



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Thiago da Silva Fialho

**Explorando a Integração entre Visualização de Dados e a Computação
Quântica: Uma Revisão Sistemática**

Araranguá
2023

Thiago da Silva Fialho

**Explorando a Integração entre Visualização de Dados e a Computação
Quântica: Uma Revisão Sistemática**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Orientador(a): Prof(a) Dra. Marina Carradore Sérgio

Araranguá
2023

Fialho, Thiago da Silva

Explorando a Integração entre Visualização de Dados e a Computação Quântica : Uma Revisão Sistemática / Thiago da Silva Fialho ; orientador, Marina Carradore Sérgio, 2023.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Visualização de Dados . 3. Computação quântica. I. Sérgio, Marina Carradore . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. III. Título.

Thiago da Silva Fialho

**Explorando a Integração entre Visualização de Dados e a Computação
Quântica: Uma Revisão Sistemática**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, 08 de dezembro de 2023.

Fernando José Spanhol

Banca examinadora

Profa. Marina Carradore Sérgio, Dra.
Orientadora

Prof. Alexandre Leopoldo Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fabrício Herpich, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Araranguá, 2023.

Este trabalho de pesquisa é dedicado a Júlia Anselmo e Niágeri Cioato que sempre me ajudaram. As incontáveis horas de troca de ideias valeram a pena! Muito obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

É com um coração repleto de emoção que me dirijo a vocês neste momento tão especial. Hoje, ao concluir esta etapa significativa da minha jornada acadêmica, quero expressar profunda gratidão a cada um de vocês, que trouxeram tanto significado e calor à minha trajetória.

À minha família amada: Meu querido irmão Thierry, sua presença é a luz que guia meus dias. À minha adorável avó Lourdes, sua sabedoria é um farol que ilumina meu caminho. Ao meu pai José, sua força e encorajamento são a bússola que me orienta. E aos meus tios Denise, Amanda e Junior, palavras não são suficientes para expressar a imensidão do meu agradecimento. Vocês não apenas compartilharam alegrias e desafios, mas também enriqueceram minha vida com amor, apoio e momentos que serão tesouros eternos em meu coração.

Aos amigos que são mais que amigos, são a essência pulsante da minha jornada, pintando a tela da vida com cores vibrantes. Cada um de vocês é um capítulo precioso na história deste trabalho, uma história entrelaçada não apenas por palavras e páginas, mas por laços de amizade profunda e autêntica. Vocês não apenas preenchem os espaços entre as linhas, mas enchem meu coração de emoção e significado. Nesta trama da vida, cada um de vocês é um tesouro, uma pérola brilhante que enriquece a narrativa da minha existência.

Cada abraço, risos compartilhados e palavras de conforto moldaram não apenas esta conquista, mas também a essência do que sou. Esta vitória é nossa, uma celebração do amor, amizade e apoio que recebi de todos vocês.

Gostaria de estender minha mais profunda gratidão aos professores Fabrício, Alexandre e à Professora Marina, que foram fundamentais na conclusão do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Ao Professor Fabrício e ao Professor Alexandre, membros da banca de avaliação, agradeço pelo tempo dedicado à análise crítica e valiosas contribuições que enriqueceram significativamente o meu trabalho. Suas sugestões e *insights* foram essenciais para aprimorar a qualidade e a profundidade do meu projeto. À Professora Marina, minha orientadora, expressei meu sincero agradecimento por sua orientação incansável, paciência e comprometimento ao longo de todo o processo. A combinação única de conhecimento, apoio e incentivo desses professores foi fundamental para o sucesso desta jornada acadêmica, e sou imensamente grato por ter contado com a orientação deles.

A tarefa é não tanto para ver o que ninguém viu ainda, mas pensar o que ninguém
ainda pensou sobre o que todo mundo vê.
(Schopenhauer, 1851)

RESUMO

A convergência entre visualização de dados e computação quântica tem sido objeto de interesse crescente na comunidade científica. A visualização de dados é uma técnica que permite a representação gráfica de informações complexas, facilitando a compreensão e interpretação desses dados. Por outro lado, a computação quântica é uma tecnologia emergente que promete revolucionar a forma como processamos informações, oferecendo soluções mais eficientes para problemas complexos. O objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura para analisar a interseção entre visualização de dados e computação quântica. A metodologia empregada seguiu o protocolo PRISMA, utilizando métodos sistemáticos e transparentes para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos relevantes. Os principais resultados da revisão sistemática permitiram identificar tendências, avanços, desafios e oportunidades nessa área emergente. Foi possível constatar que a integração entre visualização de dados e computação quântica pode oferecer soluções mais eficientes para problemas complexos em diversas áreas, como finanças, saúde, meio ambiente, entre outras. As considerações finais apontam para a necessidade de mais pesquisas nessa área, bem como para a importância da integração entre visualização de dados e computação quântica para a solução de problemas complexos em diversas aplicações. A convergência dessas duas áreas inovadoras apresenta desafios e oportunidades para a solução de problemas complexos em diversas aplicações, e pode ser um ponto de partida para uma era de descobertas e inovações.

Palavras-chave: visualização de dados; computação quântica; representações visuais.

ABSTRACT

The convergence between data visualization and quantum computing has been the subject of growing interest in the scientific community. Data visualization is a technique that allows complex information to be represented graphically, making it easier to understand and interpret. On the other hand, quantum computing is an emerging technology that promises to revolutionize the way we process information, offering more efficient solutions to complex problems. The aim of this study is to carry out a systematic literature review to analyze the intersection between data visualization and quantum computing. The methodology employed followed the PRISMA protocol, using systematic and transparent methods to identify, select and critically evaluate relevant studies. The main results of the systematic review made it possible to identify trends, advances, challenges and opportunities in this emerging area. It was possible to see that the integration of data visualization and quantum computing can offer more efficient solutions to complex problems in various areas, such as finance, health and the environment, among others. The final considerations point to the need for more research in this area, as well as the importance of integrating data visualization and quantum computing to solve complex problems in various applications. The convergence of these two innovative areas presents challenges and opportunities for solving complex problems in various applications, and could be a starting point for an era of discovery and innovation.

Keywords: data visualization; quantum computing; visual representations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do campo visual no córtex estriado humano, localizado ao redor da fissura calcarina (C. Ca.).....	21
Figura 2 - Esfera de Bloch no estado $ 0\rangle$	28
Figura 3 - Matrizes de Pauli.....	29
Figura 4 - Fluxograma PRISMA 2020 para apresentação do processo de seleção dos estudos ao longo de uma revisão sistemática.....	32
Figura 5 - Diagrama Prisma 2020	36
Figura 6 - Trabalhos incluídos no estudo	38
Figura 7 - Objetivos de cada estudo.....	40
Figura 8 - Etapas do QDV	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de métodos e ferramentas apresentados por autor	35
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de retorno de estudos por base.....	35
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFQM	<i>Chromatic Framework for Quantum Movies</i>
DNA	<i>DeoxyriboNucleic Acid</i>
FRQA	<i>Flexible Representation of Quantum Audio</i>
FRQI	<i>Flexible Representation for Quantum Image</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IDC	<i>International Data Corporation</i>
IQ	<i>Discriminate In-phase and Quadrature</i>
MCQI	<i>Multi-Channel Representation for Quantum Images</i>
PBE	<i>Prática Baseada em Evidências</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
QDV	<i>Quantum Data Visualization</i>
QGA	<i>Quantum Genetic Algorithm</i>
QiO	<i>Quantum-inspired Optimization</i>
QIP	<i>Quantum Image Processing</i>
QIRs	<i>Quantum Image Representations</i>
QMS	<i>Quantum Movie Scheme</i>
SE	<i>Schroedinger Eigenmaps</i>
VACSEN	<i>Visualization Approach for Noise Awareness in Quantum Computing</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 VISUALIZAÇÃO DE DADOS	19
2.1.1 Cognição e percepção visual.....	20
2.1.2 Processo de visualização	22
2.1.3 Vantagens da Visualização de Dados	23
2.1.4 Formas de Visualização de Dados	25
2.2 COMPUTADOR QUÂNTICO	25
2.2.1 Mecânica quântica e o qubits	26
2.2.2 Portas lógicas quânticas	28
2.2.4 Algoritmo Quântico	29
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA	33
3.2 EXECUÇÃO DA BUSCA.....	34
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	36
4.1 INTEGRAÇÃO ENTRE VISUALIZAÇÃO DE DADOS E COMPUTAÇÃO QUÂNTICA	41
4.2 APLICAÇÕES DA VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM COMPUTAÇÃO QUÂNTICA	43
4.3 DESAFIOS E OPORTUNIDADES	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O mundo gera aproximadamente 2,5 quintilhões de dados por dia, e cerca de 90% dos dados disponíveis foram produzidos nos últimos 3 anos. A International Data Corporation (IDC) projeta um crescimento extraordinário na geração de dados, esperando que a quantidade alcance 175 zettabytes até 2025, marcando um aumento substancial em relação aos 33 zettabytes gerados em 2018 (Reinsel et al., 2017).

No contexto da constante evolução das tecnologias, duas áreas emergentes têm despertado grande interesse e prometem revolucionar a interação com informações e a resolução de problemas complexos. Uma dessas áreas é a visualização de dados, cuja atuação consiste no uso de representações visuais para demonstrar a estrutura e os relacionamentos presentes nos dados, transformando-os em informações e tornando-os mais acessíveis à população (Regly e Souza, 2022).

Conforme Klenzi et al. (2018), os seres humanos compreendem informações por meio de representações visuais, e o estudo da percepção visa melhorar a forma como essas informações são apresentadas. A maioria das definições e teorias da percepção considera esse processo como a maneira pela qual reconhece-se, organiza-se e interpreta-se informações sensoriais. Em outras palavras, a percepção é a maneira como interpreta-se o mundo ao nosso redor, criando uma representação mental desse ambiente, embora essa representação não seja idêntica ao mundo real. A percepção leva em consideração nossos sentidos, como visão, audição, tato, olfato e paladar, dos quais a visão e a audição são os mais estudados. Algumas características perceptuais, como cor, textura e movimento, também são utilizadas na visualização de dados.

Por outro lado, surge a computação quântica que, desde o início da década de 1980, tem sido desenvolvida em várias frentes, incluindo algoritmos eficientes, simulação de sistemas físicos, correção de erros quânticos e uso de portas quânticas (Benioff, 1998), amplificando a velocidade e eficiência dos algoritmos convencionais. O acesso remoto a computadores quânticos e

simuladores, como a IBM e a Amazon, é uma realidade atual. O requisito chave para aproveitar esses benefícios é a conectividade à internet. O potencial de processamento impulsiona o interesse na computação quântica (Mannone et al., 2023).

Diante dessa perspectiva de crescimento exponencial, a pergunta central emerge: como a visualização de dados pode ser explorada de maneira eficaz em sistemas de computação quântica, a fim de lidar com a vastidão de informações produzidas e proporcionar uma compreensão mais profunda dos padrões, relações e *insights* imersos nesse cenário de dados em rápida e constante expansão?

1.1 OBJETIVOS

Para melhor entendimento do trabalho apresentado, seus objetivos foram divididos entre objetivos gerais e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Explorar a integração entre a visualização de dados e a computação quântica, visando compreender estratégias eficazes para lidar com a imensa quantidade de informações geradas no cenário de crescimento exponencial de dados.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos pode-se citar:

- Identificar os princípios e técnicas de visualização de dados mais adequados para aproveitar as vantagens da computação quântica;
- Identificar os desafios e oportunidades da visualização de dados em computadores quânticos;

- Explorar a integração entre as áreas de visualização de dados e computação quântica.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme ressaltado por Pandey et al. (2023), a computação quântica se destaca devido aos princípios quânticos, como superposição, emaranhamento e interferência, que a tornam altamente eficiente na resolução de problemas complexos. A superposição cria um vasto espaço computacional, o emaranhamento acelera a computação e a interferência melhora algoritmos, tornando a computação quântica inovadora.

