

Alta Velocidade de Busca de Dados de Vacinação por meio de Algoritmo de Computação Quântica

Ana Carolina Borges Monteiro

CTI — Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
Rodovia Dom Pedro I (SP-65), Km 143,6 - Chácara Campos dos Amarais, Campinas - SP,
13069-901
ana.monteiro@cti.gov.br

Reinaldo Padilha França

CTI — Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
Rodovia Dom Pedro I (SP-65), Km 143,6 - Chácara Campos dos Amarais, Campinas - SP,
13069-901
reinaldo.franca@cti.gov.br

Rodrigo Bonacin

CTI — Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
Rodovia Dom Pedro I (SP-65), Km 143,6 - Chácara Campos dos Amarais, Campinas - SP,
13069-901
rodrigo.bonacin@cti.gov.br

RESUMO

A alta capacidade de mutação dos vírus tornam esses seres potenciais inimigos da saúde pública. A ferramenta mais importante e eficaz, até o momento, contra surtos e pandemias são as vacinas. O presente estudo tem como objetivo aplicar Computação Quântica em banco de dados de vacinação contra Covid-19 visando agilizar o processo de busca de itens relevantes a autoridades e pesquisadores. O banco de dados sobre vacinação do governo do Estado de São Paulo – Brasil foi utilizado para simulações quânticas de buscas por meio de *strings* relacionadas com municípios paulistas. Os resultados foram comparados como metodologia clássica, demonstrando que a aplicação do algoritmo Bernstein-Vazirani aumenta a velocidade de busca em 89,3%, favorecendo o monitoramento de distribuição de doses de vacinas de forma mais eficaz e igualitária, além de poder ser aplicado a outros bancos de dados médicos facilitando a busca de informações para fomentar pesquisas científicas que impactarão positivamente a sociedade.

Palavras-chave: Computação Quântica, vacinação, banco de dados

ABSTRACT

The high mutation capacity of viruses makes these beings potential enemies of public health. The most important and effective tool to date against outbreaks and pandemics is vaccines. The present study aims to apply Quantum Computing to a Covid-19 vaccination database in order to speed up the search process for relevant items for authorities and researchers. The vaccination database from the government of the State of São Paulo – Brazil was used for quantum simulations of searches using strings related to municipalities in São Paulo. The results were compared with a classic methodology, demonstrating that the application of the Bernstein-Vazirani algorithm increases search speed by 89.3%, favoring the monitoring of vaccine dose distribution in a more effective and equal way, in addition to being able to be applied to other medical databases facilitating the search for information to promote scientific research that will positively impact society.

Palavras-chave: Quantum Computing, vaccination, database

1. Introdução

O primeiro registro de desenvolvimento de uma vacina ocorreu no ano de 1796 na Inglaterra. A primeira vacina foi desenvolvida com base na observação inicial do médico Edward Jenner sobre o fato de que indivíduos que realizavam a ordenha de vacas com consequente infecção por varíola bovina, desenvolviam um quadro clínico leve e consequentemente não ficavam doentes quando expostos a varíola do tipo humana, que muitas vezes conduzia ao óbito [Ghosh 2023] [Greydanus 2021].

Baseado nessa observação, o médico inoculou a varíola bovina em um menino sob a hipótese de que esse futuramente seria imune a varíola humana. Então, no ano de 1796, o médico inoculou varíola bovina em James Phipps, que na época possuía 8 anos de idade. A inoculação foi feita com pus de varíola bovina. Pouco tempo depois, Jenner inoculou varíola humana no menino que não desenvolveu a doença [Ghosh 2023] [Greydanus 2021].

Por meio desse experimento, foram abertas as portas para a compreensão sobre os mecanismos de funcionamento e atuação do sistema imunológico humano, sendo considerado marco na história da medicina. Tal fato impulsionou o desenvolvimento de outras vacinas ao longo da história, e consequentemente milhões de vidas tem sido salvas ao longo dos últimos séculos [Ghosh 2023] [Greydanus 2021].

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) atualmente a vacinação em massa evita ao menos 4 mortes por minuto no mundo causadas por doenças como: poliomielite, coqueluche, difteria, sarampo, rotavírus, rubéola, pneumonia, diarreia e tétano. Atualmente, a maioria das doenças supracitadas encontra-se em estágio controlado ou erradicado, entretanto podem voltar a assombrar populações caso a taxa de pessoas de vacinadas anualmente seja reduzida [BBC News Brasil 2021].

