada e os métodos que serão usados para tal);
3. Definir os critérios de inclusão e de exclusão;
4. Seleção dos estudos;
5. Extração dos dados nos artigos selecionados;
6. Análise dos resultados.

3.2.1 Formular uma questão de investigação

A formulação apropriada da pergunta é um elemento essencial para a condução eficaz de uma revisão sistemática. A pergunta não apenas orienta o escopo da revisão, determinando quais estudos serão incluídos, mas também influencia as estratégias de identificação desses estudos e a coleta de dados relevantes de cada artigo selecionado. A definição da pergunta representa uma parte fundamental na elaboração de uma revisão sistemática, pois serve como bússola, direcionando todas as atividades subsequentes no processo. É por meio da formulação clara e precisa da pergunta que se estabelece a base para uma revisão abrangente e bem sucedida.

Antes de iniciar a busca por estudos relevantes em uma revisão sistemática, é fundamental desenvolver um protocolo que esteja alinhado com as questões da revisão e que seja incorporado como um plano de projeto. Conforme Briner e Denyer (2012), a revisão sistemática é guiada por uma questão de pesquisa, uma pergunta, que orientará a seleção dos estudos a serem incluídos. Isso garante que a revisão seja sistemática e confiável, fornecendo evidências confiáveis para a tomada de decisões. Dessa forma foram elaboradas 3 perguntas.

No que se refere a primeira pergunta foi considerado importante delimitar e quantificar os artigos para os futuros pesquisadores e até os projetistas de enlace sobre o tema, principalmente para ter um norte e entender o quão esse assunto já foi pesquisado e discutido. No caso a primeira pergunta foi:

Q1: Qual o total de artigos publicados tratam a inteligência artificial e aprendizagem de máquina como uma ferramenta que pode auxiliar projetos de enlace com fibra óptica?

A segunda pergunta refere-se ao veículo de publicação que detém mais ou menos artigos sobre o tema proposto. Se por algum motivo algum veículo em específico concentra mais artigos referente ao tema proposto, será devidamente informado aos pesquisadores e projetistas qual é esse veículo. Para esse ponto a segunda questão foi:

Q2: Em quais veículos e revistas de pesquisa científica encontram-se publicados esses artigos?

Para a terceira pergunta foi observado o ano de publicação dos artigos, para que o projetista e pesquisador tenha uma referência de como este tema vem sendo atualizado ao longo dos anos.

Q3: Quais os anos de publicação dos artigos encontrados?

A quarta questão refere-se à participação de um projetista de enlace em fibras ópticas nas investigações relatadas no artigo. O interesse nessa questão vem do fato de que a parti-

cipação de um projetista de enlace na execução do artigo traria riqueza e um detalhamento maior para o pesquisador.

Q4: Quantos e quais desses artigos envolvem a participação de um projetista de enlace?

Por fim, temos a questão 5 que foca em quais técnicas e algoritmos de IA e Aprendizado de Máquina foram utilizados com sucesso em problemas relacionados ao tema proposto.

Q5: Quais algoritmos e técnicas foram utilizados?

3.2.2 Produzir um protocolo de investigação

Um protocolo de investigação, é essencial para orientar a revisão de forma sistemática. Esse protocolo não apenas esclarece a questão central e os métodos a serem empregados, mas também estabelece claramente os objetivos da revisão. No protocolo, são delineados os termos de pesquisa, as bases de dados e outros recursos a serem consultados, tudo isso com o propósito de minimizar qualquer viés antes do início da busca na literatura.

Além disso, o protocolo inclui critérios rigorosos para inclusão e exclusão de estudos, descreve como a seleção dos estudos será conduzida e estabelece métodos para lidar com discrepâncias, modelos para extração de dados e avaliação da qualidade dos estudos. Ele também especifica a estratégia para a síntese dos dados, fornecendo uma estrutura sólida que orienta cada fase da revisão de maneira consistente. Essa abordagem metodológica prévia garante transparência e robustez ao processo de revisão.

Para realizar a pesquisa de publicações foram utilizados quatro motores de busca, são eles: ¹Google Acadêmico, ²Periódicos CAPES e ³Ieee Xplore. A escolha dessas plataformas se deu pelo fato de que todas têm escopos diferentes e dessa forma haveria mais diversidade entre as publicações escolhidas. Porém é válido ressaltar a possibilidade de interseção entre elas, ou seja, considerar o fenômeno de um mesmo artigo aparecer em mais de um motor de busca ou em diversas bases de dados acadêmicas. Isso pode ocorrer por várias razões, sejam elas o uso da mesma base de dados ou até mesmo o autor ter publicado em mais de uma plataforma.

Em relação às palavras-chave inseridas nas plataformas foi optado tanto pela língua portuguesa como também pela língua inglesa. Foram formuladas quatro strings de busca ou palavras-chave com o intuito de tornar a pesquisa mais abrangente. Sendo assim, as expressões da pesquisa foram alocadas nesses quatro grupos, conforme a Tabela 3.1

¹scholar.google.com.br

²www.periodicos.capes.gov.br

³ieeexplore.ieee.org

Ordem	Assunto
1° Ordem	Projeto de enlace
2° Ordem	Fibra óptica
3° Ordem	Inteligência artificial ou Aprendizagem de máquina
4° Ordem	Atenuação

Tabela 3.1: *Palavras para strings de busca*

Após estabelecer a ordem das strings de busca foi estabelecido o uso dos operadores lógicos, como AND, NOT e OR. Abaixo foi inserido uma tabela de como se deu o uso dos operadores lógicos e a ordem das palavras-chave.

