



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Análise de Dados da Poluição do Ar nos Países do G20

Elias Felipe Pereira Alves

Eixo de Informação e Comunicação – Instituto Federal do Tocantins

Renato Pereira dos Santos

Eixo de Informação e Comunicação – Instituto Federal do Tocantins

Jeffé Lopes Gregório

Eixo de Informação e Comunicação – Instituto Federal do Tocantins

Ivo Sócrates Moraes de Oliveira

Eixo de Informação e Comunicação – Instituto Federal do Tocantins

Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

André Luis Korzenowski

Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Resumo: A poluição atmosférica é um desafio crescente para cidades grandes e pequenas, comprometendo a qualidade do ar e a saúde pública. Esta pesquisa aborda esse problema, analisando dados de emissão de poluentes de 15 países do G20 com o uso de inteligência de negócios. O Microsoft Power BI foi utilizado na produção dos *insights* para auxiliar na compreensão e mitigação da poluição. A revisão da literatura explora conceitos de inteligência de negócios, como ETL, e os principais poluentes atmosféricos: PM2.5, PM10, ozônio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio. A pesquisa é justificada pela necessidade de monitorar os impactos da poluição, não apenas na saúde e no meio ambiente, mas também na economia. O objetivo da pesquisa foi o de analisar as emissões de poluentes em 15 países do G20 e entender a relação entre esses dados e fatores econômicos. Os resultados incluem um painel com quatro páginas que mostra correlações entre a redução de poluentes após o Acordo de Paris, em 2015, e o aumento do PIB, sugerindo que a redução da poluição pode coexistir com o crescimento econômico. Como próximos passos, recomenda-se expandir a análise para outras regiões e aprofundar a avaliação do impacto das políticas de controle de poluentes. Espera-se que esta pesquisa contribua para a formulação de estratégias mais eficazes na gestão da qualidade do ar e no bem-estar humano.

Palavras-chave: Dados Analíticos, G20, Inteligência de Negócios, Poluentes Atmosférico, Power BI.

Air Pollution Data Analysis in G20 Countries

Abstract: Atmospheric pollution poses a growing challenge to cities, large and small, compromising air quality and public health. This research addresses this issue by analyzing pollutant emission data from 15 G20 countries using business intelligence. Microsoft Power BI was used to produce insight to help understand and mitigate pollution. The literature review explores business intelligence concepts such as ETL and the primary atmospheric pollutants: PM2.5, PM10, ozone, sulfur dioxide, carbon monoxide, and nitrogen dioxide. The research is justified by the need to monitor the impacts

of pollution, not only on health and the environment but also on the economy. The research aimed to analyze pollutant emissions in 15 G20 countries and to understand the relationship between these data and economic factors. The results include a four-page dashboard that shows correlations between the reduction of pollutants after the 2015 Paris Agreement and the increase in GDP, suggesting that pollution reduction can coexist with economic growth. As the following steps, it is recommended to expand the analysis to other regions and deepen the evaluation of the impact of pollution control policies. Hopefully, this research will contribute to formulating more effective strategies for managing air quality and human well-being.

Keywords: Analytics, G20, Business Intelligence, Air Pollutants, Power BI.

1. Introdução

A poluição atmosférica é um problema crescente, especialmente nas grandes cidades. Duchiade (1992) define os poluentes atmosféricos como substâncias que ultrapassam os níveis permitidos por leis, tornando o ar prejudicial à saúde e ao meio ambiente. O aumento da urbanização e das atividades industriais agrava essa situação, resultando em um impacto negativo na qualidade do ar e na saúde pública.

Entre os principais poluentes atmosféricos estão os materiais particulados PM2.5 e PM10, além de gases nocivos como ozônio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio (DAPPER *et al.*, 2016). Esses poluentes formam camadas densas de gases, resultando na formação de *smog*, um fenômeno crescente em grandes metrópoles que afeta a vida de milhões de pessoas (FERREIRA, 2019).

Felin e Simoni (2021) estimam que mais de 51 mil brasileiros morrem anualmente devido à poluição. Crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares estão entre os mais vulneráveis (ANDRÉ *et al.*, 2018). Relatórios da Organização Panamericana de Saúde (Pan American Health Organization – PAHO) (2023) indicam que apenas 17% das cidades de países de alta renda estão abaixo dos limites de poluição definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), evidenciando o desafio global. Nos países de baixa e média renda, a situação é ainda mais crítica, com apenas 1% das cidades em conformidade com os padrões da OMS (OMS, 2021). A falta de infraestrutura e recursos dificulta o enfrentamento eficaz da poluição nessas regiões.