Um exemplo disso pode ser observado no Brasil. O país está sem apresentar surtos de infecção poliomielite desde o ano de 1989, sendo que outros países ao redor do mundo ainda sofrem para controlar e tentar erradicar essa doença, como é o caso do continente africano que apenas no ano de 2020 declarou estar livre de casos de poliomielite devido à alta taxa de vacinação atingida em vários países [Kerr 2023]. Caso a poliomielite deixe ser considerada uma doença erradicada a patologia pode infectar cerca de 200 mil crianças por ano [BBC News Brasil 2021].

Segundo a OMS, as vacinas são responsáveis por evitar de 2 a 3 milhões de mortes por ano, o que corresponde a evitar 4 mortes por minuto, o que consequentemente poupa R\$ 250 milhões por dia [BBC News Brasil 2021].

O Governo Federal do Brasil até o ano de 2022 investiu mais de R\$ 540 bilhões para enfrentar a pandemia da Covid-19. O Ministério da Saúde do Brasil aplicou mais de R\$ 38 bilhões para aquisição de vacinas [Ministério da Saúde 2022]. Dados mundiais revelam que no primeiro ano dos programas de vacinação, foram evitadas cerca de 19,8 milhões de mortes de um potencial de 31,4 milhões de óbitos em decorrência da doença [CNN Brasil 2021].

A pandemia impulsionou a utilização mais abrangente de tecnologias emergentes tais como Computação Quântica e Inteligência Artificial. No ano de 2023, A empresa de biotecnologia Moderna, anunciou a implementação de computação quântica e inteligência artificial, visando aceleração de pesquisas em micro RNA para o desenvolvimento de vacinas [Moderna 2023].

Considerando a necessidade de alocação adequada de recursos governamentais para controle de surtos e consequentemente evitar sua evolução a pandemias, por meio de vacinação, é de extrema importância o desenvolvimento de sistemas de buscas mais eficazes a respeito da obtenção de informações contidas em bancos de dados de vacinação. O presente estudo tem como objetivo apresentar um método de busca de dados sobre vacinação por meio de computação quântica a fim de conferir maior agilidade na obtenção de informações relevantes a alocação de verbas públicas para controle de doenças e vacinação.

1.1 Computação quântica e saúde

A computação quântica é baseada nos princípios da mecânica quântica tendo como principal finalidade a realização de cálculos que são praticamente impossíveis de serem realizados por meio de tecnologias tradicionais. Dois conceitos fundamentais para a compreensão da computação quântica são o qubits e o emaranhamento [Padilha França et al 2019].

Os qubits podem ser descritos como a unidade básica de informação na computação quântica. Os qubits se diferenciam dos bits tradicionais, pois podem estar em uma superposição de ambos os estados de 0 e 1 simultaneamente, enquanto os bits tradicionais estão ou no estado de 0 ou 1. Tal diferença entre eles abre caminho para um grande potencial de processamento paralelo [Hidary et al 2021] [Zubairy 2020] [Khang 2024].

O emaranhamento é caracterizado como uma conexão entre qubits, permitindo que eles influenciem imediatamente o estado uns dos outros. Ou seja, mesmo que os qubits estejam separados por grandes distâncias um ainda poderá influenciar o outro [Hidary et al 2021] [Zubairy 2020] [Khang 2024].

O funcionamento da computação quântica é amparado por meio de circuitos quânticos que são caracterizados como uma série de operações responsáveis por manipular os qubits com base nas leis da mecânica quântica, criando algoritmos quânticos que exploram a superposição e o emaranhamento para realizar cálculos complexos [Hidary et al 2021] [Zubairy 2020] [Khang 2024].

Nesse contexto, os conceitos essenciais relacionados a computação quântica são a superposição, emaranhamento e interferência. A superposição é dada como a capacidade dos qubits de existirem em uma combinação de estados 0 e 1 simultaneamente. Esse fenômeno acarreta o aumento exponencial do poder de processamento. O emaranhamento faz com que os qubits se correlacionem imediatamente de forma a permitir operações quânticas de alta complexidade e também gerar uma comunicação segura. Já a interferência é a combinação de diferentes amplitudes de probabilidade em um circuito quântico. Seu objetivo é amplificar soluções corretas e cancelar erros, de forma a acelerar a resolução de problemas complexos para metodologias tradicionais [Hidary et al 2021] [Zubairy 2020] [Khang 2024].

Baseada nas características supracitadas muitos benefícios podem ser alcançados com o emprego de computação quântica. A aceleração exponencial torna cálculos complexos de serem realizados por métodos tradicionais em algo possível, podendo ser otimizado caso seja relacionada a aplicação e técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial. Além disso, a computação quântica tem com grandes benefícios a segurança implacável por meio da criptografia quântica. Com isso, é estruturado um cenário favorável para novas descobertas científicas e otimizações nas áreas médicas [Hidary et al 2021] [Zubairy 2020] [Khang 2024].