Termo de Busca	Componentes
String de Busca	Projeto de Enlace OR Link Project AND Fibra Óptica OR Optical Fiber AND Inteligência Artificial OR Artificial Intelligence OR AI OR ML AND Atenuação OR Mitigation

Tabela 3.2: *String de Busca e Componentes*

3.2.3 Definir critérios de inclusão e de exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão são elementos fundamentais em uma revisão sistemática, definindo quais estudos serão considerados e quais serão descartados durante o processo de seleção. Os critérios de inclusão são direcionados para garantir que os estudos selecionados estejam alinhados com os objetivos da revisão. Eles especificam características essenciais que os estudos devem possuir para serem considerados. Por exemplo, podem incluir a relevância temática, o tipo de desenho do estudo desejado, a população de interesse, a intervenção ou exposição investigada, e os desfechos específicos que os estudos devem abordar.

Já os critérios de exclusão são estabelecidos para descartar estudos que não atendem aos critérios de interesse da revisão. Esses critérios podem incluir a não relevância temática, desenhos de estudo inadequados, populações não pertinentes, intervenções ou exposições não adequadas, ou estudos que não relatem os resultados de interesse.

Nesta etapa definimos os critérios de inclusão e exclusão, eles nos orientaram para a seleção dos estudos que serão incorporados ou excluídos neste trabalho. Dessa forma para os critérios de inclusão temos estabelecido alguns pontos como o ano de publicação estar entre 2000 e 2023, por estarmos falando de temas que se tornaram notórios a cerca de duas décadas é importante estabelecer uma faixa temporal interessante para ambos, tanto para IA e ML como também para fibra óptica. Seguindo temos artigos que abordam a inteligência artificial como forma de auxiliar em projetos de enlace, estamos se referindo a estudos que exploram a aplicação de técnicas e algoritmos de inteligência artificial para melhorar e otimizar projetos de comunicação por enlace.

Temos também como critério de inclusão possuir pelo menos três das palavras-chave em seu título, ou seja, incluir o artigo que no título tenha pelo menos três palavras-chave que sejam representativas e relevantes para o conteúdo deste estudo. Essa prática nos ajuda observar de forma eficaz o escopo e o conteúdo do artigo. Por fim temos, o idioma do artigo ser especificamente em português ou inglês, como ilustra a Tabela 3.3:

Critério	Descrição
Inclusão	O ano de publicação está entre 2000 e 2023.
Inclusão	Artigos que abordam a inteligência artificial como forma de auxiliar em projetos de enlace.
Inclusão	Possuir pelo menos três das palavras-chave em seu título.
Inclusão	O idioma do artigo ser especificamente em português ou inglês.

Tabela 3.3: *Critérios de inclusão*

Para os critérios de exclusão temos quatro pontos, que são: o artigo não cita IA ou ML para aplicação em projetos de enlace, ou seja, o artigo não faz nenhuma relação de IA ou ML em projetos de enlace usando fibra óptica. Seguindo temos, o trabalho não ser científico, ou seja, não seguir princípios, métodos e padrões típicos da pesquisa científica, como a ausência de uma metodologia clara e sistemática, o uso de fontes não científicas, entre outros. Em terceiro temos artigos duplicados ou semelhantes que refere-se à existência de documentos que compartilham conteúdo substancialmente similares ou idênticos. E por fim temos artigos que aparentemente não contribuem para a pesquisa vigente, ou seja, sugere que alguns artigos podem não apresentar contribuições significativas ou relevantes para este trabalho. Como ilustra a Tabela 3.4:

Critérios	Descrição
Exclusão	O artigo não cita a IA ou ML para aplicação em projetos de enlace.
Exclusão	O trabalho não é científico.
Exclusão	Artigos duplicados ou semelhantes.
Exclusão	Artigos que aparentemente não contribuem para a pesquisa vigente.

Tabela 3.4: *Critérios de Exclusão*

3.2.4 Seleção dos estudos

A etapa de seleção dos estudos desempenha um papel crucial na identificação e inclusão dos trabalhos mais relevantes para responder à pergunta de pesquisa. A escolha dos estudos a serem incorporados na revisão é orientada pelos critérios estabelecidos antecipadamente no

protocolo. Esses critérios são definidos antes da busca na literatura, garantindo que não sejam influenciados pelos resultados específicos encontrados durante a revisão. Essa abordagem não apenas assegura a imparcialidade do processo, mas também protege os revisores contra alegações de viés, uma vez que a seleção dos estudos pode ser inadvertidamente influenciada pela experiência profissional do revisor.

3.2.5 Extração dos dados nos artigos selecionados

Esta etapa envolve uma avaliação descritiva de cada estudo, ou seja, os dados de cada estudo, como autor, ano, título, palavras-chave, resumo e até a análise do artigo como um todo será feita nesta etapa, utilizando tabelas para uma melhor organização.

3.2.6 Análise dos resultados

A análise dos resultados é uma fase crítica que demanda a interpretação cuidadosa e a contextualização das informações extraídas dos estudos incluídos. Durante esse processo, buscamos identificar padrões, tendências e discrepâncias nos dados para responder à pergunta de pesquisa.

A interpretação dos resultados é realizada à luz da pergunta de pesquisa original, buscando responder diretamente ao objetivo da revisão. Considerando a relevância clínica ou prática dos resultados, examinando como essas descobertas podem ser aplicadas no contexto do campo de estudo ou na prática profissional.

Para esse trabalho de conclusão de curso será exposto uma tabela geral com os artigos selecionados e suas informações gerais, bem como o escopo da pesquisa e os principais algoritmos citados no mesmo. Como uma forma de exibir de forma geral onde e com o que cada artigo está trabalhando.

3.3 Etapas da pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica é o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria que irá direcionar o trabalho científico o que necessita uma dedicação, estudo e análise pelo pesquisador que irá executar o trabalho científico e tem como objetivo reunir e analisar textos publicados, para apoiar o trabalho científico. (SOUSA; OLIVEIRA; ALVES, 2021)

A mesma baseia-se no estudo da teoria já publicada, assim é fundamental que o pesquisador se aproprie no domínio da leitura do conhecimento e sistematize todo o material que está sendo analisado. Na realização da pesquisa bibliográfica o pesquisador tem que ler, refletir e escrever o sobre o que estudou, se dedicar ao estudo para reconstruir a teoria e aprimorar os fundamentos teóricos.