Simultaneamente, conforme abordado por Krotov e Johnson (2023), enfrenta-se o desafio representado pelo atual volume de dados online, medido em zettabytes, que ultrapassa os limites das tecnologias tradicionais de aquisição e análise de dados. Ferramentas convencionais, como planilhas e bancos de dados relacionais, não conseguem lidar com conjuntos de dados bilionários, resultando em perdas significativas, como no caso da Public Health England durante os testes de COVID-19. Nesse contexto, a utilização de novas ferramentas, como bancos de dados e infraestrutura em nuvem, torna-se essencial.

Por outro lado, o estudo de Vipond et al. (2023) enfatiza a necessidade de superar as limitações que podem comprometer o valor de grandes volumes de dados. Essa abordagem concentra-se na implementação de designs de interface eficazes, permitindo que os usuários identifiquem informações essenciais de maneira rápida e precisa. Isso possibilita que os dados orientem de forma eficaz as decisões dos usuários.

Em conjunto, essas perspectivas destacam a relevância da computação quântica e a importância crítica de gerenciar adequadamente o crescente volume de dados disponíveis. A integração entre visualização de dados e computação quântica surge como uma resposta promissora para enfrentar os

desafios e aproveitar as oportunidades oferecidas por essas duas áreas em constante evolução.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O conteúdo desta monografia foi estruturado em cinco capítulos a fim de facilitar o entendimento acerca do que foi desenvolvido, sendo eles:

O capítulo um apresenta a introdução e contextualiza o trabalho, além de elencar os tópicos a respeito dos objetivos e da justificativa.

No capítulo dois, será abordado o referencial teórico, com a finalidade de justificar as escolhas relacionadas às tecnologias utilizadas, bem como os métodos de desenvolvimento que serão abordados no seguinte capítulo.

A metodologia do trabalho é abordada no capítulo três.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as considerações do trabalho no quinto capítulo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será realizada uma fundamentação teórica sobre os principais temas envolvendo o trabalho.

2.1 VISUALIZAÇÃO DE DADOS

A visualização de dados é uma disciplina fundamental no contexto da análise de informações, desempenhando um papel crucial na ampliação da compreensão humana (Wu et al., 2021). De acordo com a pesquisa de Qin et al. (2020), a visualização de dados se destaca por sua capacidade de traduzir informações abstratas em representações visuais concretas, tais como gráficos, cores e formas, tornando-se, assim, uma poderosa ferramenta de comunicação de informações, especialmente eficaz para indivíduos com uma inclinação visual.

O crescente volume de dados disponível para as organizações tem gerado uma demanda crescente por análises avançadas de dados, necessárias para embasar decisões estratégicas e operacionais. Nesse contexto, a visualização de dados surge como uma escolha natural, permitindo uma compreensão abrangente de conjuntos massivos de dados e facilitando a interpretação dos resultados da análise de dados, em particular para profissionais especializados em análise de dados (Qin et al., 2020).

Simultaneamente, a Visualização da Informação, conforme definida por Freitas et al. (2001), abrange o estudo das principais formas de representações gráficas utilizadas na apresentação de informações. Seu propósito primordial é tornar as informações mais acessíveis e auxiliar o público na extração de novos insights com base no conteúdo apresentado. Essa disciplina multidisciplinar integra conhecimentos de diversos campos, como computação gráfica, interação humano-computador, cartografia e mineração de dados.

A título de exemplo histórico do impacto da visualização da informação, retorna-se a séculos passados, conforme relatado por Dias e Carvalho (2007),

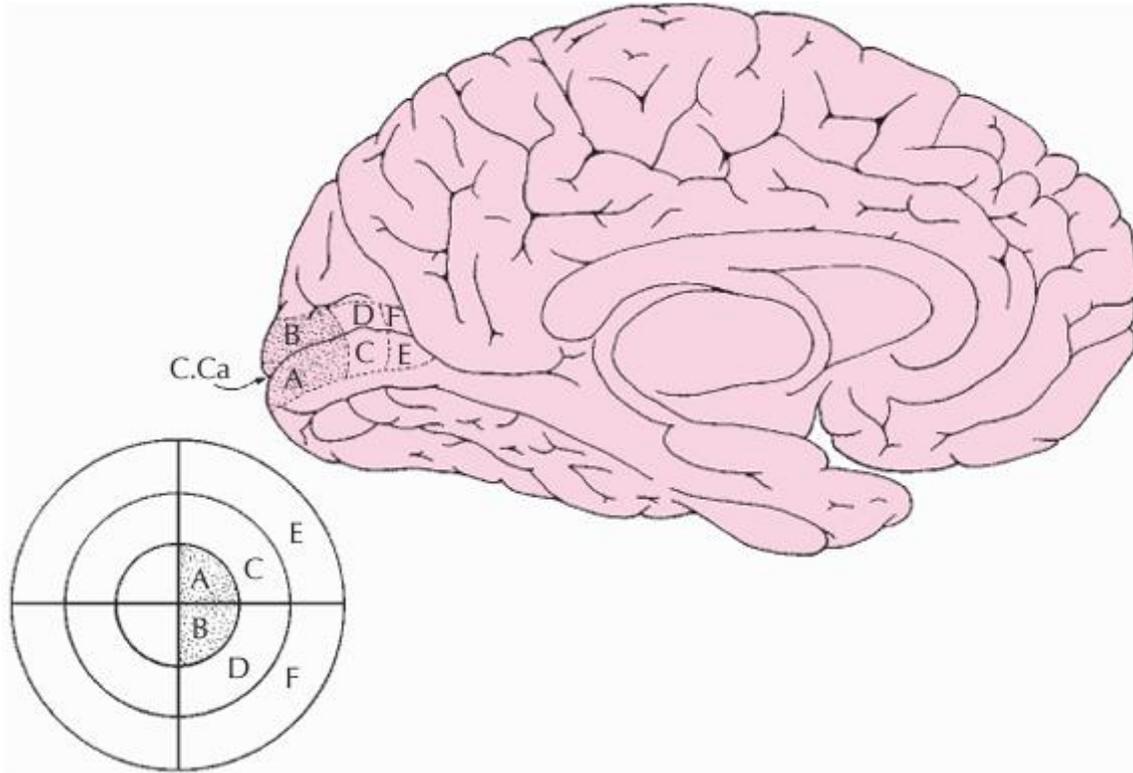
ao Antigo Egito, onde os habitantes utilizavam hieróglifos, um sistema linguístico fundamentado em símbolos gráficos. Ao analisar detalhadamente essas representações e sua organização, historiadores frequentemente desvendavam novos conhecimentos sobre a civilização da época.

Logo, a visualização de dados e a visualização da informação desempenham um papel vital na nossa compreensão e comunicação de informações complexas. À medida que se depara-se com um aumento exponencial na disponibilidade de dados, a habilidade de traduzir esses dados em representações visuais compreensíveis tornou-se uma competência inestimável. Enquanto a visualização de dados concentra-se na apresentação e interpretação de informações quantitativas, a visualização da informação abrange uma gama mais ampla de dados, incluindo informações qualitativas. Ambas as disciplinas têm raízes históricas que remontam a sociedades antigas, onde a representação gráfica de informações era uma ferramenta essencial para a comunicação e compreensão. Hoje, essas áreas continuam a evoluir e a contribuir para a nossa capacidade de tirar insights significativos dos dados que nos cercam.

2.1.1 Cognição e percepção visual

Segundo Conci et al. (2008) a visão é frequentemente considerada o sentido mais rápido, confiável e informativo, e muitas vezes é presumida como algo que ocorre de forma tão natural que dispensa esforço. No entanto, a aparente facilidade da visão é enganosa. Por trás dela está uma inteligência incrivelmente complexa que consome uma parte significativa do córtex cerebral. A visão não é meramente o resultado da percepção passiva; é, na verdade, um processo inteligente de aprendizado e construção ativa. Tudo o que experimenta-se por meio da visão é meticulosamente construído e interpretado pelo cérebro. A Figura 1 apresenta a área central do cérebro que ocupa uma superfície cortical maior do que a área periférica.

Figura 1 - Representação do campo visual no córtex estriado humano, localizado ao redor da fissura calcarina (C. Ca.)



Fonte: Tresguerres *et al.* (2005)

As visualizações aproveitam as notáveis capacidades de processamento do sistema visual humano, oferecendo reconhecimento e comunicação eficientes de padrões de dados. Os símbolos de dados tradicionais baseados em texto apresentam desafios de processamento, enquanto elementos visuais, como representações codificadas por cores, permitem a identificação de padrões sem esforço. No entanto, o processamento visual evoluiu para o mundo natural, levando a potenciais distorções na percepção de dados em exibições artificiais. Gráficos de dados eficazes se alinham à visão e compreensão humana, oferecendo rápida compreensão dos dados por meio de padrões visuais. O design centrado no usuário, incorporando *feedback* e interação, é essencial para criar visualizações de dados impactantes (Zacks e Franconeri, 2020).

Logo, as imagens produzidas pelos sistemas de visualização de dados exploram amplamente a percepção humana, aproveitando as inúmeras vantagens inerentes à capacidade visual humana. De acordo com o dicionário Michaelis (2023), a cognição pode ser definida como o ato de adquirir conhecimento ou a faculdade do conhecimento.

De acordo com Mari e Silveira (2010) o conhecimento frequentemente se baseia de forma direta ou indireta na percepção visual. Elementos visuais como formas, cores, espaçamento e movimento desempenham um papel crucial na compreensão de objetos do mundo. Por exemplo, nossa compreensão de uma árvore envolve a percepção de sua forma, cor das folhas, flores e frutos, tamanho e outros parâmetros, a maioria dos quais tem um componente visual. Mesmo quando se afasta-se de objetos com os quais tem-se experiência física direta, a cognição visual ainda desempenha um papel significativo na nossa compreensão.

A avaliação da eficácia de um padrão que representa dados depende da capacidade humana de perceber sua importância. Ao analisar como os órgãos da visão humana respondem à percepção de padrões, surgem as leis gestálticas, que orientam os designers na criação de padrões que visualmente representam dados de forma a permitir que os seres humanos compreendam profundamente as informações. A taxa de eficácia na percepção de um padrão, como um gráfico que representa dados, formado através da aplicação das leis gestálticas, pode ser objetivamente estimada por meio de características visuais fundamentais, incluindo associação, seleção, ordem, quantidade e intervalo de valores (Tran e Le, 2020).

2.1.2 Processo de visualização

O processo de visualização de dados/informação, conforme definido por Ward *et al.* (2010), consiste em uma série de estágios essenciais que contribuem para a criação eficaz de representações visuais dos dados. Esses estágios são:

- **Modelagem de Dados:** nesta etapa, os dados que serão visualizados, seja por meio de um arquivo ou de uma base de dados, precisam ser estruturados de forma adequada para facilitar a visualização. Isso implica em disponibilizar informações como nome, tipo, tamanho e semântica de cada atributo ou campo dos dados registrados em um formato que permita um acesso rápido e fácil modificação quando necessário.
- **Seleção de Dados:** a seleção de dados envolve a identificação de subconjuntos dos dados que serão potencialmente visualizados. Essa

seleção pode ser realizada totalmente sob o controle do usuário ou por meio de métodos algorítmicos. Os métodos algorítmicos podem incluir a definição de intervalos de tempo específicos ou a detecção automática de recursos de interesse potencial para o usuário.

- **Dados para Mapeamentos Visuais:** o cerne do processo de visualização é a realização do mapeamento dos dados, onde um registro de dados pode ser associado ao tamanho, posição ou cor de um objeto visual. Esse mapeamento geralmente requer o processamento prévio dos dados, que pode envolver a escala, deslocamento, filtragem, interpolação ou subamostragem dos mesmos.
- **Configuração de Parâmetros de Cena (Transformações de Visualização):** assim como nos gráficos tradicionais, o usuário deve especificar vários atributos da visualização que são relativamente independentes dos dados. Isso inclui a seleção de mapas de cores, mapas de som e especificações de iluminação, entre outros.
- **Redefinição ou Geração da Visualização:** a projeção ou o redesenho específico dos objetos de visualização pode variar de acordo com o tipo de mapeamento utilizado. Técnicas como sombreado ou mapeamento de texturas podem ser aplicadas, embora muitas técnicas de visualização exijam apenas o desenho de linhas e polígonos uniformemente sombreados. Além de exibir os dados em si, a maioria das visualizações também inclui informações complementares para facilitar a interpretação, como eixos, legendas e anotações.