Nos últimos anos houve um crescente emprego da computação quântica nas áreas médicas, gerando contribuições valiosas para o ramo da saúde. Suas aplicações contemplam *drug delivery* [Kumr et al 2024] análises biomoleculares [Abdellah et al 2023], combate a pandemias [Gupta et al 2023], reconhecimento de padrões de imagens médicas [Wei et al 2023] entre outros.

1.2 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional pode ser vista como um instrumento extremamente poderoso para a otimização de tomada decisões, de forma a atender as necessidades de um mundo cada vez mais dinâmico e inovador. Sua base é formada por modelos matemáticos e técnicas avançadas de análises visando encontrar soluções mais eficientes para problemas desafiadores da indústria, sociedade, pesquisa científica, medicina, entre outros [Gupta et al 2022].

Por meio de modelos matemáticos a realidade é representada de uma forma abstrata de maneira a capturar variáveis, restrições objetivas envolvidas no solucionamento de um desafio, visando

simular diversos cenários e testar várias alternativas, tendo como objetivo maximizar os benefícios e reduzir os custos e possíveis prejuízos. Para isso a pesquisa operacional conta com técnicas de matemática que abrangem desde programação linear, programação inteira, teoria dos grafos, otimização combinatória, simulação até análise de risco. Dessa forma cada problema pode ser contemplado por uma gama de soluções matemáticas distintas [Gupta et al 2022].

A união de conceitos de pesquisa operacional juntamente com a área médica é extremamente importante para processos de otimização de recursos no sistema de saúde. Por meio de modelos matemáticos a pesquisa operacional é capaz de transformar dados em soluções inteligentes. Pesquisas recentes têm abordado o uso de pesquisa operacional para informar abordagens programáticas relacionadas ao tratamento da tuberculose [Gadoev et al 2022], disponibilidade de leitos em hospitais durante a pandemia de Covid – 19 [Nepomuceno et al 2020], disponibilidade de doses de vacinas [Tavana et al 2021], entre outras aplicações.

2. Materiais e métodos

De acordo com Censo de 2022, o Estado de São Paulo possui 44.420.459 habitantes distribuídos em 645 municípios [Governo do Estado de São Paulo 2023]. Devido a pandemia de Covid-19, Governo do Estado de São Paulo – Brasil, criou um banco de dados sobre as doses distribuídas de vacina contra a Covid-19. Esse banco é disponibilizado gratuitamente por meio do link <https://www.saopaulo.sp.gov.br/planosp/simi/dados-abertos/>.

Com base nesse banco foram selecionados dados sobre a distribuição da aplicação da primeira dose da vacina contra a COVID-19. Os dados obtidos foram submetidos a testagem de um algoritmo com base em computação quântica sendo aplicado o algoritmo Bernstein-Vaziran, visando otimizar o processo de busca de informações vacinais.

2.1 Algoritmo Bernstein-Vaziran

Na década de 1990 os cientistas Ethan Bernstein e Umesh Vazirani desenvolveram o algoritmo de Bernstein-Vazirani visando demonstrar as vantagens e os benefícios computacionais dos computadores quânticos quando comparados aos computadores tradicionais para a resolução de problemas [Zachmann 2023].

A operação do algoritmo de Bernstein-Vazirani ocorre por meio de uma função $f(x)$ que recebe um número binário de N bits como entrada. A saída é dada pelo retorno de um único bit. Essa ação visa descobrir o valor do bit "escondido" nessa função, sem que haja a necessidade de conhecimento prévio a respeito da função em si [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

Para desempenhar essa tarefa o algoritmo utiliza superposição, caracterizada como o princípio fundamental da computação quântica. Dessa forma, é possível explorar todas as combinações de entrada possíveis de uma única vez. O algoritmo aplica a função $f(x)$ a todos os valores de entrada de N bits em paralelo, de forma a aproveitar a superposição dos qubits [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

A etapa principal do funcionamento desse algoritmo reside na consulta à função f , representada por um oráculo quântico, também denominado como “caixa preta”. O oráculo é responsável por receber uma *string* de entrada e aplicar a função f , de forma a alterar o estado dos qubits de acordo com o resultado. A superposição quântica permite que o algoritmo perceba a dependência de f em a , mesmo sem ter conhecimento prévio do valor de f individualmente para cada entrada [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