Para essa pesquisa, optamos por avançar algumas etapas da pesquisa bibliográfica visto que a mesma se assemelha em alguns pontos com a revisão sistemática, principalmente

nos primeiros pontos, como: formular uma questão de investigação, critérios de inclusão e exclusão, identificação de fontes de informação. Dessa forma para esse trabalho usaremos as etapas de resultados que são:

1. Fichamento dos artigos selecionados;
2. Análise e interpretação.

3.3.1 Fichamento dos artigos selecionados

O objetivo desta etapa é descrever todas as informações que possam colaborar para o desenvolvimento da pesquisa, buscando as ideias principais, apresentando reflexões sobre as ideias das obras e soluções ou comprovações das hipóteses do trabalho em estudo.

Segundo (SALVADOR, 1980) os fichamentos são utensílios importantes no processo da ordenação das informações no desenvolvimento de uma pesquisa e tem como objetivo a identificação das obras consultadas, do conteúdo e a ordem das informações.

Neste trabalho usaremos os seguintes seguimentos, o foco do artigo selecionado, a importância dele para o tema em questão, as técnicas (algoritmos) utilizadas, as aplicações e as contribuições do mesmo.

3.3.2 Análise e interpretação

Após a construção dos fichamentos é o momento de realizar a crítica de todo material bibliográfico levantado e analisar o material.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Artigos encontrados

Ao todo foram encontrados mais de 500 artigos utilizando as bases de dados Google Acadêmico, Periódicos CAPES, e Ieee Xplorer como mostra a Tabela 4.1:

String de Busca	Google Acadêmico	Periódico Capes	IEEE Xplore
Projeto de Enlace OR Link Project AND Fibra Óptica OR Optical Fiber AND Inteligência Artificial OR AI OR ML AND Atenuação OR Mitigation	182 183	0 98	0 16
	57	25	3
Total	422	123	19

Tabela 4.1: *Resultados da Busca*

Esse resultado foi obtido realizando a pesquisa usando as strings de busca em cada periódico citado. Vale ressaltar que a primeira busca foi feita com as palavras-chaves em língua portuguesa, obtendo 182 resultados no Google Acadêmico, 0 resultados no Periódicos CAPES e 0 resultados Ieee Xplorer. Já utilizando palavras-chaves língua inglesa foi coletado 193 artigos no Google Acadêmico, 98 no Periódicos CAPES e 16 no Ieee Xplorer e por fim temos as pesquisas utilizando abreviações, IA e ML, obtivemos 57 no Google Acadêmico, 25 no Periódicos CAPES e 3 no Ieee Xplorer.

Ao todo foi obtido 564 resultados, no entanto nem todos foram analisados, devido primeiramente a quantidade de artigos, como também por duplicidades, podendo haver interseções entre as plataformas onde foram obtidos esses resultados. Dessa forma aplicamos os critérios de inclusão e exclusão e pensando no tempo que seria utilizado para analisar e estudar cada artigo, selecionamos oito artigos para compor a análise sobre o uso da inteligência artificial e aprendizagem de máquina como forma de aperfeiçoar projetos de enlace utilizando fibra

óptica.

4.2 Artigos selecionados

Seguindo os critérios de inclusão e exclusão e avaliando os resumos e a introdução foram selecionados oito artigos para compor a revisão sistemática sobre o uso da inteligência artificial como forma de aperfeiçoar projetos de enlace. Foi feito uma tabela detalhando cada artigo, e definindo, de forma geral, o que cada um estabelece, como autor(es), ano de publicação, periódico, título do artigo, as palavras-chaves que o compõem, além das principais técnicas utilizadas para aperfeiçoar projetos de enlace. Segue a tabela abaixo:

Autor(es)	Ano	Periódico	Título do Artigo	Palavras-Chave	Técnicas (Algoritmos)
Bruno Lima	2019	Google Acadêmico	Análise de técnicas de inteligência artificial para o projeto de enlace de fibra óptica	Inteligência artificial, Machine Learning, Rede Neural Artificial, Comunicações Ópticas.	Redes neurais artificiais, algoritmos de otimização.
Faisal Nadeem Khan, Chao Lu e Alan Pak Tao Lau	2018	IEEE Xplorer	Optical Performance Monitoring in Fiber-Optic Networks Enabled by Machine Learning Techniques	Coherent Detection, Fiber Optic, Optical Networks	Análise em tempo real usando aprendizado de máquina, desvio dos padrões normais.
Khoulood Abdelli, Joo Yeon Cho, Florian Azendorf	2022	IEEE Xplorer	Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring	Optical fibers, Optical network units, Optical fiber cables, Optical pulses, Eavesdropping, Anomaly detection	Algoritmos de aprendizado de máquina, redes neurais, detecção de novidades.
Josh W. Nevin, Sam Nallaperuma, Nikita A. Shevchenko	2021	Google Acadêmico	Machine learning for optical fiber communication systems: An introduction and overview	Artificial intelligence, Artificial neural networks, Machine learning, Optical communications, Optical networks, Optical fibers	Redes neurais, árvores de decisão, algoritmos de clusterização.