Esse processo, estruturado em etapas claras, é fundamental para transformar dados em representações visuais significativas, contribuindo para a compreensão e interpretação dos dados por parte dos usuários.

2.1.3 Vantagens da Visualização de Dados

A visualização de dados encontra aplicações em diversos domínios, abrangendo áreas sociais, econômicas, políticas e científicas. Ela simplifica a compreensão das necessidades fundamentais de uma comunidade, bem como a identificação de suas deficiências. Além disso, oferece uma abordagem eficaz

para a tomada de decisões, substituindo relatórios extensos por gráficos e representações interativas. A visualização também permite a exploração de relações simétricas e assimétricas, contribuindo para a elucidação de conceitos complexos (Aguilar et al., 2017).

Ware (2010) destaca diversas vantagens da visualização de dados:

- **Compreensão de Grandes Volumes de Dados:** a visualização capacita a compreensão de enormes volumes de dados, tornando as informações essenciais imediatamente acessíveis, mesmo quando se lida com mais de um milhão de medições.
- **Identificação de Propriedades Emergentes:** a visualização possibilita a percepção de propriedades emergentes que não foram previamente previstas. A identificação de padrões frequentemente serve como base para novas descobertas.
- **Detecção Rápida de Problemas nos Dados:** a visualização frequentemente destaca problemas nos próprios dados de forma imediata. Erros e artefatos nos dados se tornam evidentes com uma visualização adequada, tornando-a extremamente valiosa para o controle de qualidade.
- **Revelação de Informações sobre a Coleta de Dados:** uma visualização não apenas fornece informações sobre os dados em si, mas também sobre a forma como foram coletados. Isso ajuda a identificar a origem de eventuais erros ou distorções nos dados.
- **Compreensão de Dados em Diferentes Escalas:** a visualização facilita a compreensão de características tanto em grande escala quanto em pequena escala dos dados, permitindo uma análise abrangente e detalhada.

Essas vantagens destacam o papel fundamental da visualização de dados como uma ferramenta poderosa para a compreensão, interpretação e exploração de informações complexas em uma ampla gama de contextos.

2.1.4 Formas de Visualização de Dados

No trabalho de Ward *et al.* (2010), é evidenciado como representações abstratas de dados, como gráficos e tabelas, evoluíram além de suas aplicações originais, como em negociações e análises econômicas, e tornaram-se amplamente empregadas em diversos cenários. A visualização de dados oferece uma representação visual de objetos que abrange dados, algoritmos, resultados de cálculos, processos, controles do usuário e outros elementos de aplicativos. Essas representações visuais transmitem informações por meio de gráficos gerados por computador, permitindo que os usuários interajam diretamente com o aplicativo em visualizações interativas, muitas vezes dispensando a necessidade de menus. Em alguns casos, um aplicativo pode ser completamente conduzido por meio de suas visualizações.

Portanto, é crucial avaliar e caracterizar os atributos associados aos dados a serem representados com base em diversos critérios. A seleção adequada desses critérios é de suma importância para sua representação visual, sendo considerada uma das fases fundamentais e talvez a mais significativa e desafiadora em um processo de visualização computacional, que leva em consideração os princípios essenciais da percepção humana (Tavares e Alexandre, 2007).

2.2 COMPUTADOR QUÂNTICO

Um computador quântico representa uma revolução na computação, pois realiza cálculos aproveitando as propriedades fundamentais da mecânica quântica. Em contraste com o computador clássico, que utiliza circuitos elétricos e portas lógicas para manipular bits, o computador quântico opera por meio de circuitos quânticos que se baseiam em portas lógicas quânticas, manipulando sua unidade fundamental, o qubit. Essa mudança paradigmática representa uma transformação significativa em relação à computação clássica (Silva, 2018).

Essa transformação é definida por Pérez-Delgado e Kok (2011) como a capacidade de um computador quântico de eficientemente executar um algoritmo quântico. Esses algoritmos consistem em sequências de bits clássicos que representam operações quânticas, expressas como portas quânticas. O computador quântico recebe essas sequências como entrada e gera outra sequência de bits como saída, com a distribuição de probabilidade do resultado seguindo as previsões da teoria quântica. Além disso, o tempo necessário para o computador produzir a saída está diretamente relacionado à complexidade do algoritmo. Essa capacidade define a essência revolucionária da computação quântica em relação à clássica.

2.2.1 Mecânica quântica e o qubits

Um qubit, ou bit quântico, difere dos bits clássicos ao ser uma unidade de informação quântica representada por um vetor em um espaço vetorial bidimensional complexo. Conforme Machado (2022) esse conceito abrange uma ampla gama de sistemas quânticos, como a polarização de fótons, o spin de elétrons e os estados fundamentais e excitados dos átomos. Contrariamente ao bit clássico, um qubit possui uma variedade contínua de valores possíveis, permitindo que qualquer estado seja uma combinação linear de apenas dois estados base.

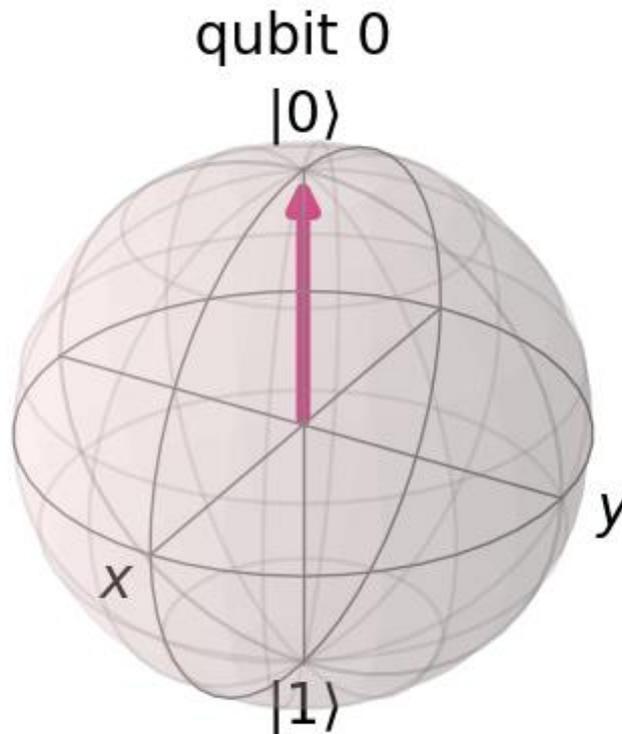
Um computador quântico é um tipo de computador que usa a mecânica quântica para processar informações. Como explicado por Nielsen e Chuang (2010), ao contrário dos computadores clássicos, que usam bits para armazenar informações, os computadores quânticos usam qubits, que podem estar em vários estados ao mesmo tempo. Isso permite que os computadores quânticos processem informações muito mais rapidamente do que os computadores clássicos. Os computadores quânticos têm o potencial de revolucionar a computação e ajudar a resolver problemas que são atualmente impossíveis de resolver com a tecnologia atual.

A mecânica quântica é a base teórica que permite a existência dos qubits e suas propriedades únicas, como explicado por Feitosa et al. (2016). Essas propriedades são exploradas na computação quântica para realizar

operações em paralelo e resolver problemas que seriam impraticáveis para a computação clássica. A superposição permite que um qubit possa estar em uma combinação linear de estados, enquanto o emaranhamento permite que dois ou mais qubits estejam correlacionados de tal forma que o estado de um qubit afeta o estado dos outros qubits, mesmo que eles estejam fisicamente separados. Essas propriedades são fundamentais para a realização de operações quânticas em paralelo.

Os qubits são unidades quânticas que podem assumir estados superpostos, representando probabilidades para valores de bits. Embora um qubit possa ser 0, 1 ou algo entre eles, a saída final é sempre um bit clássico. A verdadeira utilidade dos qubits se destaca quando usados em registradores, permitindo representar 2 bits clássicos por qubit. Isso leva a um crescimento exponencial na capacidade de transmitir informações, onde apenas 300 qubits podem representar uma quantidade muito maior do que o número de átomos no universo (Valadares et al., 2023).

A esfera de Bloch é uma representação visual útil para entender a mecânica quântica de um qubit como descrito por Figueiredo (2023). Ela é uma esfera de raio 1 que contém todos os estados possíveis de um bit quântico. Os estados puros, que são observados sem sobreposição, são representados na superfície da esfera, enquanto os estados mistos são visualizados em seu interior. Qualquer estado de qubit pode ser representado na esfera de Bloch, e toda transformação em um qubit pode ser entendida como uma rotação na esfera de Bloch. A esfera de Bloch, conforme apresentada na Figura 2, é uma ferramenta importante para entender as portas quânticas, que são responsáveis por executar modificações nos estados quânticos de um sistema.

Figura 2 - Esfera de Bloch no estado $|0\rangle$ 

Fonte: Gunzi (2020)

2.2.2 Portas lógicas quânticas

A computação quântica, em comparação com a computação clássica, é fundamentada na construção de um circuito quântico composto por entidades que transportam e operam sobre a informação quântica. Pode-se, assim, identificar os componentes encarregados da manipulação da informação quântica no processo de computação. Esses componentes são conhecidos, conforme Oliveira (2019), como portas lógicas quânticas e são caracterizados como operações unitárias que atuam sobre o vetor de estado do sistema.

Uma porta lógica quântica é um dispositivo que executa uma operação unitária fixa em qubits selecionados em um intervalo de tempo específico, e uma rede quântica é composta por portões lógicos quânticos cujas etapas computacionais são coordenadas temporalmente. As saídas de alguns portões

são conectadas por fios às entradas de outros portões, e o tamanho da rede é determinado pelo número de portões que ela contém (Ekert *et al.*, 2008).

Portas quânticas desempenham um papel crucial na computação quântica, permitindo a manipulação de qubits, as unidades de informação quântica. Portas de um único qubit, como X (inversão de bit), Y (inversão de fase), Z (inversão de fase), H (Hadamard), S (fase), e T (fase mais complexa), oferecem operações para inverter, criar superposição e aplicar fases em qubits individuais. As portas de vários qubits, como CNOT (controle de bit), SWAP (troca de bit), CCNOT (controle de bit), Toffoli, e Fredkin, permitem operações de controle, permutação e complexas operações lógicas entre múltiplos qubits. Essas portas são os blocos de construção essenciais na construção de circuitos quânticos, desempenhando um papel fundamental na computação quântica e na resolução de problemas complexos (Williams, 2011).

Todas as matrizes de Pauli, por exemplo, podem ser encaradas como portas lógicas quânticas, conforme apresenta a Figura 3:

Figura 3 - Matrizes de Pauli

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \sigma_y &= \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \\ \sigma_z &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.4 Algoritmo Quântico

Na programação de computadores, a exploração das capacidades de hardware é essencial, especialmente em computação quântica. Diferentemente dos computadores clássicos, onde os programadores se concentram na lógica de recursos, nos quânticos, os qubits em estados superpostos introduzem uma nova lógica. Isso envolve preparação de estados, transformações unitárias e

medições finais, sem observar qubits durante operações. Compreender e aplicar essa lógica é fundamental para desvendar o potencial da computação quântica, como discutido por José *et al.* (2013).

Primeiramente, é importante definir o que constitui um algoritmo clássico antes de abordar a perspectiva quântica, conforme descrito por Okamoto (2015). O autor define um algoritmo como um conjunto de passos destinados a executar uma tarefa específica. Nos dias de hoje, os computadores dispõem de uma variedade de programas que facilitam a realização de tarefas cotidianas, desde aplicativos simples, como uma calculadora, até soluções mais complexas. Entretanto, com a ascensão da computação quântica, esses algoritmos tradicionais estão se tornando obsoletos.

É conveniente empregar a função de onda como um elemento central da nova linguagem da mecânica quântica, no qual em escala atômica ou subatômica, uma partícula tal como um elétron não pode ser descrito como um simples ponto, em vez disso é usado a função de ondas pois permite calcular probabilidades de ocorrência de eventos quânticos, como a posição ou momento de uma partícula, ou pode ser utilizada para descrever fenômenos como interferência e difração, que são características exclusivas da mecânica quântica (Custodio et al., 2012).