Esta pesquisa focará na análise da emissão de poluentes nos países de 15 dos 19 países do Grupo dos Vinte (G20), que reúne os países com as maiores economias do mundo, utilizando dados descritivos e a ferramenta Microsoft Power BI. A análise busca identificar a relação entre desenvolvimento econômico e poluição, contribuindo para o debate sobre políticas climáticas e sustentabilidade. Tal pesquisa se justifica pela oferta de ferramentas para comparar e mitigar os problemas elencados por diversas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), como os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), relacionados à saúde, cidades sustentáveis e ação climática.

O problema de pesquisa investiga como as técnicas de Inteligência de Negócios (Business Intelligence - BI) podem ser aplicadas de maneira viável para analisar fatores relacionados à poluição do ar e auxiliar na tomada de decisões para reduzir seus impactos. A poluição atmosférica afeta a saúde, o meio ambiente e a qualidade de vida, e as ferramentas de BI podem oferecer *insights* valiosos sobre os fatores que a influenciam. No entanto, é necessário avaliar se essas técnicas são aplicáveis ao contexto urbano, considerando a disponibilidade de dados, metodologias adequadas e as limitações do ambiente. O estudo busca entender se essas ferramentas podem fornecer informações úteis para gestores públicos e partes interessadas na criação de estratégias eficazes para controle da poluição.

O objetivo desta pesquisa é utilizar técnicas de inteligência de negócios para analisar dados de emissão de poluentes nos países do G20, fornecendo *insights* que auxiliem na tomada

de decisões sobre a redução da poluição do ar. A pesquisa busca oferecer um painel interativo no Microsoft Power BI para correlacionar indicadores relevantes, com o intuito de apoiar gestores públicos e interessados no tema.

Este artigo está dividido em 05 seções. A primeira, introduz a pesquisa, contextualizando, descrevendo basicamente o problema que pretende solucionar e aponta o objetivo geral. A segunda seção, traz uma revisão teórica da pesquisa. A terceira seção, apresenta a metodologia utilizada. Na quarta seção, dispõe os resultados obtidos. Por fim, na quinta seção são apresentadas as considerações finais, que relacionam os trabalhos futuros.

2. Revisão de literatura

Nesta sessão serão apresentados os conceitos básicos de Inteligência de Negócios, Poluição do Ar e a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima e objetiva fornecer uma melhor compreensão do leitor sobre os temas abordados.

2.1. Inteligência de negócios

De acordo com Braghittoni (2017), o termo Inteligência de Negócios foi introduzido por Howard Dresner, do Gartner Group, em 1989, referindo-se a um conjunto de conceitos e métodos voltados para melhorar a tomada de decisões empresariais. No entanto, o uso estratégico da informação para obter vantagem competitiva remonta a períodos muito anteriores. Como apontam Silva *et al.* (2016), civilizações antigas já utilizavam a observação criteriosa e o uso inteligente de informações, como os ciclos climáticos e as marés, para garantir o sucesso de suas colheitas e pescas, demonstrando o valor da informação como precursor do sucesso em tempos de escassez.

Lucas *et al.* (2016) destacam que o conceito de Inteligência de Negócios ganhou ainda mais relevância no contexto moderno, impulsionado pelos avanços tecnológicos. O desenvolvimento contínuo de ferramentas que possibilitam a extração, transformação e análise de dados críticos de forma organizada permite que as empresas se adaptem constantemente, aprimorando sua capacidade de tomar decisões informadas e estratégicas.

O processo de Extrair, Transformar e Carregar (ETL) é amplamente utilizado em BI por organizações para coletar dados de várias fontes, processá-los e centralizá-los em locais como Armazém de Dados (Data Warehouses – DW). Lins e Ferreira (2016) destacam que esse processo permite reunir informações de diferentes origens, facilitando a análise e apoiando a tomada de decisões. A estrutura básica do processo de ETL envolve tanto dados estruturados quanto não estruturados e utiliza uma plataforma de BI para possibilitar o consumo de informações. Kimball e Ross (2013) comparam o ETL a um fluxo de informações, no qual a extração de dados é o ponto inicial. Nesse estágio, dados são coletados de fontes como bancos de dados operacionais, arquivos ou outras origens.