Tabela 4.2: *Publicações selecionadas - parte I.*

Autor(es)	Ano	Periódico	Título do Artigo	Palavras-Chave	Técnicas (Algoritmos)
Jiayuan He, Jeonghun Lee, Sithamparanathan Kandee-pan e Ke Wang	2020	Periódico CAPES	Machine Learning Techniques in Radio-over-Fiber Systems and Networks	Radio-over-fiber, Fiber-wireless, Optical wireless integration, Neural networks, Artificial intelligence, Machine learning	Descreve as metodologias utilizadas para incorporar o aprendizado de máquina em sistemas RoF, incluindo a coleta de dados relevantes, seleção de algoritmos apropriados e procedimentos de treinamento do modelo.
Javier Mata, Ignacio de Miguel, Ramón J. Durán, Noemí Merayo	2018	Google Acadêmico	Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey	Artificial intelligence, Machine learning, Optical communications, Optical networks, Optimization, Survey	Redes neurais, algoritmos de aprendizado de máquina, lógica difusa, algoritmos de otimização.
Elias Giacomidis, Yi Lin, Jinlong Wei, Ivan Aldaya	2018	Periódico CAPES	Harnessing machine learning for fiber-induced nonlinearity mitigation in long-haul coherent optical OFDM	Fiber optics communications, Machine learning, Artificial neural network, Support vector machine, Clustering, Nonlinear equalization, Coherent optical OFDM	Técnica OFDM para a modulação dos sinais ópticos, mencionando eficiência espectral e capacidade de lidar com efeitos de dispersão.
Jianing Lu, Qirui Fan, Alan Pak Tao Lau, Chao Lu	2021	IEEE Xplorer	Automated training dataset collection system design for machine learning application in optical networks: an example of quality of transmission estimation	Optical attenuators, Wavelength division multiplexing, Training, Estimation, Optical signal processing, Nonlinear optics, Optical transmitters	Coleta automatizada de dados, aprendizado de máquina para estimativa de qualidade.

Tabela 4.3: *Publicações selecionadas - parte II.*

Na tabela acima os artigos foram divididos em sessões, ressaltando os dados dos artigos como os autores das obras, o ano de publicação, o periódico onde foi encontrado, o tema

que abrange, as palavras-chave do mesmo e por fim as principais técnicas utilizadas para aperfeiçoar projetos de enlace. Importante destacar que os anos de publicação dos artigos selecionados estão entre os anos de 2018 a 2022, mostrando o quão esse tema é recente e pouco explorado.

Entre os autores citados o nome de Chao Lu está entre os mais citados sobre o tema, tornando-o uma espécie de referência. Além disso, abaixo temos tabelas juntamente com o fichamento para cada artigo selecionado e também um breve resumo sobre os mesmos enfatizando pontos como: foco; importância do artigo; técnicas utilizadas; aplicações e contribuições. Esse ponto do trabalho visa fornecer para o leitor uma comparação geral dos artigos selecionados, buscando uma noção geral dos artigos escolhidos.

O artigo *Inteligência Artificial na Otimização de Projetos de Enlaces de Fibra Óptica* aborda a aplicação da inteligência artificial (IA) no aprimoramento de projetos de enlaces de fibra óptica. A IA oferece uma abordagem inovadora para otimizar a eficiência e o desempenho desses sistemas, contribuindo para uma maior capacidade de transmissão, confiabilidade e eficácia na comunicação óptica. Métodos específicos de IA, como algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais artificiais, são explorados para otimizar variáveis cruciais, como potência de sinal, largura de banda e qualidade de transmissão. O artigo discute casos de uso práticos e demonstra como a implementação inteligente da IA pode resultar em melhorias significativas no design e na operação de enlaces de fibra óptica, como ilustra a tabela 4.4:

Tabela 4.4: *Inteligência Artificial na Otimização de Projetos de Enlaces de Fibra Óptica*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Aplicação de inteligência artificial na otimização do projeto de enlaces de fibra óptica	Otimização do planejamento e design de redes de fibra óptica	Algoritmos genéticos, redes neurais artificiais, algoritmos de otimização	Encontrar configurações de enlace ideais para eficiência e minimização de perda de sinal	Projetos de rede de fibra óptica mais eficientes e otimizados.

O artigo *Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring* discute a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para detecção de anomalias em sistemas de monitoramento de fibra óptica. O objetivo do estudo é detectar comportamentos anormais que possam indicar falhas ou problemas nas fibras ópticas, promovendo assim manutenções preventivas e melhorando a confiabilidade desses sistemas. O artigo descreve a importância das fibras ópticas em diversas aplicações, como telecomunicações e redes de dados, e enfatiza a necessidade de controlar sua integridade para evitar interrupções e perda de dados. Os métodos tradicionais de rastreamento podem não ser eficazes na detecção de anomalias sutis ou padrões complexos que levam a abordagens de aprendizado de máquina. Os autores do

artigo recomendam o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais e métodos de detecção de novidades, para analisar dados coletados por fibras ópticas.

Eles explicam como os algoritmos são treinados para aprender padrões corretos de comportamento usando dados frequentes. Posteriormente, estes modelos treinados podem identificar desvios significativos dos padrões normais como anomalias potenciais. Resultados experimentais são apresentados para demonstrar a eficácia da abordagem proposta na detecção de diversas anomalias, como quebras de fibra, flutuações repentinas de sinal e distúrbios externos. Os resultados sugerem que uma abordagem de aprendizagem automática pode melhorar significativamente a capacidade de identificar problemas ópticos numa fase inicial, contribuindo para a fiabilidade e eficiência contínuas dos sistemas. Em resumo, o artigo discute a aplicação de métodos de aprendizado de máquina para detecção de anomalias em sistemas de monitoramento de fibra óptica. Ele enfatiza a importância dessas técnicas na melhoria da detecção precoce de problemas, o que promove a manutenção preventiva e a confiabilidade desses sistemas essenciais em diversas aplicações.

Tabela 4.5: *Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Detecção de Anomalias em Sistemas de Monitoramento de Fibras Ópticas usando Aprendizado de Máquina	Identificar anomalias para prevenir falhas em fibras ópticas e melhorar a confiabilidade.	Algoritmos de aprendizado de máquina, redes neurais, detecção de novidades.	Detecção de anomalias como quebras de fibras, variações de sinal, interferência externa.	Melhoria na detecção precoce de problemas em fibras ópticas para aumentar a confiabilidade.