De acordo com Oliveira (2019), algoritmos eficientes operam em "tempo polinomial", aumentando sua complexidade de acordo com um polinômio do tamanho da entrada. Um exemplo notável é o algoritmo de fatoração de Shor, que supera o método clássico em eficiência. Esse algoritmo combina uma abordagem clássica baseada na teoria dos números com uma parte quântica que aproveita propriedades da mecânica quântica, como superposição e interferência, impulsionada pela introdução da transformada de Fourier quântica. Essa transformada, amplamente usada na física, mapeia funções do domínio temporal para o domínio das frequências, tendo aplicações cruciais nesse contexto.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente seção descreve a metodologia empregada na condução desta revisão sistemática que tem como objetivo analisar a literatura existente sobre a interseção entre Visualização de Dados e Computação Quântica. A revisão sistemática é descrita pelo autor Brizola e Fantin (2017) como um tipo de estudo que busca responder a uma pergunta específica, utilizando métodos sistemáticos e transparentes para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos relevantes e, em seguida, coletar e analisar os dados desses estudos incluídos na revisão. Cujo objetivo é produzir uma síntese rigorosa e confiável da evidência disponível sobre a pergunta de pesquisa

De acordo com De-la-Torre-Ugarte-Guanilo (2011), a Revisão Sistemática desempenha um papel crucial na identificação e síntese das melhores evidências para embasar propostas de mudanças. A integração progressiva de revisões sistemáticas quantitativas e qualitativas na tomada de decisões facilita a aplicação de evidências científicas na prática. A metodologia rigorosa da Revisão Sistemática minimiza o viés e confere qualidade à metodologia, tornando-a consistente para embasar a Prática Baseada em Evidências (PBE).

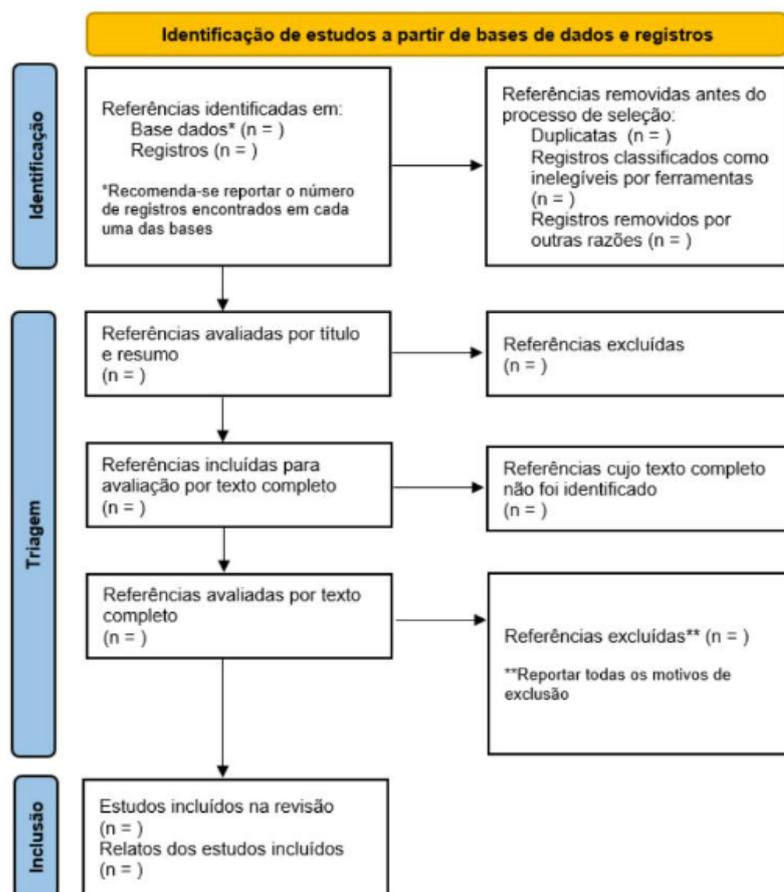
Segundo Galvão e Ricarte (2019), o protocolo desempenha um papel fundamental em revisões sistemáticas da literatura, pois estabelece as diretrizes e critérios a serem seguidos ao longo de todo o processo de pesquisa. Ele deve conter informações detalhadas sobre a questão de pesquisa, os critérios de inclusão e exclusão dos estudos, as bases de dados a serem consultadas, estratégias de busca, extração de dados, avaliação da qualidade dos estudos e síntese dos resultados. O protocolo assegura transparência e reprodutibilidade na pesquisa, possibilitando que outros pesquisadores possam replicar o estudo e verificar a validade dos resultados. Além disso, contribui para evitar vieses e erros na seleção e análise dos estudos, aumentando a confiabilidade e a qualidade da revisão de literatura.

O protocolo a ser empregado nesta revisão sistemática será o PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Este

protocolo é reconhecido internacionalmente por estabelecer diretrizes claras e transparentes para a realização de revisões sistemáticas.

Conforme o autor Page (2021), o PRISMA consiste em um conjunto abrangente de diretrizes destinadas a orientar a elaboração de relatórios de revisões sistemáticas e meta-análises. Sua concepção tem como principal objetivo proporcionar aos autores uma estrutura clara e transparente para documentar todo o processo da revisão sistemática, abrangendo a seleção de estudos, a avaliação da qualidade dos estudos incluídos e a síntese dos resultados obtidos. Na figura 4 pode-se observar o Fluxograma do protocolo PRISMA 2020.

Figura 4 - Fluxograma PRISMA 2020 para apresentação do processo de seleção dos estudos ao longo de uma revisão sistemática



Fonte: Dourado (2022)

Para seguir o protocolo, adotou-se o Covidence, que emprega o formato PRISMA para resumir e relatar os resultados da revisão sistemática. Nas palavras de Babineau (2014), o Covidence é uma ferramenta de revisão

sistemática online desenvolvida com o propósito de aprimorar a eficiência do processo de síntese de evidências.

A ferramenta possibilita aos usuários conduzirem os passos da revisão sistemática de maneira mais fluída, teoricamente evitando as complicações logísticas e organizacionais frequentemente associadas a essas revisões. Com o Covidence, os usuários podem importar e classificar citações, analisar o texto completo, selecionar estudos, avaliar a qualidade, extrair dados e exportar informações, proporcionando uma abordagem integrada para condução eficaz de revisões sistemáticas.

3.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

De acordo com Galvão (2019), as revisões sistemáticas da literatura contêm um componente crucial, que é a estratégia de busca, pois determina a inclusão ou exclusão de estudos na análise. Uma estratégia eficaz deve ser sensível para capturar estudos relevantes e específicos para evitar estudos irrelevantes ou duplicados. É essencial que a estratégia seja transparente, registrada e adaptada para diferentes bases de dados, garantindo a possibilidade de replicação e verificação por outros pesquisadores. O uso de termos de busca padronizados e operadores booleanos é recomendado para otimizar a busca. A estratégia deve ser atualizada ao longo do processo de pesquisa.

A estratégia de busca de literatura foi desenvolvida com o intuito de localizar estudos relevantes nas bases de dados: Scopus, Web of Science, Science Direct e IEEE Xplore. Para alcançar esse objetivo, foram utilizadas as seguintes palavras-chave e operadores booleanos: (*"data visualization" OR "data visualisation" OR "data graphics"*) AND (*"quantum computing" OR "quantum information processing" OR "quantum algorithms"*). Essa estratégia busca abarcar de forma abrangente as publicações relacionadas ao tópico em questão.

A Scopus, por exemplo, é uma das maiores bases de dados multidisciplinares que abrange uma ampla gama de disciplinas. Para realizar uma busca eficaz na Scopus, é aconselhável utilizar operadores booleanos, truncamento e palavras-chave específicas relacionadas ao tema de pesquisa. Na Scopus, a opção de pesquisa avançada proporciona maior precisão, permitindo a aplicação de filtros para restringir os resultados.

A base *Science Direct* é uma plataforma que fornece acesso a uma vasta coleção de periódicos científicos. Ao realizar buscas no *Science Direct*, é possível utilizar operadores booleanos, bem como palavras-chave específicas relacionadas ao tópico de interesse. A plataforma também oferece a capacidade de refinar os resultados por meio de filtros, como tipo de documento, data e acesso aberto.

A *Web of Science* é amplamente reconhecida por sua abrangência e qualidade. Ela permite buscas avançadas, incluindo operadores booleanos e uso de termos de pesquisa relacionados ao campo de estudo. A *Web of Science* também oferece opções para refinar os resultados por categorias de pesquisa, como artigos, revisões, conferências e patentes, entre outros.

A *IEEE Xplore* é uma base de dados focada em engenharia e tecnologia. Para conduzir uma busca eficaz na *IEEE Xplore*, é recomendável o uso de palavras-chave específicas relacionadas à área de estudo. Além disso, a plataforma oferece filtros para refinar os resultados por tipo de conteúdo, tais como conferências, revistas ou padrões.

3.2 EXECUÇÃO DA BUSCA

A investigação foi conduzida durante o segundo semestre de 2023. Das bases de dados eletrônicas examinadas, a ScienceDirect foi a que forneceu a maior quantidade de artigos com base na *string* de busca. Inicialmente, uma análise dos títulos e resumos dos artigos foi realizada para verificar a conformidade com os critérios de inclusão. Após a avaliação inicial, os artigos considerados pertinentes foram examinados em sua totalidade.

Posteriormente, foram excluídos os artigos que não tratavam da visualização de dados na computação quântica, bem como aqueles para os quais não foi possível obter acesso ao texto completo. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na execução da busca.

Tabela 1 - Número de retorno de estudos por base

Base	Nº de retorno
IEEE Xplore	28
Scopus	14
Science Direct	88
Web of Science	6

Fonte: Elaborado pelo autor

Dos resultados obtidos, 4 ferramentas e 3 metodologias foram discernidos, conforme o Quadro 1. Essas descobertas serão detalhadas no capítulo subsequente, proporcionando uma análise mais aprofundada e destacando as nuances de cada ferramenta, metodologia e tipo de estudo identificados durante a pesquisa. Essa abordagem permitirá uma compreensão mais completa das características específicas que permeiam o cenário estudado, contribuindo assim para uma análise mais abrangente e informada.

Quadro 1 - Lista de métodos e ferramentas apresentados por autor

Autor	Nome do método ou ferramenta	Tipo
Chen	Schroedinger Eigenmaps	Método
Yan et al.	ASQM	Ferramenta
Zhang et al.	Improved Kriging	Método
Kuo et al.	AngelQ	Ferramenta
Tao et al.	ShorVis	Método
Ruan et al.	VACSEN	Ferramenta
Li et al.	QDV	Ferramenta

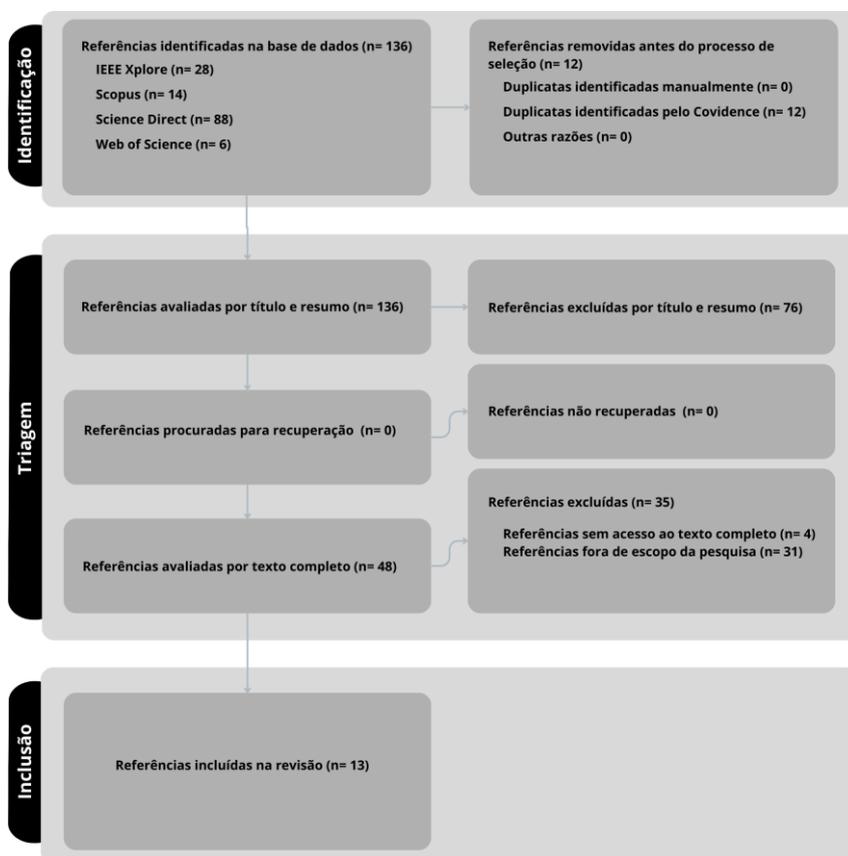
Fonte: Elaborado pelo autor

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em meio ao vasto panorama de pesquisa que une os domínios da computação quântica e visualização de dados, se propôs uma jornada detalhada pelos *insights* e descobertas reunidos na revisão sistemática. Utilizando um rigoroso conjunto de critérios de inclusão e exclusão, delineou-se um conjunto seletivo de artigos que abordam desafios, oportunidades e inovações nessa convergência tecnológica.