Após a consulta ao oráculo, o algoritmo aplica uma série de operações quânticas, incluindo novamente portas Hadamard e uma cautelosa seleção de fases, para amplificar a informação a respeito do valor de a . As portas Hadamard, também denominadas como portas H, são operações quânticas fundamentais na computação quântica, desempenhando uma função primordial em uma vasta gama de algoritmos quânticos. Sua atuação é restrita um único qubit, visando sua transformação em um estado definido para uma superposição de ambos os estados 0 e 1. A representação geometricamente dessa porta é uma rotação na esfera de Bloch, representando o estado de um qubit. Uma rotação de 180 graus em torno do eixo y leva o estado $|0\rangle$ para $(1,0,0)$, que corresponde à superposição $\frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}}$ [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

A interferência quântica, faz com que a probabilidade de medir um qubit específico no estado 1 seja alta se e somente se o bit correspondente em a for 0. Caso o bit escondido esteja na posição i , a função $f(x)$ retornará 0 para todos os valores de entrada, com exceção aos que contêm 1 na posição i . Bernstein-Vazirani soluciona o desafio da função escondida em apenas uma única consulta à função $f(x)$. Por fim, o algoritmo mensura o estado dos qubits, obtendo uma *string* binária. Com alta probabilidade, essa *string* será o valor de a , o segredo que a função f guardava [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

Em comparação com metodologias tradicionais são exigidos $2^{\frac{n}{2}}$ consultas. Essa exponencialidade no tempo de execução dos algoritmos clássicos demonstra a enorme vantagem computacional dos computadores quânticos para essa tarefa específica [Shukla e Vedula 2023] [Zhou 2023].

3. Resultados e Discussão

As simulações foram feitas por meio do ambiente GoogleColab, utilizando dados do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo. Os dados utilizados para as simulações foram: rank, município, 1ª dose (D1), população e % em relação da população em geral. Para a busca de dados de municípios foi procurado pela string "ITAPIRA".

O funcionamento do algoritmo de Bernstein-Vazirani ocorre por meio da determinação de uma *string* secreta, oculta a partir de um oráculo específico. A "*string* secreta" basicamente é referente ao padrão binário que o algoritmo tenta descobrir. Essa *string* é oculta e é utilizada no oráculo para determinar a função escondida.

O algoritmo de Bernstein-Vazirani é executado em uma única rodada de aplicação de portas quânticas, havendo em seguida a mensuração. Portanto, essa metodologia não requer várias iterações como o algoritmo de Grover, por exemplo.

O *script* executa diretamente o algoritmo de Bernstein-Vazirani com a *string* secreta fornecida e exibe o circuito quântico criado. Por meio disso, o algoritmo de Bernstein-Vazirani tentará descobrir a *string* oculta derivada do nome "ITAPIRA" nos dados do arquivo CSV. do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo sobre dados da primeira dose da vacina contra a COVID-19. A *string* oculta será composta pelas primeiras letras de cada palavra no nome "ITAPIRA".

O motivo da escolha da cidade de Itapira reside no fato de que a palavra "ITAPIRA" possui menos letras do que a palavra "CAMPINAS", a conversão da palavra para sua representação binária ainda resulta em um número de bits maior do que o necessário. A palavra "ITAPIRA" tem 7 caracteres, o que exigiria 7 qubits, enquanto a representação binária de "CAMPINAS" requer 8 qubits

No algoritmo de Bernstein-Vazirani, o número de qubits é determinado pela quantidade de bits necessários para representar a *string* secreta. No caso do *script* fornecido, a *string* secreta é derivada do nome do município alvo, que é "ITAPIRA". Logo, o número de qubits necessário para representar essa *string* deriva de "ITAPIRA" tendo 7 caracteres.

A representação da string "ITAPIRA" em qubits pode ser considerada como uma string de 7 bits (um qubit para cada bit da string) mais um bit adicional para marcar o resultado da medida. Portanto, para representar a string "ITAPIRA" no algoritmo Bernstein-Vazirani, são necessários 8 qubits.

A Figura 1 apresenta o circuito quântico simulado com 8 qubits e a Figura 2 apresenta a simulação quântica sendo realizada com um total de 8 qubits do circuito quântico Bernstein-Vazirani. O Algoritmo de Bernstein-Vazirani é especialmente útil para encontrar padrões ocultos em dados, o que pode ser aplicado em várias áreas, como pesquisa operacional associada a computação quântica, incluindo a análise de dados de município.