O artigo *Optical Performance Monitoring in Fiber-Optic Networks Enabled by Machine Learning Techniques* aborda a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a monitorização do desempenho em redes de fibras ópticas. O estudo se concentra em melhorar a capacidade de detecção de problemas e anomalias em sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas. Os autores propõem o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para analisar dados ópticos em tempo real, identificando variações e degradações no sinal que podem indicar falhas ou problemas na rede. Ao treinar modelos de aprendizado de máquina com dados normais, esses modelos são capazes de identificar desvios significativos do padrão normal, contribuindo para a manutenção preventiva e aprimorando a confiabilidade dessas redes vitais para telecomunicações e transmissão de dados em alta velocidade. O artigo destaca como o uso de aprendizado de máquina pode proporcionar uma detecção mais eficaz e precisa de problemas em redes de fibras ópticas, contribuindo para a eficiência e confiabilidade contínuas desses sistemas críticos.

Tabela 4.6: *Optical Performance Monitoring in Fiber-Optic Networks Enabled by Machine Learning Techniques*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Melhorar o monitoramento de desempenho em redes de fibra óptica usando aprendizado de máquina	Melhorar a detecção de problemas e anomalias em sistemas de comunicação óptica	Análise em tempo real usando aprendizado de máquina, desvio dos padrões normais	Monitoramento em tempo real, manutenção preventiva em telecomunicações	Deteção mais eficaz e precisa de problemas em redes de fibra óptica.

O artigo *Machine learning for optical fiber communication systems: An introduction and overview* oferece uma introdução abrangente e uma visão geral do uso de aprendizado de máquina em sistemas de comunicação por fibras ópticas. O objetivo principal do artigo é apresentar o campo emergente que combina o aprendizado de máquina com a comunicação óptica. O artigo começa por contextualizar a importância das redes de comunicação por fibras ópticas em diversas aplicações, como telecomunicações e transmissão de dados em alta velocidade. Em seguida, ele explora como o aprendizado de máquina pode ser aplicado a diferentes aspectos desses sistemas, incluindo otimização, monitoramento de desempenho e detecção de falhas.

O texto discute várias técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais, árvores de decisão e algoritmos de clusterização, e como essas técnicas podem ser empregadas para melhorar a eficiência e a confiabilidade das redes de fibras ópticas. Além disso, o artigo apresenta exemplos práticos de aplicação do aprendizado de máquina em problemas específicos relacionados a sistemas de comunicação por fibras ópticas. Em resumo, o artigo fornece uma introdução abrangente ao uso do aprendizado de máquina em sistemas de comunicação por fibras ópticas, destacando seu potencial para otimização e melhoria do desempenho dessas redes críticas. Ele serve como um guia inicial para pesquisadores e profissionais interessados nessa área em crescimento.

Tabela 4.7: *Machine learning for optical fiber communication systems: An introduction and overview*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Introdução ao uso de aprendizado de máquina em sistemas de comunicação por fibra óptica	Destacar o potencial do aprendizado de máquina para otimização e melhoria de desempenho	Redes neurais, árvores de decisão, algoritmos de clusterização	Otimização, monitoramento de desempenho, detecção de falhas em redes de fibra óptica	Visão abrangente da aplicação de aprendizado de máquina na comunicação óptica

O artigo *Automated training dataset collection system design for machine learning application in optical networks: an example of quality of transmission* aborda a criação de um sistema automatizado para coleta de conjuntos de dados de treinamento em redes ópticas, com o objetivo de aplicar técnicas de aprendizado de máquina na estimativa da qualidade de transmissão. Os autores destacam a importância da qualidade de transmissão em redes ópticas, que influencia diretamente o desempenho da comunicação. Eles propõem um sistema que automatiza a coleta de dados necessários para treinar modelos de aprendizado de máquina, visando prever a qualidade de transmissão em diferentes cenários de rede. O artigo descreve a arquitetura do sistema proposto, que inclui a coleta de dados de desempenho da rede, a geração de conjuntos de dados rotulados e a preparação dos dados para treinamento de modelos de aprendizado de máquina. Os autores também discutem os desafios e as soluções encontradas ao criar o sistema, incluindo a seleção de recursos relevantes e a criação de um processo automatizado para coleta e preparação de dados. A pesquisa apresenta resultados promissores na aplicação da técnica de aprendizado de máquina para estimar a qualidade de transmissão em redes ópticas, demonstrando a eficácia do sistema proposto. O artigo contribui para a automação e aprimoramento da otimização de redes ópticas por meio do uso de técnicas avançadas de aprendizado de máquina.

Tabela 4.8: *Automated training dataset collection system design for machine learning application in optical networks: an example of quality of transmission*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Desenvolvimento de um sistema automatizado para coleta de conjuntos de dados de treinamento em redes ópticas	Estimar a qualidade de transmissão em diferentes cenários de rede	Coleta automatizada de dados, aprendizado de máquina para estimativa de qualidade	Estimativa de qualidade em redes ópticas, preparação automatizada de conjuntos de dados	Automação da coleta de dados para aplicações de aprendizado de máquina em redes ópticas

O artigo *Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey* é uma revisão abrangente que explora a aplicação de métodos de inteligência artificial (IA) em redes ópticas. O artigo aborda uma variedade de tópicos relacionados à integração de IA em redes ópticas, incluindo a otimização de recursos, gerenciamento de tráfego, planejamento de redes, diagnóstico de falhas e garantia de qualidade de serviço. Ele fornece uma visão geral das técnicas de IA mais utilizadas, como redes neurais artificiais, algoritmos de aprendizado de máquina, lógica difusa e algoritmos de otimização. Os autores destacam os desafios e oportunidades associados à adoção da IA em redes ópticas, considerando aspectos como eficiência energética, escalabilidade e segurança. Além disso, o artigo examina estudos de caso e exemplos de implementações bem-sucedidas de IA em redes ópticas. Em resumo, o

artigo oferece uma visão ampla e atualizada do estado da arte da aplicação de métodos de IA em redes ópticas, destacando seu potencial para melhorar o desempenho, a eficiência e a confiabilidade dessas redes. Ele serve como um guia abrangente para pesquisadores, profissionais e empresas interessados em explorar a IA como uma ferramenta poderosa para aprimorar as redes ópticas.