O diagrama PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), representado na Figura 5, oferece uma visão panorâmica dos artigos selecionados, destacando o processo de seleção e os critérios utilizados para garantir a qualidade e relevância das contribuições examinadas. Este diagrama serve como um guia visual transparente, delineando as etapas metodológicas adotadas para identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos na revisão.

Figura 5 - Diagrama Prisma 2020



Fonte: Elaborado pelo autor

Após um rigoroso processo de inclusão e exclusão baseado nos critérios predefinidos dos últimos 10 anos, uma seleção refinada de artigos, com acesso completo, foi estabelecida para a revisão sistemática, refletindo assim as tendências e avanços mais atuais na interseção entre computação quântica e visualização de dados.. Estes artigos, provenientes de diversas fontes acadêmicas, abordam de maneira abrangente a interseção entre computação quântica e visualização de dados. Cada trabalho foi minuciosamente analisado, considerando sua contribuição para o entendimento e avanço nesse campo emergente.

A Figura 6 apresenta os artigos selecionados, fornecendo informações cruciais como o nome do artigo, autores, ano de publicação, fonte do artigo e o caráter do estudo (Teórico ou Prático). Essa compilação visa oferecer uma visão panorâmica dos trabalhos escolhidos, destacando a diversidade de abordagens e contribuições na convergência dessas duas áreas inovadoras.

Figura 6 - Trabalhos incluídos no estudo

Autor	Fonte	Ano	Título	Caráter do estudo
Chen	IEEE Xplore	2020	Schroedinger Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Image Classification	Teórico
Bethel et al.	IEEE Xplore	2023	Quantum Computing and Visualization: A Disruptive Technological Change Ahead	Teórico
Yan et al.	IEEE Xplore	2018	Audio-Visual Synchronisation in Quantum Movies	Teórico
Zhang et al.	IEEE Xplore	2018	Improved Kriging for Drilling Visualization Based on Quantum Genetic Algorithm	Teórico
Wei	IEEE Xplore	2022	The Construction of a Visual Quantum Interactive System for Fuzzy Evaluation of Financial Budget Performance based on Big Data	Teórico
Huang e Li	IEEE Xplore	2018	A Survey of the Current Status of Research on Quantum Games	Teórico
Kuo et al.	IEEE Xplore	2023	Quantum Computer-Aided Design Automation	Prático
Raikov	Science Direct	2018	Cognitive Modelling Quality Rising by Applying Quantum and Optical Semantic Approaches	Teórico
Aggarwal et al.	Science Direct	2023	Quantum healthcare computing using precision based granular approach	Prático
Tao et al.	IEEE Xplore	2017	ShorVis: A comprehensive case study of quantum computing visualization	Teórico
Ruan et al.	IEEE Xplore	2023	VACSEN: A Visualization Approach for Noise Awareness in Quantum Computing	Prático
Quiroga et al.	IEEE Xplore	2021	Discriminating Quantum States with Quantum Machine Learning	Prático
Li et al.	Science Direct	2022	Quantum data visualization: A quantum computing framework for enhancing visual analysis of data	Teórico

Fonte: Elaborado pelo autor

Na busca por compreender a interseção entre computação quântica e visualização de dados, a revisão sistemática destacou uma seleção diversificada de artigos, cada um com objetivos distintos. Cada pesquisa aborda desafios

específicos e apresenta oportunidades únicas, consolidando-se como peças cruciais para o entendimento e avanço nessa área promissora.

A Figura 7 resume de forma concisa os objetivos fundamentais de cada artigo selecionado, oferecendo uma visão panorâmica dos propósitos que direcionaram cada investigação. Essa compilação visa destacar a variedade de metas estabelecidas pelos pesquisadores, demonstrando a riqueza e a abrangência dos esforços empreendidos para desvendar os intrincados vínculos entre computação quântica e visualização de dados.

Figura 7 - Objetivos de cada estudo

Título	Objetivo
Schroedinger Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Image Classification	Proposta de um novo método para classificação de imagens de glaucoma que melhora significativamente o desempenho de reconhecimento.
Quantum Computing and Visualization: A Disruptive Technological Change Ahead	Explorar a interação entre os campos de Visualização e Computação Quântica.
Audio-Visual Synchronisation in Quantum Movies	O principal objetivo do estudo foi propor um framework de sincronização de áudio e visual para filmes quânticos (ASQM) que possa se unir ao conteúdo de áudio para criar filmes quânticos falados.
Improved Kriging for Drilling Visualization Based on Quantum Genetic Algorithm	Apresentar uma técnica de interpolação eficaz para a construção de modelos tridimensionais na indústria de perfuração.
The Construction of a Visual Quantum Interactive System for Fuzzy Evaluation of Financial Budget Performance based on Big Data	O estudo tem como objetivo resolver o problema de avaliação de desempenho orçamentário financeiro, que é um desafio importante para as empresas de proteção ambiental na China.
A Survey of the Current Status of Research on Quantum Games	Objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral da pesquisa em jogos quânticos, incluindo uma análise da rede social de referências bibliográficas, uma revisão dos principais modelos de jogos quânticos e uma discussão das principais áreas de aplicação.
Quantum Computer-Aided Design Automation	Apresentar o sistema angelQ, uma ferramenta de automação de design quântico que utiliza um algoritmo de otimização inspirado em conceitos da mecânica quântica, chamado Qio, para realizar a síntese de circuitos quânticos e reversíveis.
Cognitive Modelling Quality Rising by Applying Quantum and Optical Semantic Approaches	Abordar a questão de criar semântica cognitiva que leve em consideração fatores transcendentais, de pensamento e de sentimento.
Quantum healthcare computing using precision based granular approach	É apresentar informações sobre o potencial da computação quântica na área da saúde, especificamente em relação à precisão do diagnóstico.
ShorVis: A comprehensive case study of quantum computing visualization	Apresentar a plataforma ShorVis, uma ferramenta de visualização interativa para o algoritmo de Shor e outros algoritmos quânticos.
VACSEN: A Visualization Approach for Noise Awareness in Quantum Computing	Uma nova abordagem de visualização para alcançar a conscientização do ruído na computação quântica.
Discriminating Quantum States with Quantum Machine Learning	Explorar o mundo emocionante dos algoritmos de aprendizado de máquina quântica e seu potencial para acelerar as rotinas básicas de álgebra linear quântica. Eles propõem e analisam um algoritmo quântico k-means para discriminar estados quânticos, alcançando alta fidelidade de atribuição no dispositivo IBMQ.
Quantum data visualization: A quantum computing framework for enhancing visual analysis of data	É apresentar um novo framework para visualização de dados usando computação quântica, chamado QDV.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 INTEGRAÇÃO ENTRE VISUALIZAÇÃO DE DADOS E COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

Com o objetivo de realizar uma análise mais apurada do domínio, discorrer-se-á acerca dos principais achados desta pesquisa.

Os autores Li et al. (2022) propuseram o *Quantum Data Visualization* (QDV), com o propósito de extrair informações visuais úteis de grandes quantidades de dados. De acordo com os autores, QDV utiliza efeitos da mecânica quântica para estabelecer interações mais eficientes entre as ferramentas de visualização e os usuários, permitindo uma compreensão mais eficaz dos dados.

O autor Chen (2020) destaca a aplicação de algoritmos quânticos, como o modelo de computação de Feynman, a teoria de processamento de Deutsch, o algoritmo de fatoração de números grandes de Shor e o algoritmo de busca quântica de Grover, para melhorar as técnicas de processamento de imagem existentes. Com o objetivo de explorar as propriedades únicas da computação quântica para melhorar a eficiência e a precisão do processamento de imagem.

O autor Zhang et al. (2018) apresenta o *Improved Kriging*, que é uma técnica de interpolação que utiliza Algoritmo Genético Quântico (QGA) para otimizar a seleção de parâmetros do modelo de variograma. O QGA é um tipo de algoritmo genético que usa princípios da mecânica quântica para melhorar o processo de otimização. O *Kriging* é escolhido porque é um método de interpolação linear e não tendencioso que leva em consideração a correlação espacial dos dados. No entanto, o autor menciona que a seleção dos parâmetros do modelo de variograma no *Kriging* tradicional é subjetiva e pode afetar a precisão da interpolação. Portanto, o autor propõe o *Improved Kriging*, que utiliza Algoritmo Genético Quântico para otimizar a seleção de parâmetros do modelo de variograma e melhorar a precisão da interpolação.

O autor Kuo et al. (2023) apresenta o sistema angelQ, que oferece serviços de computação quântica em nuvem e utiliza o algoritmo QiO, que é inspirado em conceitos da mecânica quântica, para realizar a síntese de circuitos quânticos e reversíveis. Esse algoritmo é capaz de resolver diferentes tipos de

problemas de otimização e é uma das principais ferramentas do sistema para a automação de *design* quântico. O *angelQ* possui interfaces de visualização que permitem aos usuários verificar o processo de otimização e a correção dos circuitos sintetizados. Essas interfaces apresentam o passo a passo do processamento matemático do circuito quântico.

O autor Raikov (2018) discute a arquitetura de processadores ópticos especiais, que são projetados para integrar a arquitetura de supercomputadores, computadores quânticos tradicionais e processadores ópticos reais para processamento de dados analógicos de imagem. Além disso, destaca a necessidade de materiais especiais para memória holográfica multidimensional regravável, que atualmente não existem. Esses materiais são necessários para permitir a gravação de múltiplas camadas de dados em um único ponto de memória, o que é importante para o processamento de imagens em tempo real e outras tarefas complexas.

Yan et al. (2018) introduz um *framework* inovador para sincronização áudio-visual em filmes quânticos, visando fortalecer a integração do conteúdo de áudio em filmes falados baseados em MCQI (Imagem Quântica de Vários Canais). O estudo propõe a representação e produção de filmes com áudio e visual em computadores quânticos, destacando a utilização de tecnologias como Processamento de Imagem Quântica (QIP), Representações Quânticas de Imagem (QIRs), Esquema de Filme Quântico de Canal Múltiplo (CFQM), Representação Flexível de Áudio Quântico (FRQI), entre outras. O *framework* compreende a codificação de cada quadro por meio de MCQI e a gravação da amplitude do conteúdo de áudio em cada instante de tempo com FRQA. A sincronização é alcançada por meio de uma sequência quântica de tempo (QMS).

No estudo conduzido por Aggarwal et al. (2023), é abordado o potencial impacto da computação quântica no domínio da saúde, com foco na melhoria da precisão diagnóstica e na personalização do tratamento para os pacientes. O autor destaca o *framework Quantum Data Visualization* (QDV) como uma ferramenta para aprimorar a análise visual de dados por meio da computação quântica. Ressalta-se a necessidade identificada pelo autor de uma ferramenta eficaz para gerenciar o crescente volume de dados, além de converter problemas

complexos em tarefas perceptuais para otimizar o desempenho do *framework*. O estudo também destaca o potencial da computação quântica no rápido sequenciamento de DNA e no aprimoramento de sistemas de imagem mais eficientes, oferecendo um nível granular avançado para visualização e diagnóstico médico.