Circuito Bernstein-Vazirani:

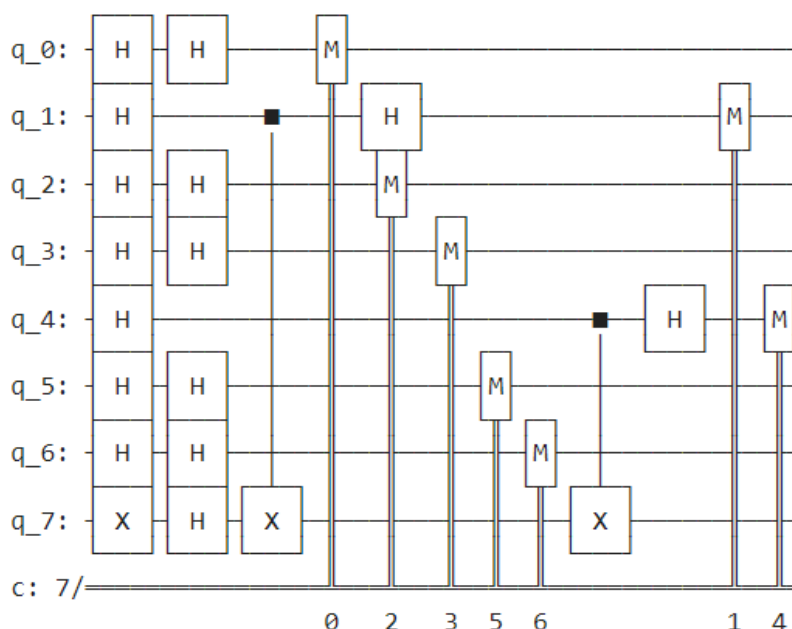


Figura 1 Circuito quântico Bernstein-Vazirani para a busca pela cidade de Itapira no banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

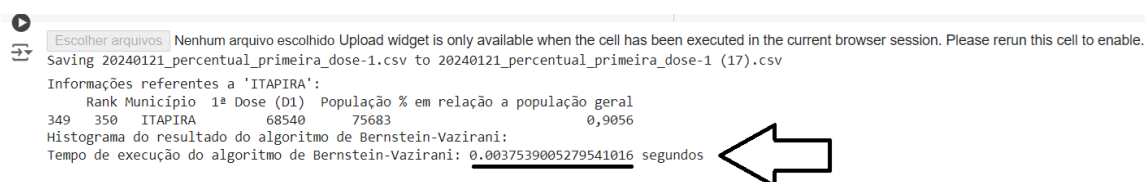


Figura 2 Simulação quântica para busca do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

Na Figura 3 é apresentado o tempo de execução do algoritmo linear, totalizando 0,0357 segundo para efetuação da busca de dados sobre a primeira dose da vacina contra COVID-19 no banco de dados do Governo do Estado de São Paulo.

Escolher arquivos Nenhum arquivo escolhido Upload widget is only available when the cell has been executed in the current browser session. Please rerun this cell to enable.

Saving 20240121_percentual_primeira_dose-1.csv to 20240121_percentual_primeira_dose-1 (24).csv
Tempo de Execução da Busca nos Dados: 0,0357966423034668 segundos

Dados de Itapira:

Rank	350
Município	ITAPIRA
1ª Dose (D1)	68540
População	75683
% em relação a população geral	0,9056

Name: 349, dtype: object

Figura 3 Simulação para busca linear de dados do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

O tempo de execução do algoritmo de Bernstein-Vazirani (Figura 2) foi de 0,00375390005279547116 segundos enquanto o tempo de execução de busca no banco de dados sem implementação de metodologia quânticas é correspondente a 0.0379664230346668 segundos. Portanto, o algoritmo Bernstein-Vazirani apresenta uma velocidade de 89,3% superior quando comparado com a metodologia linear de busca de dados no arquivo csv. Esse resultado é alcançado após a tarefa de pré-processamento dos dados. As demais simulações não necessitam de novas tarefas de organização e processamento dos dados.

A melhora superior a 89% por meio da aplicação do algoritmo de Bernstein-Vazirani pode ser visto como uma ferramenta promissora para as áreas médicas, visto que a velocidade do monitoramento de dados pode impactar grandiosamente em caso de doenças virais, tais como a COVID-19. Os vírus são seres que possuem alta capacidade de mutagênese, a qual é um processo natural ou induzido que conduz a mutações no material genético de um organismo. Tal característica tornam os vírus extremamente adaptáveis e desafiadores para combater, já que são capazes de evadir o sistema imunológico humano, desenvolvendo alta resistência a medicamentos, fazendo com que sejam possíveis causadores de pandemias [Swanstrom e Schinazi 2022].