A transformação, que representa a segunda fase do processo, realiza operações de filtragem, padronização e conversão dos dados extraídos, preparando-os para a etapa final. Essa etapa envolve o carregamento dos dados em um modelo apropriado, que pode ser um Data Warehouse, um painel analítico, ou outro artefato que facilite a análise (Kimball e Ross, 2013). Silva *et al.* (2016) ressaltam a importância do processo de ETL, especialmente no que diz respeito ao gerenciamento de sistemas de BI. Manter um sistema de BI atualizado e alimentado com informações precisas é crucial para garantir a qualidade dos dados usados na tomada de decisões. Portanto, o ETL desempenha um papel vital, exigindo um planejamento cuidadoso e supervisão constante para assegurar a eficácia das iniciativas de BI.

Segundo Sadiku *et al.* (2016), existe uma crescente necessidade de exibir grandes volumes de dados de maneira compreensível e a visualização de dados se tornou uma prática

essencial nesse contexto. O processo envolve converter informações complexas em representações visuais que facilitam o entendimento por parte dos tomadores de decisão no contexto de BI. O principal objetivo da visualização de dados é simplificar a comunicação de informações detalhadas e torná-las acessíveis.

Empresas de grande porte têm reconhecido cada vez mais o valor dos dados e sua importância para os negócios. A forma como esses dados são interpretados é crucial, conforme destacado por Silva (2019), que aponta quatro elementos essenciais para uma visualização de dados eficaz: garantir um conjunto de dados limpo, comunicar uma mensagem clara por gráfico, escolher o tipo de gráfico correto e usar cores adequadamente para destacar informações importantes.

As diversas formas de apresentar dados proporcionam a descoberta de novos *insights*, especialmente quando combinadas com ferramentas de análise adequadas, permitindo que esses *insights* sejam compartilhados amplamente. Sadiku *et al.* (2016) destacam várias técnicas comuns de visualização de dados, como: o gráfico de linhas, ideal para representar tendências ao longo do tempo, e o gráfico de barras, útil para comparações de desempenho entre variáveis relacionadas. Outras abordagens incluem o gráfico de dispersão, que mostra relações entre duas variáveis, e o gráfico de pizza, frequentemente utilizado para comparações de valores individuais dentro de um conjunto. Essas ferramentas de visualização são fundamentais para transformar dados complexos em informações acionáveis, auxiliando a tomada de decisões de maneira mais eficiente e baseada em evidências.

2.2. Poluição do ar

O estudo dos poluentes atmosféricos tornou-se essencial em função do impacto significativo que esses compostos têm sobre a saúde humana, o meio ambiente e a qualidade de vida nas áreas urbanas e industriais. Desde os eventos históricos de poluição severa, como o ocorrido em Londres em 1952, descrito por Braga *et al.* (2001), a compreensão sobre a composição e os efeitos dos poluentes tem evoluído. Esse episódio em Londres, no qual a inversão térmica impediu a dispersão de poluentes, resultando em milhares de mortes, foi um marco que incentivou a implementação de políticas de controle e monitoramento das emissões atmosféricas.

As Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (2021) recomendam níveis de qualidade do ar para seis poluentes principais, os quais que afetam diretamente a saúde humana de forma nociva, esses poluentes incluem os materiais particulados finos (PM), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e monóxido de carbono (CO). A exposição prolongada a esses poluentes está associada a doenças respiratórias, cardiovasculares e até mortes prematuras.

Os materiais particulados, por exemplo, são uma mistura complexa de compostos que variam em tamanho e composição química, tornando seu estudo desafiador (SILVA *et al.*, 2016). As partículas PM_{2.5} e PM₁₀ são especialmente preocupantes, pois podem ser inaladas e penetrar profundamente nos pulmões, causando problemas respiratórios graves. O ozônio troposférico, conforme descrito por Braga *et al.* (2001), também representa um risco importante, sendo formado por reações químicas catalisadas pela luz solar e influenciando negativamente a saúde respiratória.

Outros poluentes, como o dióxido de enxofre e o monóxido de carbono, têm sido amplamente estudados devido aos seus efeitos diretos e indiretos. O dióxido de enxofre, além de contribuir para a poluição do ar, é responsável pela formação de chuva ácida, que afeta negativamente a vegetação e as estruturas construídas pelo homem (FERREIRA, 2019). O monóxido de carbono, por sua vez, é um gás altamente tóxico, podendo causar sintomas graves e até a morte em concentrações elevadas (BRAGA E SALDIVA, 2001).