Quiroga et al. (2021) destaca que um estágio crucial na implementação do algoritmo qk-means reside na visualização dos dados. Este algoritmo, uma variante do k-means convencional, técnica de aprendizado de máquina não supervisionado, empregada para agrupar dados em *clusters*. A representação visual dos dados assume papel significativo na determinação da separabilidade dos *clusters*. Adicionalmente, o qk-means faz uso de operações fundamentais de álgebra linear, como multiplicação de matriz e vetor, para realizar a discriminação de estados quânticos. Tais operações são executadas no dispositivo quântico IBMQ, utilizado como meio de teste para o algoritmo. A visualização dos dados desempenha uma função crucial no processo de avaliação, capacitando os pesquisadores a examinar a precisão do algoritmo e a identificar eventuais problemas de *crosstalk* em pares específicos de qubits.

4.2 APLICAÇÕES DA VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

A visualização de dados desempenha um papel crucial na interface entre conceitos complexos da computação quântica e a compreensão prática por parte dos usuários. As aplicações da visualização de dados nesse contexto abrangem diversas áreas, demonstrando seu potencial na melhoria da interpretação, interação e eficácia de algoritmos quânticos. Abaixo, serão destacadas as principais aplicações identificadas nas pesquisas apresentadas.

No estudo de Chen (2020), aplica-se o método de aprendizado de variedades e redução de dimensionalidade *Schroedinger Eigenmaps* (SE) a um conjunto de dados de imagens de fundo de retina para extrair os primeiros cinquenta autovetores ordenados do operador de *Schroedinger* e fazer os

cinquenta correspondentes autovalores como recursos de imagem. Em seguida, usa-se esses recursos para melhorar a precisão da classificação de reconhecimento de imagem binária. Os resultados mostram que, após a transformação do diagrama do circuito quântico, o desempenho de reconhecimento dos dados de imagem na distribuição espacial de redução de dimensionalidade do SE foi significativamente melhorado para a classificação de imagem binária. Isso demonstra o potencial do processamento de transformação quântica e visualização de informações quânticas para exibir dados complexos e produzir um novo método para analisar e exibir dados. Ao melhorar a eficiência e a precisão do processamento e análise de imagens, essa abordagem tem importantes implicações para o diagnóstico e tratamento de várias doenças oculares.

O autor Bethel et al. (2023) reconhece o potencial disruptivo da computação quântica e destaca os desafios na visualização de conceitos abstratos, como estados de superposição e emaranhamento. A natureza probabilística da mecânica quântica torna difícil a visualização desses conceitos, e a interpretação visual pode ser enganosa. No entanto, o artigo destaca a importância de interfaces visuais para facilitar a compreensão de estados quânticos complexos e tornar a computação quântica mais acessível a um público mais amplo. As interfaces visuais podem ajudar a representar visualmente conceitos abstratos e complexos, permitindo que os usuários interajam com sistemas quânticos e entendam melhor seu comportamento.

O *framework* de sincronização áudio-visual para filmes quânticos (ASQM) proposto por Yan et al. (2018) pode ser expandido para incluir operações baseadas em conteúdo para aplicações multimídia avançadas. Isso significa que o *framework* pode ser usado para criar e processar conteúdo multimídia mais complexo, como compressão e marca d'água de áudio e vídeo quânticos. Essa expansão pode levar a avanços significativos em tecnologias de processamento de informações multimídia quânticas.

A aplicação do *Improved Kriging* com otimização quântica pode ser útil na visualização de dados na indústria de perfuração conforme Zhang et al. (2018). Com a aplicação da tecnologia de visualização em três dimensões, os dados geológicos e de perfuração podem ser combinados para exibição em um

ambiente tridimensional. Isso permite que os engenheiros de perfuração analisem o ambiente subterrâneo complexo de acordo com os gráficos de visualização 3D desses dados, melhorando assim a capacidade de operação de perfuração. No entanto, os dados obtidos no processo de perfuração são sempre discretos e esparsos, e a interpolação é necessária para estabelecer um modelo geológico tridimensional. A precisão da interpolação tem uma influência significativa no modelo geológico. A aplicação do *Improved Kriging* com otimização quântica pode melhorar a precisão da interpolação e, portanto, melhorar a qualidade do modelo geológico tridimensional.

Wei (2022) propôs um sistema visual quântico interativo para a visualização clara e intuitiva de resultados de avaliação, utilizando mecânica quântica para processamento de dados. Este sistema oferece potenciais vantagens em velocidade e capacidade de processamento em comparação com computadores clássicos, representando dados em um espaço de Hilbert. A proposta inclui a construção de uma interface do usuário para entrada de dados e seleção de indicadores, juntamente com um módulo de visualização apresentando gráficos diversos, como radar, barras e dispersão. Essa abordagem interativa permite aos usuários explorar dados e ajustar parâmetros para resultados mais precisos. Em suma, o sistema visa fornecer uma ferramenta poderosa para análise de grandes conjuntos de dados, oferecendo uma nova perspectiva e *insights* valiosos para a tomada de decisões informadas sobre desempenho financeiro.

Huang e Li (2018) destacam a necessidade de desenvolver novos modelos de jogos quânticos que possam ser aplicados em diferentes contextos, bem como de explorar novas aplicações em áreas como economia e ciências sociais. Por exemplo, os jogos quânticos podem ser usados para modelar situações de negociação em que as partes envolvidas têm informações assimétricas, ou para estudar a dinâmica de grupos em situações de tomada de decisão. Além disso, os jogos quânticos podem ser usados para desenvolver novos protocolos de criptografia quântica e para melhorar a eficiência de algoritmos quânticos. No entanto, os autores reconhecem que ainda há muitos desafios a serem superados antes que essas aplicações possam se tornar

realidade, incluindo a necessidade de mais pesquisas teóricas e experimentais e a colaboração interdisciplinar entre pesquisadores de diferentes áreas.

Quiroga et al. (2021) enfatiza que um aspecto importante para avaliar o desempenho do algoritmo é a visualização dos dados. No artigo, os autores usam gráficos de dispersão para visualizar os dados de sinal de fase e quadratura (IQ) para os diferentes estados quânticos. Ao inspecionar visualmente os dados, eles podem determinar se os estados são separáveis e se o algoritmo é capaz de discriminar corretamente entre eles. Além disso, os autores usam coeficientes de correlação de *Pearson* para avaliar a presença de *crosstalk* entre qubits. Ao analisar os coeficientes de correlação e as fidelidades de atribuição dos resultados de discriminação, eles são capazes de identificar a presença de *crosstalk* em casais de qubits específicos. Em geral, a visualização dos dados é uma ferramenta importante para avaliar o desempenho do algoritmo e identificar possíveis problemas.

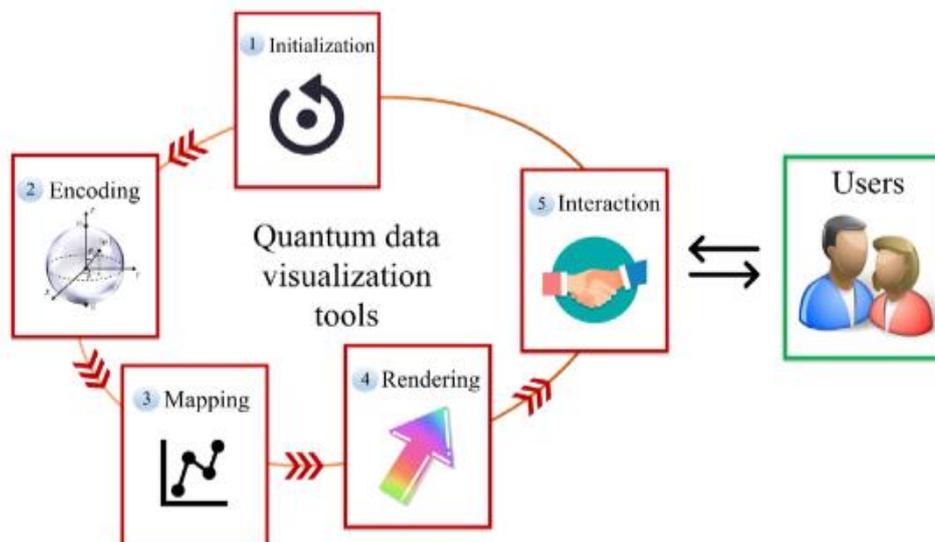
Os autores Aggarwal et al. (2023) mencionam que a visualização de dados quânticos (QDV) pode ser uma ferramenta importante para gerenciar a crescente quantidade de dados na área da saúde e melhorar a análise visual de dados usando computação quântica. O QDV pode ajudar a fornecer um nível granular aprimorado de visualização e diagnóstico, permitindo que os médicos identifiquem doenças em estágios iniciais e forneçam tratamentos personalizados aos pacientes.

Tao et al. (2017) sublinham a complexidade dos sistemas quânticos, apontando desafios na visualização e compreensão dos algoritmos quânticos. Destacam a necessidade de novas técnicas de visualização que facilitem a compreensão desses conceitos, promovendo ferramentas mais interativas e amigáveis. Essa abordagem visa preencher a lacuna entre os conceitos quânticos e os modelos clássicos. Os autores propõem que as ferramentas de visualização existentes devem ser mais acessíveis e úteis aos usuários, enfatizando o desenvolvimento de novas ferramentas. Como exemplo, apresentam o *ShorVis*, uma plataforma de visualização interativa destinada ao algoritmo de *Shor* e outros algoritmos quânticos. Essa ferramenta é projetada para auxiliar os usuários na compreensão dos princípios fundamentais da computação quântica e na realização de testes específicos do algoritmo de *Shor*.

A visualização de dados desempenha um papel fundamental na abordagem VACSEN, conforme delineado por Ruan et al. (2023). O VACSEN, uma estratégia de visualização voltada para a conscientização do ruído na computação quântica, compreende três visualizações principais: a Visualização de Evolução do Computador, a Visualização de Filtragem de Circuito e a Visualização de Comparação de Circuito. Estas visualizações capacitam os usuários a avaliarem o desempenho de computadores quânticos, filtrarem circuitos compilados potencialmente otimizados e compararem o desempenho de qubits ou portas quânticas. A implementação do VACSEN envolve o uso da biblioteca de visualização D3.js e a plataforma de computação em nuvem IBM *Quantum*. Este enfoque VACSEN exemplifica como a visualização de dados pode ser empregada para facilitar a compreensão e análise de dados complexos em contextos como a computação quântica.

A pesquisa conduzida por Li et al. (2022), apresenta o *Quantum Data Visualization* (QDV) como um *framework* revolucionário implementado em cinco etapas cruciais, como pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 - Etapas do QDV



Fonte: Li et al. (2022)

As etapas da Figura 8 são:

1. Inicialização: O QDV inicia sua abordagem com a inicialização das ferramentas de visualização quântica, estabelecendo informações fundamentais de posição para primitivas geométricas e determinando o endereço e precisão dos dados. Essa fase constrói a base para o armazenamento de informações quânticas codificadas, fundamentais para o processo subsequente;
2. Codificação: A etapa de codificação traduz dados clássicos para um formato interpretável por computadores quânticos, armazenando-os em um registro quântico. Formatos comuns incluem sequências de qubits e amplitudes de estados quânticos, preparando os dados para o processamento quântico seguinte;
3. Processamento: Nesta fase, os dados quânticos armazenados são mapeados para primitivas geométricas, como pontos e linhas, e seus atributos, como posições e tamanhos. A representação gráfica resultante destaca a relação entre os dados quânticos codificados e os objetos visuais, preparando o terreno para a etapa seguinte;
4. Renderização: Primitivas geométricas geradas anteriormente são renderizadas utilizando um gradiente de cor que especifica uma faixa de cores dependente da posição. Essa renderização é essencial para associar dados quânticos a informações de gradiente de cor, estabelecendo uma representação visual mais intuitiva e compreensível;
5. Interação: Considerando as preferências do usuário, a capacidade de organizar, explorar e rearranjar a relação entre os dados generalizados e a representação gráfica é crítica. Ferramentas de interface permitem ajustar primitivas geométricas por meio de operações quânticas, facilitando a extração de informações visuais amigáveis ao usuário para análise dos dados quânticos.