Simulações com demais metodologias clássicas de busca foram realizadas a fim de comparar a quantidade de iterações necessárias para a obtenção de um resultado busca de município no banco de dados de primeira dose da vacina contra a Covid-19, de forma a comprovar a eficiência da computação quântica quando aplicada a sistemas de busca, conforme pode ser visto na Figura 4 a 7.

Na Figura 8 é apresentado o comparativo da eficiência do algoritmo quântico com as demais abordagens tradicionais bem como seus respectivos resultados.

Escolher arquivos 20240121_...dose-1.csv

- 20240121_percentual_primeira_dose-1.csv(text/csv) - 21829 bytes, last modified: 24/05/2024 - 100% done

Saving 20240121_percentual_primeira_dose-1.csv to 20240121_percentual_primeira_dose-1 (1).csv
Tempo de Execução da Busca nos Dados: 0,018288850784301758 segundos

Dados de Itapira:

Rank	350
Município	ITAPIRA
1ª Dose (D1)	68540
População	75683
% em relação a população geral	0,9056

Name: 349, dtype: object

Figura 4 Simulação para busca binaria de dados do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

Escolher arquivos

_20240121...dose-1.csv

- **_20240121_percentual_primeira_dose-1.csv**(text/csv) - 22475 bytes, last modified: 10/06/2024 - 100% done

Saving _20240121_percentual_primeira_dose-1.csv to _20240121_percentual_primeira_dose-1 (1).csv

Tempo de Execução da Busca nos Dados: 0.010569334030151367 segundos

Número de iterações: 15

Dados de Itapira:

Rank	350
Município	ITAPIRA
1ª Dose (D1)	68540
População	75683
% em relação a população geral	0,9056

Name: 349, dtype: object

Resultados da Busca Interpolada



Figura 5 Simulação para busca interpolada de dados do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

Escolher arquivos

_20240121...dose-1.csv

- **_20240121_percentual_primeira_dose-1.csv**(text/csv) - 22475 bytes, last modified: 10/06/2024 - 100% done

Saving _20240121_percentual_primeira_dose-1.csv to _20240121_percentual_primeira_dose-1 (24).csv

Tempo de Execução da Busca nos Dados: 0.0043163299560546875 segundos

Número de iterações: 15

Dados de Itapira:

Rank	350
Município	ITAPIRA
1ª Dose (D1)	68540
População	75683
% em relação a população geral	0,9056

Name: 349, dtype: object



Figura 6 Simulação para busca exponencial de dados do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

Escolher arquivos

_20240121...dose-1.csv

- **_20240121_percentual_primeira_dose-1.csv**(text/csv) - 22475 bytes, last modified: 10/06/2024 - 100% done

Saving _20240121_percentual_primeira_dose-1.csv to _20240121_percentual_primeira_dose-1 (33).csv

Tempo de Execução da Busca nos Dados: 0.008653879165649414 segundos

Número de iterações: 22

Dados de Itapira:

Rank	350
Município	ITAPIRA
1ª Dose (D1)	68540
População	75683
% em relação a população geral	0,9056

Name: 349, dtype: object

Resultados da Busca Jump



Figura 7 Simulação para busca jump de dados do município de Itapira do banco de dados do Governo do Estado de São Paulo