O dióxido de nitrogênio (NO₂), proveniente, principalmente, da combustão de motores de automóveis, é outro poluente crítico. Ele causa danos celulares significativos ao ser inalado, com efeitos tóxicos particularmente graves nas porções periféricas dos pulmões (CETESB, 2023). Diante dessa diversidade de poluentes e seus impactos, a importância do estudo e controle das emissões deles é evidente.

2.3. Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima

Para compreender a situação ambiental contemporânea, é essencial considerar o contexto histórico que moldou os desafios atuais. Pott e Estrela (2017) destacam que a crise ambiental resulta de decisões e falhas passadas, colocando a humanidade em um ponto crucial onde esforços para mitigar esses impactos são indispensáveis. Na década de 1990, houve um impulso para conceituar o desenvolvimento sustentável, enfatizado pela Rio-92, um marco importante que resultou em acordos globais como a Agenda 21 e convenções sobre mudanças climáticas e biodiversidade (CASTELLA, 2023).

A Rio-92 foi fundamental ao reconhecer a responsabilidade histórica dos países desenvolvidos pelas mudanças climáticas e ao propor um plano global de ação ambiental. Esse evento abriu caminho para o Protocolo de Kyoto, em 1997, que estabeleceu metas obrigatórias para a redução de gases de efeito estufa entre 37 países desenvolvidos (FIESP, 2023). Posteriormente, o Acordo de Paris, firmado em 2015, representou um compromisso global com a meta de limitar o aquecimento global a "bem abaixo" de 2°C e envidar esforços para manter esse aumento em 1,5°C (ACORDO DE PARIS, 2024). Com esse acordo, os países estabeleceram Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), onde, por exemplo, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, chegando a 43% até 2030, em comparação aos níveis de 2005 (MCTI, 2024).

O Acordo de Paris também propôs um fundo de US\$ 100 bilhões anuais para ajudar os países em desenvolvimento a se adaptarem às mudanças climáticas, reforçando a necessidade de ações coordenadas e financeiras. Esses tratados e convenções refletem um esforço coletivo para reverter os danos ambientais causados no passado e promovem um novo comportamento focado na sustentabilidade, ainda que a implementação dessas mudanças seja um processo gradual e desafiador (ACORDO GLOBAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA É ADOTADO EM PARIS, 2015).

Dessa forma, a busca por sustentabilidade e a transição para práticas mais responsáveis são essenciais para alcançar uma convivência harmoniosa com o meio ambiente, assegurando que as gerações futuras tenham um planeta habitável.