4.3 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

À medida que a computação quântica ganha destaque, surge a necessidade crítica de desenvolver estratégias de visualização que atendam às

suas características únicas e desafios associados. Possuindo obstáculos inerentes a área como a complexidade dos sistemas quânticos e a dificuldade de representar algoritmos quânticos, ao mesmo tempo em que destaca-se as oportunidades para aprimorar a compreensão e análise de dados em um contexto quântico. Este estudo visa fornecer uma visão abrangente e informada sobre a visualização de dados em computadores quânticos, destacando a interseção das áreas e demonstrando possíveis áreas que demandam inovação e/ou oferecem potenciais avanços e descobertas significativas.

Chen (2020) destaca desafios fundamentais no campo do processamento de imagem quântico, destacando a necessidade de *hardware* e *software* especializados ainda em estágios iniciais de desenvolvimento. Ele aponta a dificuldade na concepção de algoritmos quânticos eficazes para processar grandes volumes de dados de imagem e enfatiza o desafio de integrar esses algoritmos com técnicas clássicas de processamento de imagem. Além disso, Chen ressalta a importância de pesquisas contínuas para explorar os benefícios e limitações do processamento de imagem quântico, bem como para desenvolver novos algoritmos que aproveitem totalmente o potencial da computação quântica.

Bethel et al. (2023) destaca desafios fundamentais na visualização de dados em computação quântica. O autor argumenta que a maioria dos métodos de visualização são eficazes apenas para um pequeno número de qubits, ressaltando a limitação dessas ferramentas diante da crescente complexidade dos sistemas quânticos. Um problema crucial ao projetar algoritmos quânticos para processar dados clássicos é identificado como o desafio de codificação de dados. Bethel aponta para a complexidade de como os dados são codificados no estado quântico de um registro de qubits, revelando uma barreira substancial no desenvolvimento efetivo desses algoritmos. Além disso, o autor observa que as plataformas quânticas atuais enfrentam restrições em termos de número de qubits e volume quântico limitado. O termo "volume quântico" refere-se ao número de etapas do programa (portas) que podem ser executadas de maneira confiável em qubits, ressaltando um desafio técnico crucial na execução confiável de algoritmos quânticos em sistemas quantitativamente limitados.

Zhang et al. (2018) destaca desafios na otimização do *Kriging*, uma técnica de interpolação. No contexto do *Kriging* tradicional, a seleção subjetiva de parâmetros do modelo de variograma pode afetar a precisão da interpolação, introduzindo uma fonte de incerteza. Embora o *Improved Kriging*, utilizando Algoritmo Genético Quântico, tenha demonstrado uma melhoria na precisão de previsão em comparação com o *Kriging* tradicional, Zhang observa que o efeito de aprimoramento não atingiu o ideal esperado. Isso sugere que a otimização do *Kriging* ainda requer pesquisas adicionais para aperfeiçoar suas capacidades e superar desafios relacionados à seleção de parâmetros e eficácia do algoritmo genético quântico nesse contexto específico.

Wei (2022) destaca desafios significativos em relação à implementação prática dos modelos propostos. Um dos principais obstáculos reside na necessidade premente de conduzir mais pesquisas e experimentos para validar a eficácia e a aplicabilidade real desses modelos. O estudo ressalta que a implementação bem-sucedida desses modelos pode demandar recursos substanciais, incluindo dados de alta qualidade, ferramentas avançadas de análise de *big data* e a expertise de especialistas em análise de dados. Além disso, uma limitação adicional apontada é que a abordagem proposta pode não ser universalmente adequada para todas as empresas ou organizações. Dada a diversidade de necessidades e características específicas de cada entidade, pode ser necessária a adoção de abordagens personalizadas para garantir a efetividade da aplicação desses modelos em contextos específicos.

Huang e Li (2018) identificam diversas áreas de desafios e oportunidades no campo dos jogos quânticos. O estudo destaca que há um vasto território a ser explorado em termos de novos modelos de jogos quânticos, especialmente em aplicações relacionadas à economia e ciências sociais. Ressalta-se a necessidade de uma colaboração mais intensiva e interdisciplinar entre pesquisadores de diferentes áreas para impulsionar o avanço nesse domínio. O estudo também destaca a carência de pesquisas sobre as características da rede social na pesquisa em jogos quânticos, indicando uma área em que mais investigações são necessárias. Além disso, a falta de recursos computacionais para simular jogos quânticos em grande escala é apontada como uma limitação

significativa, sugerindo a necessidade de desenvolvimentos tecnológicos para suportar estudos mais abrangentes e precisos nessa área específica.

Kuo et al. (2023) destaca diversos desafios e considerações importantes relacionados ao sistema angelQ. Um dos principais obstáculos identificados é a complexidade inerente dos circuitos quânticos, que pode tornar a otimização eficiente uma tarefa desafiadora. O artigo ressalta que, embora o algoritmo QiO empregado pelo angelQ seja valioso, ele não assegura a obtenção da solução ótima para todos os problemas, indicando limitações em determinados tipos de circuitos ou aplicações. Além disso, aponta-se que a versão atual do angelQ não suporta computação quântica tolerante a falhas, destacando uma área vital de pesquisa no campo da computação quântica. Por fim, o artigo observa que o desenvolvimento de ferramentas de automação de design quântico, como o angelQ, está em seus estágios iniciais, sublinhando a necessidade de mais pesquisa e desenvolvimento nessa área para aprimorar a eficácia e a aplicabilidade dessas ferramentas inovadoras.

Raikov (2018) destaca desafios significativos na área de semântica cognitiva, salientando que a complexidade dessa abordagem é consideravelmente maior do que as técnicas denotativas convencionais, com uma diferença de magnitude de dez ou mais ordens. Além disso, aponta para a ausência de materiais especializados para memória holográfica multidimensional regravável, impedindo a capacidade de gravar e recuperar múltiplas camadas de dados em um único ponto de memória. O autor também ressalta a falta de manipuladores ópticos quânticos especializados, essenciais para o avanço em áreas específicas, indicando a necessidade contínua de inovação e pesquisa para superar essas limitações tecnológicas.

Aggarwal et al. (2023) identificam como principal desafio a busca por casos de uso que demonstrem a adaptabilidade prática da computação quântica na vida real. O desafio reside na necessidade de encontrar aplicações concretas e significativas que explorem efetivamente as capacidades da computação quântica em cenários do mundo real. Este destaque sublinha a importância de pesquisas contínuas e desenvolvimento de aplicações práticas que possam tirar máximo proveito do potencial da computação quântica em diferentes domínios.

Tao et al. (2017) destaca diversas limitações e desafios no campo da visualização de algoritmos quânticos. A complexidade intrínseca desses algoritmos é apontada como uma das principais barreiras, dificultando a visualização e compreensão eficazes. A falta de ferramentas de visualização adequadas é destacada como um obstáculo adicional, tornando desafiador tanto a análise quanto o desenvolvimento de novos algoritmos quânticos. Além disso, o autor ressalta o desafio específico de desenvolver técnicas de visualização capazes de lidar com a natureza probabilística dos sistemas quânticos. Por fim, a melhoria da interatividade e usabilidade das ferramentas de visualização existentes é mencionada como uma necessidade crucial para torná-las mais acessíveis e úteis aos usuários. Esses desafios apontados ressaltam a importância contínua da pesquisa e inovação no campo da visualização quântica.

O autor Ruan et al. (2023) destaca diversos desafios no campo da visualização de dados em computação quântica. A complexidade e a evolução dinâmica da qualidade dos computadores quânticos, juntamente com as variações notáveis nos circuitos compilados, são apontadas como questões cruciais a serem enfrentadas. A resolução dos dados de calibração é destacada como um desafio específico, exigindo abordagens eficazes para lidar com a precisão e confiabilidade dos dados utilizados nos sistemas quânticos. Além disso, a necessidade de escalabilidade visual e generalização representam desafios adicionais, indicando a importância de desenvolver técnicas e ferramentas que possam lidar com a complexidade em constante evolução da computação quântica. Esses desafios ressaltam a complexidade inerente à visualização de dados em ambientes quânticos e a necessidade contínua de inovação nesse campo.

Quiroga et al. (2021) aponta para desafios específicos relacionados à implementação de algoritmos quânticos. O autor destaca as restrições de tempo de espera na arquitetura baseada em nuvem dos computadores quânticos da IBM como uma preocupação significativa. Essas restrições podem impactar a precisão dos cálculos experimentais, levando à consideração da complexidade temporal teórica como uma métrica mais informativa para medir o desempenho do algoritmo QML implementado. Além disso, observa-se que o algoritmo qk-

means apresenta limitações em termos da separabilidade visual de *clusters*, indicando desafios na representação visual efetiva desses agrupamentos. O autor também destaca a possibilidade de interferência *crosstalk* em pares específicos de qubits, apontando para preocupações adicionais em relação à robustez e à precisão do algoritmo. Esses desafios ressaltam a complexidade prática e os aspectos a serem abordados para otimizar a implementação de algoritmos quânticos em ambientes específicos, como os computadores quânticos baseados em nuvem da IBM.

Li et al. (2022) destaca diversos desafios relacionados à implementação de algoritmos quânticos e à visualização de dados quânticos. A complexidade inerente à implementação de algoritmos quânticos é apontada como uma barreira significativa, agravada pela necessidade de *hardware* quântico para executar esses algoritmos em grande escala. A falta de padrões e diretrizes para o desenvolvimento de aplicativos quânticos é identificada como um obstáculo adicional, indicando a necessidade de estruturas normativas para orientar e padronizar o desenvolvimento nesse campo em rápido crescimento. Além disso, Li destaca uma limitação específica do *Quantum Data Visualization* (QDV), observando que, atualmente, ele suporta apenas a visualização de dados estáticos e carece de recursos para lidar com dados de séries temporais ou dados textuais. Esses desafios ressaltam a complexidade técnica e as lacunas atuais na capacidade de lidar com diferentes tipos de dados no contexto da computação quântica e visualização associada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao aprofundar-se nos desafios e oportunidades delineados pela interseção entre a computação quântica e a visualização de dados, torna-se evidente que se está imerso em um cenário tecnológico repleto de complexidades e potenciais. A computação quântica, dotada de sua capacidade de processamento paralelo e manipulação de estados quânticos, promete transformar fundamentalmente a abordagem à informação.

Contudo, os desafios são multifacetados e tangíveis. Desde a representação eficiente de algoritmos quânticos até a implementação prática em larga escala, cada avanço encontra obstáculos intrincados. A complexidade inerente aos sistemas quânticos, a necessidade de *hardware* especializado e a integração harmoniosa de algoritmos quânticos com métodos clássicos são apenas alguns dos inúmeros desafios enfrentados por pesquisadores e cientistas.

A visualização de dados emerge como uma peça fundamental nesse quebra-cabeça. Limitações em ferramentas visuais, a falta de escalabilidade para sistemas mais complexos e a dificuldade em lidar com a natureza probabilística dos sistemas quânticos destacam-se como áreas críticas para o desenvolvimento. A necessidade de técnicas e ferramentas inovadoras capazes de acompanhar a constante evolução da computação quântica enfatiza a importância contínua da pesquisa e inovação na visualização de dados em ambientes quânticos.

Dentro desses desafios, vislumbra-se oportunidades. A busca por casos de uso práticos na computação quântica, a colaboração interdisciplinar, o desenvolvimento de ferramentas de automação de *design* quântico e a exploração de novos modelos de jogos quânticos representam apenas algumas das frentes em que a inovação pode prosperar.

À medida que enfrenta-se esses desafios e explora-se tais oportunidades, traça-se o caminho para um futuro quântico e inovador. A aplicação prática da computação quântica na vida cotidiana, a superação das limitações tecnológicas e o estabelecimento de padrões para o desenvolvimento de aplicativos quânticos

são metas alcançáveis que impulsionarão a computação quântica para além das fronteiras teóricas.