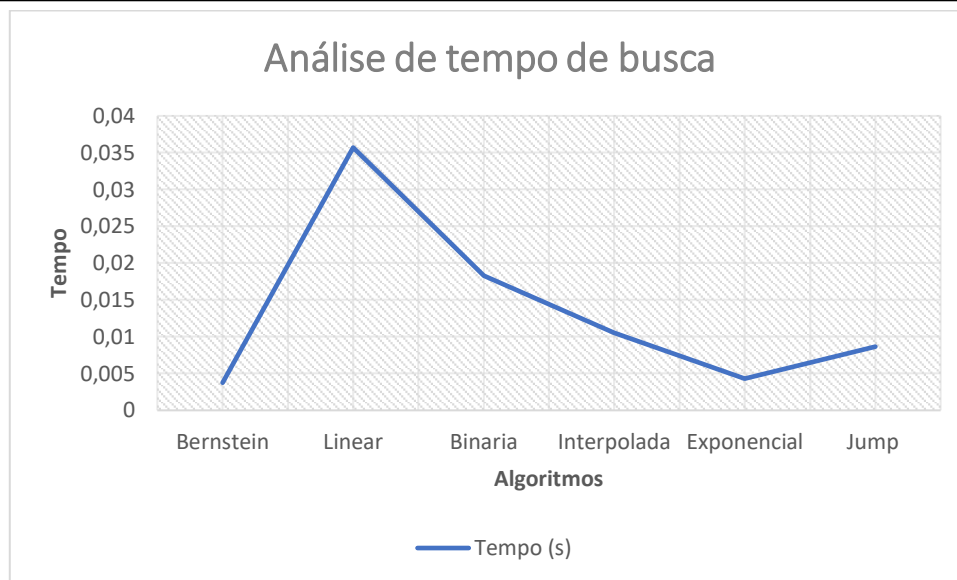


Figura 8 Análise de Tempo de Busca

Além disso, a alta velocidade na busca de dados de vacinação pode contribuir grandemente para o melhor repasse de verbas públicas para compra e distribuição de vacinas, não apenas durante uma pandemia, mas para todas as vacinas do calendário de vacinação nacional. No ano de 2023, governo brasileiro dobrou os investimentos em vacinas brasileiras contra doenças como dengue e malária, de forma que a Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) destinou R\$ 4,4 milhões para o desenvolvimento nacional de imunizantes desde janeiro daquele mesmo ano [O Globo 2023].

Segundo a OMS e Universidade de Oxford, a desigualdade na distribuição da vacina contra a COVID-19 terá impacto longínquo e profundo na recuperação socioeconômica em países de baixa e média-baixa renda, caso não houvesse uma tomada de ação urgente visando a aumentar do fornecimento para assegurar o acesso equitativo a todas as nações, inclusive através do compartilhamento de doses. Além disso, a aceleração no aumento da produção e na distribuição de doses suficientes de vacinas a países de baixa renda poderia ter acrescentado um montante de US\$ 38 bilhões à previsão do Produto Interno Bruto (PIB) dessas nações no ano de 2021, caso os governos tivessem taxas de vacinação semelhantes às de países de alta renda [Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento 2023].

4. Conclusão

A arquitetura quântica, com sua capacidade de processar um número exponencialmente maior de informações em comparação a metodologias clássicas, fornece ferramentas poderosas para lidar com *Big Data* das áreas médicas. Em caso de pandemias ou de surtos de doenças virais, a velocidade na busca, obtenção e processamento de dados é uma peça chave para o controle e o combate de novas mutações virais. A vacinação é uma arma fundamental nesse processo, mas sua distribuição é intrinsecamente relacionada a práticas de políticas públicas que necessitam de modernização de seus sistemas de busca e monitoramento da distribuição de doses de vacinas de forma a assegurar o acesso universal e igualitário ao acesso a saúde pública.

Nesse contexto, algoritmos de computação quântica, como o abordado no presente estudo, tem se mostrado com uma ferramenta eficaz e promissora para as áreas médicas e para as áreas ligadas a administração pública. O algoritmo Bernstein-Vazirani pode ser crucial no combate a

pandemias, onde a velocidade na obtenção, processamento e análise de dados é imprescindível para a tomada de decisões rápidas e eficazes.

5. Trabalhos Futuros

A metodologia do presente estudo possibilita diversas outras aplicabilidades para o futuro das áreas médicas. Sistema de buscas são amplamente utilizados por centros de pesquisa, universidades, empresas públicas e órgãos do governo. Sua aplicabilidade abrange desde facilidade de acesso a dados médicos pelo governo a fim de planejar e otimizar práticas públicas e orçamentárias ligadas a saúde até mesmo a facilitar pesquisas públicas e privadas. O banco de dados é uma ferramenta crucial para o desenvolvimento de estudos baseados em aprendizado de máquina, robótica e Inteligência Artificial. A facilidade e velocidade na busca de dados podem contemplar desde informações relevantes sobre câncer de mama, leucemia, linfomas, índices de tabagismo e incidência de arboviroses de forma a fomentar pesquisas e inovações que poderão impactar em diagnósticos mais precisos, tratamentos mais personalizados, repasse de verbas públicas mais igualitários e maior qualidade de vida as populações.

6. Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo n.º 405352/2021-2).