Tabela 4.9: *Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Pesquisa abrangente de métodos de IA aplicados em redes ópticas	Destacar várias aplicações de IA, incluindo otimização de recursos e diagnóstico de falhas	Redes neurais, algoritmos de aprendizado de máquina, lógica difusa, algoritmos de otimização	Otimização de recursos, gerenciamento de tráfego, diagnóstico de falhas em redes ópticas	Visão detalhada das aplicações de IA na otimização e melhoria de redes ópticas

O artigo *Machine Learning Techniques in Radio-over-Fiber Systems and Networks* explora a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina (ML) em sistemas de rádio sobre fibra (RoF) e redes associadas. O foco principal reside na utilização de algoritmos de ML para aprimorar a eficiência, adaptabilidade e desempenho desses sistemas híbridos. O artigo aborda casos de uso específicos nos quais o ML pode ser implementado, como otimização de recursos espectral, mitigação de interferências e tomada de decisões dinâmicas. Ao integrar técnicas de ML, busca-se melhorar a capacidade de adaptação desses sistemas em ambientes complexos e dinâmicos de comunicação óptica sem fio.

Tabela 4.10: *Machine Learning Techniques in Radio-over-Fiber Systems and Networks*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Explora o uso de técnicas de aprendizado de máquina em sistemas e redes de rádio sobre fibra (RoF)	O artigo explora como as técnicas de aprendizado de máquina podem ser aplicadas para superar os desafios mencionados	Metodologias utilizadas para incorporar o aprendizado de máquina em sistemas RoF, incluindo a coleta de dados relevantes, seleção de algoritmos apropriados e procedimentos de treinamento do modelo	Detalha as áreas específicas em que o aprendizado de máquina é aplicado, como otimização de recursos, mitigação de interferência, previsão de falhas e melhoria da eficiência espectral	Conclui resumindo os benefícios e contribuições das técnicas de aprendizado de máquina em sistemas e redes RoF, enfatizando seu papel na melhoria do desempenho, eficiência e confiabilidade desses sistemas

O artigo *Harnessing Machine Learning for Fiber-Induced Nonlinearity Mitigation in Long-Haul Coherent Optical OFDM* explora a aplicação do aprendizado de máquina (ML) para mitigação de não linearidades induzidas por fibras em sistemas ópticos coerentes de modulação por multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) de longa distância. O foco principal está em utilizar algoritmos de ML para entender e compensar os efeitos não lineares que surgem durante a transmissão de sinais ópticos em fibras de longo alcance. O artigo aborda a implementação prática de técnicas de ML, descreve os desafios associados e destaca como essas abordagens podem melhorar a eficiência e a qualidade de transmissão em sistemas OFDM ópticos coerentes de longa distância.

Tabela 4.11: *Harnessing Machine Learning for Fiber-Induced Nonlinearity Mitigation in Long-Haul Coherent Optical OFDM*

Foco	Importância	Técnicas	Aplicações	Contribuições
Aborda a aplicação de aprendizado de máquina para lidar com a não linearidade induzida por fibras ópticas em sistemas de comunicação óptica coerente de longo alcance usando a técnica de modulação por multiplexação de frequência ortogonal (OFDM)	A implementação prática das conclusões do artigo pode ter impactos notáveis na indústria de comunicações. Ao mitigar de forma eficiente os efeitos da não linearidade, há potencial para fortalecer os sistemas, diminuir erros de transmissão e, por conseguinte, elevar a qualidade dos serviços de comunicação	Explica-se a escolha da técnica OFDM para a modulação dos sinais ópticos, mencionando suas vantagens em termos de eficiência espectral e capacidade de lidar com efeitos de dispersão	Apresenta a proposta de utilizar técnicas de aprendizado de máquina para mitigar os efeitos da não linearidade, explicando como os algoritmos podem aprender padrões complexos nos dados de sinal	O artigo conclui resumindo as descobertas, destacando a eficácia da abordagem de aprendizado de máquina na mitigação de não linearidade em sistemas de comunicação óptica coerente de longo alcance e sugerindo direções para pesquisas futuras

De forma geral, esses artigos enfatizam coletivamente a importância de tecnologias avançadas como aprendizado de máquina e inteligência artificial na melhoria da confiabilidade, eficiência e desempenho de redes de fibra óptica em diversas aplicações, como telecomunicações e transmissão de dados. Eles abordam diferentes aspectos, incluindo detecção de anomalias, otimização de design de rede, monitoramento de desempenho e gerenciamento geral de rede. Um dos algoritmos mais citados foi redes neurais artificiais como ferramenta para o aprimoramento de enlaces de fibra óptica, o mesmo são modelos computacionais inspirados na estrutura e funcionamento do cérebro humano. Essas redes são usadas em aprendizado de máquina e inteligência artificial para realizar tarefas como reconhecimento de padrões, classificação, regressão, processamento de linguagem natural, entre outras.

Além disso, as redes neurais desempenham um papel crucial na melhoria dos enlaces de fibra óptica, abordando diversos desafios de forma eficaz. Na redução de não linearidades, essas redes são treinadas para compensar distorções no sinal, promovendo uma considerável elevação na qualidade da transmissão. Na otimização de parâmetros em sistemas de comuni-

cação óptica, ajustando elementos como modulação e distribuição de potência para atingir transmissões mais eficientes e confiáveis. No contexto de predição de falhas e manutenção preditiva, as redes neurais analisam dados em tempo real, antecipando possíveis problemas nos componentes dos enlaces de fibra óptica.