Em meio a esse cenário dinâmico, torna-se imperativo que a comunidade científica, empresas e instituições de pesquisa unam esforços em colaboração. A busca por soluções práticas e uma compreensão aprofundada dos desafios apresentados por essa revolução tecnológica são cruciais para desvendar o verdadeiro potencial da computação quântica e da visualização de dados quânticos.

Em última análise, se está diante de uma jornada em direção a uma era quântica. À medida que supera-se cada desafio, aproxima-se da realização das promessas fascinantes que a computação quântica e a visualização de dados têm a oferecer. Enfrentando as complexidades, abrisse portas para um futuro onde a computação quântica não é apenas uma possibilidade teórica, mas uma realidade inovadora que moldará os rumos da ciência e da tecnologia.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, Lakshita *et al.* Quantum healthcare computing using precision based granular approach. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 144, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110458>.

AGUILAR, Audilio Gozalez; PINTO, Adilson Luiz; SEMELER, Alexandre Ribas; SOARES, Ana Paula Alves. **Visualização de dados, informação e conhecimento**. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2017. 211 p.

BABINEAU, Jessica. Product Review: covidence (systematic review software). **Journal Of The Canadian Health Libraries Association / Journal de L'Association Des Bibliothèques de La Santé Du Canada**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 68, 1 ago. 2014. University of Alberta Libraries. <http://dx.doi.org/10.5596/c14-016>.

BENIOFF, Paul. The Landauer resistance and band spectra for the counting quantum turing machine. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, [S.L.], v. 120, n. 1-2, p. 12-29, set. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-2789\(98\)00041-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-2789(98)00041-4). acessado em 4 de set. de 2023

BETHEL, E. Wes *et al.* Quantum Computing and Visualization: a disruptive technological change ahead. **Ieee Computer Graphics And Applications**, [S.L.], v. 43, n. 6, p. 101-111, nov. 2023. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mcg.2023.3316932>.

BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. REVISÃO DA LITERATURA E REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. **Revista de Educação do Vale do Arinos**, [S.L.], p. 1-17, jan. 2017

CHEN, Guoming. Schroedinger Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Image Classification. **2020 13Th International Congress On Image And Signal Processing, Biomedical Engineering And Informatics (Cisp-Bmei)**, [S.L.], p. 158-162, 17 out. 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cisp-bmei51763.2020.9263518>.

CONCI, Aura *et al.* **Computação Gráfica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 407 p.

CUSTODIO, Rogério *et al.* Resolvendo a equação de Schrödinger utilizando procedimentos numéricos fundamentais. **Química Nova**, [S.L.], v. 35, n. 10, p. 2076-2082, 2012. FapUNIFESP (SciELO).

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, Mônica Cecilia *et al.* Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da Usp**, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 1260-1266, out. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0080-62342011000500033>.

DIAS, Mateus Pereira; CARVALHO, José Oscar Fontanini. A visualização da informação e a sua contribuição para a ciência da informação. **Revista de Ciência da Informação**, Campinas, v. 8, p. 02-02, out. 2007.

DOURADO, Andréa da Silva. **PRISMA 2020 – checklist para relatar uma revisão sistemática**. 2022. Disponível em: <https://eme.cochrane.org/prisma-2020-checklist-para-relatar-uma-revisao-sistematica/>. Acesso em: 01 out. 2023.

EDITORA MELHORAMENTOS LTDA.. **Michaelis**. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/cogni%C3%A7%C3%A3o/>. Acesso em: 01 out. 2023.

EKERT, A. *et al.* Basic Concepts in Quantum Computation. **Les Houches - Ecole D'ete de Physique Theorique**, [S.L.], p. 661-701, fev. 2008. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-45338-5_10.

FEITOSA, Samuel S. *et al.* Mecânica Quântica: da física para a computação. **Revista Coming - Communications And Innovations Gazette**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 46, 3 fev. 2016. Universidad Federal de Santa Maria.

FIGUEIREDO, Inaê Soares de. **Informação Quântica**. 2023. Disponível em: <https://www.dcce.ibilce.unesp.br/~aleardo/cursos/hpc/inae.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

FREITAS, Carla Maria dal Sasso *et al.* Introdução à visualização de informações. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Porto Alegre, v. 8, p. 143-158, out. 2001.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 57-73, 15 set. 2019. Logeion Filosofia da Informacao. <http://dx.doi.org/10.21728/logcion.2019v6n1.p57-73>.

GUNZI, Arnaldo. **Visualizando alguns estados na esfera de Bloch – eixo XY**. 2020. Disponível em: <https://informacaoquantica.wordpress.com/2020/05/12/visualizando-alguns-estados-na-esfera-de-bloch-eixo-xy/>. Acesso em: 01 out. 2023.

HUANG, Dingxuan; LI, Shuliang. A survey of the current status of research on quantum games. **2018 4Th International Conference On Information**

Management (Icim), [S.L.], p. 46-52, maio 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/infoman.2018.8392807>.

JOSÉ, Marcelo Archanjo *et al.* Introdução à programação quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-9, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172013000100006>.

KLENZI, Raúl Oscar; MALBERTI, María Alejandra; BEGUERÍ, Graciela Elida. Visualization in a Data Mining Environment from a Human Computer Interaction Perspective. **Computación y Sistemas**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 279-290, 30 mar. 2018. Instituto Politecnico Nacional/Centro de Investigacion en Computacion. <http://dx.doi.org/10.13053/cys-22-1-2558>. acessado em 4 de set. de 2023

KROTOV, Vlad; JOHNSON, Leigh. Big web data: challenges related to data, technology, legality, and ethics. **Business Horizons**, [S.L.], v. 66, n. 4, p. 481-491, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2022.10.001>.

KUO, Shu-Yu *et al.* Quantum Computer-Aided Design Automation. **Ieee Nanotechnology Magazine**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 15-25, abr. 2023. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mnano.2023.3249500>.

LI, Nianqiao *et al.* Quantum data visualization: a quantum computing framework for enhancing visual analysis of data. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, [S.L.], v. 599, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2022.127476>.

MACHADO, Yuri Jaloto Santos. **Computação quântica e o cassino quântico**. 2022. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

MANNONE, Maria; SEIDITA, Valeria; CHELLA, Antonio. Modeling and designing a robotic swarm: a quantum computing approach. **Swarm And Evolutionary Computation**, [S.L.], v. 79, p. 101297, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swevo.2023.101297>. acessado em 5 de set. de 2023

MARI, Hugo; SILVEIRA, José Carlos Cavalheiro da. Sobre a cognição visual. **Scripta**, Belo Horizonte, v. 14, n. 26, p. 3-26, jan. 2010.

MARI, Hugo; SILVEIRA, José Carlos Cavalheiro da. Sobre a cognição visual. **Scripta**, Belo Horizonte, v. 26, n. 14, p. 3-26, jul. 2010.

NIELSEN, Michael A.; CHUANG, Isaac L.. **Quantum Computation and Quantum Information**. Massachusetts: Cambridge University Press, 2010.

OKAMOTO, Carolina Midori. **TEORIA QUÂNTICA DA COMPUTAÇÃO**. 2015. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências da Computação, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

OLIVEIRA, Estêvão Vilas Boas de. **Computação Quântica com o IBM Q Experience**. 2019. 20 f. TCC (Doutorado) - Curso de Física, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

PAGE, Matthew J; MCKENZIE, Joanne e; BOSSUYT, Patrick M; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C; MULROW, Cynthia D; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M; A AKL, Elie; BRENNAN, Sue e. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Bmj**, [S.L.], p. 71, 29 mar. 2021. *BMJ*. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71>.

PANDEY, Shyambabu; BASISTH, Nihar Jyoti; SACHAN, Tushar; KUMARI, Neha; PAKRAY, Partha. Quantum machine learning for natural language processing application. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, [S.L.], v. 627, p. 129123, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2023.129123>.

PÉREZ-DELGADO, Carlos A.; KOK, Pieter. Quantum computers: definition and implementations. **Physical Review A**, [S.L.], v. 83, n. 1, p. 2-2, 13 jan. 2011. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physreva.83.012303>. acessado em 05 de set. de 2023.

QIN, Xuedi et al. Making data visualization more efficient and effective: a survey. **The VLDB Journal**, v. 29, p. 93-117, 2020.

QUIROGA, David *et al.* Discriminating Quantum States with Quantum Machine Learning. **2021 IEEE International Conference On Quantum Computing And Engineering (QCE)**, [S.L.], out. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/qce52317.2021.00088>.

RAIKOV, A.. Cognitive Modelling Quality Rising by Applying Quantum and Optical Semantic Approaches. **Ifac-Papersonline**, [S.L.], v. 51, n. 30, p. 492-497, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.309>.

REGLY, Tainá; SOUZA, Rosali Fernandez de. Aportes para análise de plataformas de dados abertos dotadas de recursos visuais. **Em Questão**, [S.L.], v. 29, p. 121110, 12 dez. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.19132/1808-5245.29.121110>. acessado em 4 de set. de 2023

REINSEL, David *et al.* **Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical: don't focus on big data; focus on the data that's big. Don't Focus on Big Data; Focus on the Data That's Big**. 2017. Disponível em:

<https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

RUAN, Shaolun *et al.* VACSEN: a visualization approach for noise awareness in quantum computing. **Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 462-472, jan. 2023. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tvcg.2022.3209455>.

SILVA, Wagner Jorcuvich Nunes da. **Uma introdução à Computação Quântica**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática Aplicada e Computacional, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

TAO, Zewei *et al.* ShorVis: a comprehensive case study of quantum computing visualization. **2017 International Conference On Virtual Reality And Visualization (Icrrv)**, [S.L.], out. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icrv.2017.00082>.

TAVARES, João Manuel Ribeiro da Silva; ALEXANDRE, Dulclerci Sternadt. Factores da percepção visual humana na visualização de dados. **Feup - Artigo em Livro de Atas de Conferência Internacional**, Porto, v. 0, n. 0, p. 1-13, jan. 2007.

TRAN, Phuoc Vinh; LE, Truong Xuan. Approaching human vision perception to designing visual graph in data visualization. **Concurrency And Computation: Practice and Experience**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 4-5, 13 mar. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cpe.5722>.

TRESGUERRES, J. A. F. *et al.* **Fisiología Humana**. 3. ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 2005.

VALADARES, Arthur Rodrigo S. *et al.* **Computação Quântica**. Disponível em: https://www.academia.edu/7933394/Computa%C3%A7%C3%A3o_Qu%C3%A2ntica. Acesso em: 10 out. 2023

VIPOND, Natasha; KUMAR, Abhinav; JAMES, Joseph; PAIGE, Frederick; SARLO, Rodrigo; XIE, Zhiwu. Real-time processing and visualization for smart infrastructure data. *Automation In Construction*, [S.L.], v. 154, p. 104998, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104998>.

WARD, Matthew *et al.* **Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications**. 2. ed. Massachusetts: Crc Press, 2010.

WARE, Colin. **Information Visualization: Perception for Design**. 4. ed. Cambridge: Elsevier, 2004.

WEI, Yong. The Construction of a Visual Quantum Interactive System for Fuzzy Evaluation of Financial Budget Performance based on Big Data. **2022 6Th International Conference On Computing Methodologies And Communication (Iccmc)**, [S.L.], 29 mar. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iccmc53470.2022.9753789>.

WILLIAMS, Colin P.. Quantum Gates. **Texts In Computer Science**, [S.L.], p. 51-122, 2011. Springer London.

WU, Aoyu et al. Ai4vis: Survey on artificial intelligence approaches for data visualization. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, 2021.

YAN, Fei *et al.* Audio-Visual Synchronisation in Quantum Movies. **2018 IEEE 5Th International Congress On Information Science And Technology (Cist)**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 0-0, out. 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cist.2018.8596628>.

ZACKS, Jeffrey M.; FRANCONERI, Steven L.. Designing Graphs for Decision-Makers. **Policy Insights From The Behavioral And Brain Sciences**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 52-63, mar. 2020. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/2372732219893712>.

ZHANG, Zheng *et al.* Improved Kriging for Drilling Visualization Based on Quantum Genetic Algorithm. **2018 37Th Chinese Control Conference (Ccc)**, [S.L.], jul. 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.23919/chicc.2018.8484173>.