Referências

- Ghosh, B. (2023). Emergence and History: Variola Stories. *History of the Present*, 13(1), 31-39.
- Greydanus, D., & Cabral, M. (2021). The Legacy of James Phipps in the 21st.
- BBC News Brasil. (2021). Brasil bate recorde de mortes por Covid-19 em 24 horas, com 2.315 vítimas. <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-54029641>
- Kerr, L. (2023). From eradication to the risk of reintroduction of poliomyelitis in Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28, 328-328.
- Ministério da Saúde. (2022). Governo Federal investiu mais de R\$ 540 bilhões para o enfrentamento da pandemia no Brasil. <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/dezembro/governo-federal-investiu-mais-de-r-540-bilhoes-para-o-enfrentamento-da-pandemia-no-brasil>.
- CNN Brasil. (2021). Estudo: Vacinas evitaram quase 20 milhões de mortes por Covid no 1º ano das campanhas. <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/estudo-vacinas-evitaram-quase-20-milhoes-de-mortes-por-covid-no-1o-ano-das-campanhas/>.
- Moderna, Inc. (2023). Moderna and IBM to Explore Quantum Computing and Generative AI for mRNA Science. Moderna Investor Relations. <https://investors.modernatx.com/news/news-details/2023/Moderna-and-IBM-to-Explore-Quantum-Computing-and-Generative-AI-for-mRNA-Science/default.aspx>
- Padilha França, R., Borges Monteiro, A. C., Arthur, R., & Iano, Y. (2019). Understanding Quantum Computation Concepts and Applications. In *Brazilian Technology Symposium* (pp. 351-359). Cham: Springer International Publishing.
- Hidary, J. D., & Hidary, J. D. (2021). A brief history of quantum computing. *Quantum Computing: An Applied Approach*, 15-21.
- Zubairy, M. S. (2020). *Quantum mechanics for beginners: with applications to quantum communication and quantum computing*. Oxford University Press.
- Khang, A. (Ed.). (2024). *Applications and Principles of Quantum Computing*. IGI Global.
- Kumar, G., Yadav, S., Mukherjee, A., Hassija, V., & Guizani, M. (2024). Recent advances in quantum computing for drug discovery and development. *IEEE Access*, 12, 64491-64509. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376408>
- Abdellah, T., Merazka, F., & Zahra, H. F. (2023). Quantum Computing for DNA Analysis and AI in Genomics. In *Proceedings of the 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)* (pp. 1-6). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). doi: 10.1109/AICCSA59173.2023.10479282
- Gupta, S., Modgil, S., Bhatt, P. C., Jabbour, C. J. C., & Kamble, S. (2023). Quantum computing led innovation for achieving a more sustainable Covid-19 healthcare industry. *Technovation*, 120, 102544.

Wei, L., Liu, H., Xu, J., Shi, L., Shan, Z., Zhao, B., & Gao, Y. (2023). Quantum machine learning in medical image analysis: A survey. *Neurocomputing*, 525, 42-53.

Gupta, P. K., & Hira, D. S. (2022). *Introduction to Operations Research*. S. Chand Publishing.

Gadoev, J., Harries, A. D., Korotych, O., Kumar, A. M., Dadu, A., Kuppens, L., ... & Dara, M. (2021). Operational Research to Inform Programmatic Approaches to the Management of Tuberculosis in Uzbekistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12308.

Nepomuceno, T. C., Silva, W. M., Nepomuceno, K. T., & Barros, I. K. (2020). A DEA-Based Complexity of Needs Approach for Hospital Beds Evacuation during the COVID-19 Outbreak. *Journal of healthcare engineering*, 2020(1), 8857553.

Tavana, M., Govindan, K., Nasr, A. K., Heidary, M. S., & Mina, H. (2021). A mathematical programming approach for equitable COVID-19 vaccine distribution in developing countries. *Annals of Operations Research*, 1-34.

Governo do Estado de São Paulo. (2023). Censo Demográfico 2022: População de SP cresce acima da média do país nos últimos 12 anos. . <https://www.saopaulo.sp.gov.br/noticias/censo-2022-populacao-de-sp-cresce-acima-da-media-do-pais-nos-ultimos-12-anos>

Zachmann, R. (2023). Design and implementation of the recursive Bernstein-Vazirani quantum algorithm (Doctoral dissertation, Technische Universität Wien).

Shukla, A., & Vedula, P. (2023). A generalization of Bernstein–Vazirani algorithm with multiple secret keys and a probabilistic oracle. *Quantum Information Processing*, 22(6), 244.

Zhou, X., Qiu, D., & Luo, L. (2023). Distributed Bernstein–Vazirani algorithm. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 629, 129209.

Swanstrom, R., & Schinazi, R. F. (2022). Lethal mutagenesis as an antiviral strategy. *Science*, 375(6580), 497-498.

O Globo. (2023). Governo dobra investimento em vacinas brasileiras contra doenças como dengue e malária. <https://oglobo.globo.com/saude/noticia/2023/07/17/governo-dobra-investimento-em-vacinas-brasileiras-contra-doencas-como-dengue-e-malaria.ghtml>

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (2023). Desigualdade na distribuição de vacinas prejudica recuperação econômica mundial. <https://www.undp.org/pt/brazil/news/desigualdade-na-distribuicao-de-vacinas-prejudica-recuperacao-economica-mundial>