Essa abordagem permite correções preventivas, assegurando uma comunicação contínua. A capacidade das redes neurais em compensar a dispersão e atenuação do sinal, especialmente em enlaces de longa distância, é especialmente valiosa. A adaptação dinâmica às condições da rede, considerando variações de temperatura e interferências externas, contribui para a robustez e flexibilidade do sistema. Ao oferecer equalização adaptativa, as redes neurais ajustam a equalização do sinal com base nas condições de transmissão, melhorando o desempenho em ambientes variáveis e contribuindo para a redução de erros de transmissão, reforçando a confiabilidade da comunicação. Por fim, a aplicação de redes neurais na otimização dinâmica de rotas em redes ópticas se destaca, adaptando trajetórias conforme as condições de tráfego e características da fibra óptica, maximizando a eficiência global da rede. Essas diversas aplicações consolidam as redes neurais como uma ferramenta versátil e eficaz para elevar o desempenho e a confiabilidade dos enlaces de fibra óptica.

Capítulo 5

Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros

5.1 Considerações Finais

A revisão bibliográfica realizada sobre o uso da inteligência artificial e aprendizagem de máquina como meio de aperfeiçoar a atenuação em cabos de fibra óptica revela que essa abordagem tem um potencial significativo para melhorar a eficiência e o desempenho das redes de comunicação óptica. Através da análise de estudos anteriores, foi possível identificar várias contribuições e avanços alcançados nessa área.

Primeiramente, foi observado que a utilização de algoritmos de inteligência artificial, como redes neurais artificiais pode ajudar na otimização do projeto e na configuração de redes de fibra óptica. Essas técnicas permitem a identificação de parâmetros ótimos, como a distribuição espacial e a potência de sinal adequada, resultando em uma atenuação reduzida e melhorando a qualidade da transmissão de dados.

Além disso, a revisão bibliográfica evidenciou a importância da inteligência artificial na detecção e prevenção de falhas em cabos de fibra óptica. Por meio do processamento de dados em tempo real e do aprendizado de máquina, é possível identificar padrões anormais de atenuação e interferências, facilitando a manutenção preventiva e minimizando interrupções nas redes.

No entanto, apesar dos avanços promissores, é importante reconhecer que ainda existem desafios a serem superados para uma implementação mais ampla da inteligência artificial no contexto da atenuação em cabos de fibra óptica. Estes incluem questões relacionadas à complexidade computacional, à interpretabilidade dos modelos e à disponibilidade de conjuntos de dados adequados para treinamento dos algoritmos.

Por fim, a revisão bibliográfica destaca que o uso da inteligência artificial apresenta um grande potencial para aprimorar a atenuação em cabos de fibra óptica. Os estudos revisados demonstram que a aplicação de algoritmos inteligentes pode contribuir para a redução da atenuação, a detecção de falhas e a compensação da dispersão cromática, resultando em

redes de comunicação óptica mais eficientes e confiáveis. Embora os desafios permaneçam, as perspectivas futuras para a integração da inteligência artificial nesse campo são promissoras e podem impulsionar ainda mais o avanço tecnológico das redes de fibra óptica.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para os trabalhos futuros é proposto comparar de forma prática o desempenho de diferentes algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial na análise e otimização de enlaces de fibra óptica, além de realizar estudos de caso em ambientes reais de produção para validar a eficácia das abordagens propostas, considerando desafios específicos e características de implementação prática. É interessante avaliar como a aplicação de arquiteturas mais avançadas de redes neurais, pode impactar a capacidade de prever e compensar não linearidades em enlaces de fibra óptica em comparação com abordagens mais tradicionais.

Outra possibilidade de trabalho é investigar como as condições ambientais, como variações climáticas e mudanças de temperatura, influenciam o desempenho de algoritmos de IA e aprendizado de máquina em enlaces de fibra óptica.

Referências Bibliográficas

AGRAWAL, G. P. Sistemas de comunicação por fibra óptica. *Elsevier*, v. 4, n. 3, p. 1–2, 2014. 4

CARMONA, E.; FURTADO, L.; CORTES, O. Inteligência artificial na educação: Uma revisão rápida no sbie. 2023. Acesso em: 15 maio 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Omar-Carmona-Cortes/publication/357126933_Inteligencia_artificial_na_educacao_uma_revisao_rapida_no_SBIE/links/61bc9c894b318a6970eac0ee/Inteligencia-artificial-na-educacao-uma-revisao-rapida-no-SBIE.pdf>. 34

CARVALHO, L. P. de. *Introdução a sistemas de telecomunicações: abordagem histórica*. [S.l.]: LTC, 2014. 1, 6

COPPIN, B. *Inteligência artificial*. [S.l.]: LTC, 2010. 9

Uma Proposta de Aula Expositiva sobre Fibra Óptica: Sua Ciência e Tecnologia no Ensino Médio e Tecnológico, 2023. Acesso em: 15 maio 2023. Disponível em: <<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2301/JONATHA%20RODRIGUES%20COSTA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>.

DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na condução de uma revisão sistemática. *Acta Médica Portuguesa*, v. 32, n. 3, p. 227, mar 2019. 12

DOS, D.; GOMES, S. Inteligência artificial: Conceitos e aplicações. *Revista Olhar Científico - Faculdades Associadas de Ariquemes*. N. 2, [s.d.]. 34

FERNANDES, A. M. da R. *Inteligência Artificial: Noções Gerais*. Florianópolis: Visual Books, 2003. 34

GALVÃO, M. C. B. O levantamento bibliográfico e a pesquisa científica introdução. fundamentos de epidemiologia. *USP*, 2010. 1

GIACOUMIDIS, E. *et al.* Harnessing machine learning for fiber-induced nonlinearity mitigation in long-haul coherent optical ofdm. *Future Internet*, v. 11, p. 2, 12 2018. ISSN 1999-5903. 34

GONCALVES, A. R. Estudo bibliográfico: a fibra óptica condutora da luz. *Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará Instituto de ciências exatas Faculdade de Física*, 2016. 4, 34

HAYKIN, S. *Redes Neurais*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 10

HE, J. *et al.* Machine learning techniques in radio-over-fiber systems and networks. *Photonics*, v. 7, p. 105, 11 2020. ISSN 2304-6732. 34

- HEWITT, P. G. *Fundamentos de Física Conceitual*. [S.l.]: Bookman, 2009. 6
- KEISER, A. P. J. M. G.; GODOY, P. F. de. *Comunicações em fibras ópticas*. [S.l.]: AMGH, 2014. 1, 6
- KHAN, F. N.; LU, C.; LAU, A. P. T. Optical performance monitoring in fiber-optic networks enabled by machine learning techniques. In: . [S.l.]: OSA, 2018. p. M2F.3. ISBN 978-1-943580-38-5. 34
- LIMA, B. C. dos S. *Análise de Técnicas de Inteligência Artificial para o Projeto de Enlaces de Fibras Ópticas*. 2019. <<http://dSPACE.mackenzie.br>>. 11 dezembro 2019. 34
- LOBO, L. C. Inteligência artificial e medicina. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 41, n. 2, p. 185–193, jun 2017. 34
- MAGNANI, E.; PISTOCCHI, F. The role of lighthouses in the construction of coastal identities. *Almatourism - Journal of Tourism, Culture and Territorial Development*, v. 8, n. 6, p. 123–143, Jan. 2017. Disponível em: <<https://almatourism.unibo.it/article/view/6360>>. 4
- MARIN, P. S. *Cabeamento Estruturado*. 1. ed. [S.l.]: Érica, 2014. 6
- MARTINO, J. M. D. *Elementos de Inteligência Artificial utilizados em Jogos Digitais – Conceitos, Objetivos e Tendências*. 2009. Acesso em: 08 de outubro de 2023. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/~martino/disciplinas/ia369/trabalhos/t4g1.pdf>>. 34
- MATA, J. *et al.* Artificial intelligence (ai) methods in optical networks: A comprehensive survey. *Optical Switching and Networking*, v. 28, p. 43–57, 4 2018. ISSN 15734277. 1
- MONARD, M.; BARANAUSKAS, J. *Capítulo 4 Conceitos sobre Aprendizado de Máquina*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://dcm.ffclrp.usp.br/augusto/publications/2003-sistemas-inteligentes-cap4.pdf>. 34
- MORAES, A. F. *Redes de Computadores: Fundamentos*. 7. ed. [S.l.]: Érica, 2010. 6
- NEVIN, J. W. *et al.* Machine learning for optical fiber communication systems: An introduction and overview. *APL Photonics*, v. 6, p. 121101, 12 2021. ISSN 2378-0967. 34
- PARK, K.; NGUYEN, M. C.; WON, H. Web-based collaborative big data analytics on big data as a service platform. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7224859>>. 34
- RABINER, L.; JUANG, B.-H. *Fundamentals of Speech Recognition*. [S.l.]: Prentice-Hall, 1993. 34
- RIBEIRO, J. A. J. *Comunicações Ópticas*. [S.l.]: Érica, 2009. 6, 7
- RUSSEL, P. N. S. Inteligência artificial. *Campos*, 2004. 34
- SALVADOR Ângelo D. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Bibliográfica: Elaboração de Trabalhos Científicos*. Porto Alegre, RS: Sulina, 1980. 18
- SOUSA, A. S. D.; OLIVEIRA, G. S. D.; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: Princípios e fundamentos. *Cadernos da FUCAMP*, v. 20, n. 43, mar 2021. 17

SOUSA, L. B. *Redes de Computadores: Guia Total*. [S.l.]: Érica, 2009. 6

SPÖRL, C.; CASTRO, E. G.; LUCHIARI, A. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 21, n. 1, p. 113–135, 2011. 10


TORRES, G. *Redes de Computadores: Versão Revisada e Atualizada*. 1. ed. [S.l.]: Nova Terra, 2010. 5

TRONCO, L. F. d. A. T. R. Fundamentos de comunicações Ópticas. 2007. 5, 7

VENKETESWARAN, A. *et al.* Recent advances in machine learning for fiber optic sensor applications. *Advanced Intelligent Systems*, v. 4, p. 2100067, 1 2022. ISSN 2640-4567. 34

WU, T. *Impérios da Comunicação: Do telefone à internet, da ATT ao Google*. [S.l.]: Zahar, 2011. 6

(GIACOUMIDIS *et al.*, 2018) (KHAN; LU; LAU, 2018) (NEVIN *et al.*, 2021) (VENKETESWARAN *et al.*, 2022) (RABINER; JUANG, 1993) (HE *et al.*, 2020) (CARMONA; FURTADO; CORTES, 2023) (??) (DOS; GOMES,) (FERNANDES, 2003) (LOBO, 2017) (MARTINO, 2009) (MONARD; BARANAUSKAS,) (RUSSEL, 2004) (PARK; NGUYEN; WON,) (GONCALVES, 2016) (LIMA, 2019)

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande
	R. Tranquílino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Restrito

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto:	Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por:	Layanne Santos
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Layanne Kelly Gomes Santos, ALUNO (201911210006) DE TECNOLOGIA EM TELEMÁTICA - CAMPINA GRANDE, em 22/01/2024 08:43:13.

Este documento foi armazenado no SUAP em 22/01/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1057139

Código de Autenticação: 96f46ffb08