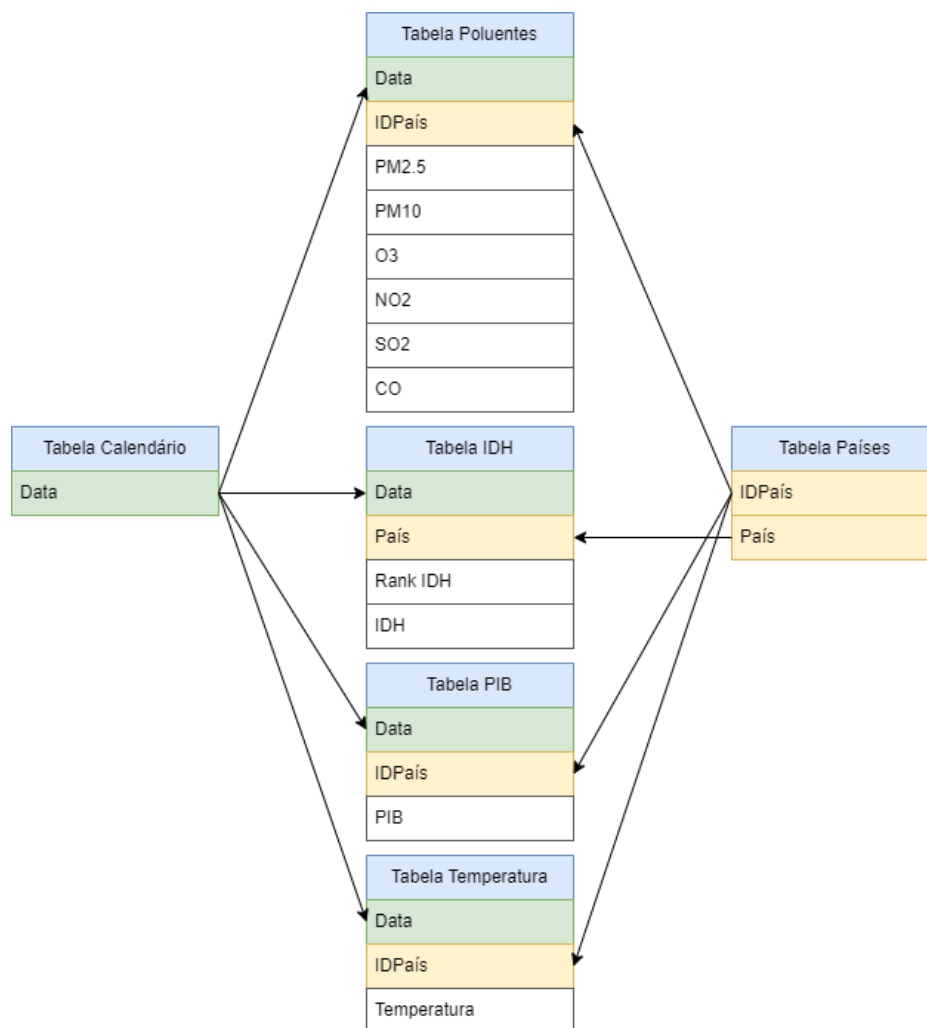
3. Método de pesquisa

A metodologia deste estudo seguiu uma abordagem quantitativa, com base em pesquisa bibliográfica e avaliação crítica da qualidade do painel desenvolvido. O processo foi guiado pela metodologia Design Science Research (DSR), caracterizada pela criação iterativa de artefatos para solucionar problemas práticos. O estudo utilizou um formulário experimental para avaliar o painel de análise.

O processo metodológico iniciou-se com a escolha do tema e seleção de um banco de dados relevante para a análise de poluentes atmosféricos nos países do G20, dito isto foi escolhido a base de dados da *"World Air Quality Index Project"*, que em resumo se trata de um grande sistema que integra bases de dados de qualidade do ar de mais de 130 países (WAQI, 2023). Dos 19 países e união europeia pertencentes ao G20, foram utilizados apenas dados da Alemanha, Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Índia, Itália, Japão, México, Reino Unido e Turquia, juntamente com suas respectivas capitais, devido à disponibilidade deles.

Os dados de Produto Interno Bruto (PIB) e temperatura média utilizados para correlacionar informações foram extraídos do sistema *Web Trading Economics* (TRADING ECONOMICS, 2024). A seguir, foi conduzida uma revisão da literatura, a fim de fundamentar o desenvolvimento da solução. Após a etapa de revisão, foi realizado o processo de ETL dos dados, a etapa de extração foi utilizado o Microsoft Excel para extrair os dados e dispô-los em tabelas, logo após, na etapa de transformação houve a limpeza dos dados, remoção de colunas desnecessárias e remoção de *outliers*, e, por fim, a etapa de carregamento dos dados foi utilizado a ferramenta Microsoft Power BI para obter os dados já estruturados e iniciar o processo de análise deles, para analisar dados de várias tabelas é necessário a estruturação das dimensões e fatos do modelo de banco de dados, dito isso a Figura 1 representa a consolidação dos campos, tabelas e relacionamentos utilizados na análise desta pesquisa.

Figura 1 – Diagrama de Entidade-Relacionamento Utilizado no Modelo



Fonte: Elaborado pelo autor 2024

Em seguida, foi desenvolvido um painel interativo utilizando a ferramenta Microsoft Power BI, que apresentou visualizações dos dados e *insights* o método de avaliação do painel desenvolvido foi realizado por meio de uma pesquisa com duração de 3 a 4 minutos executada por meio de *google* formulários, essa pesquisa foi direcionada a engenheiros ambientais, profissionais da área e pessoas interessadas no tema, entre os dias 17 e 23 de maio de 2024, o objetivo dessa pesquisa foi reter *feedback* e melhorar o painel. Por fim, a conclusão desta pesquisa sintetizou os principais resultados, avaliou a eficácia da solução proposta e forneceu os *insights* finais em relação ao objetivo proposto no início.

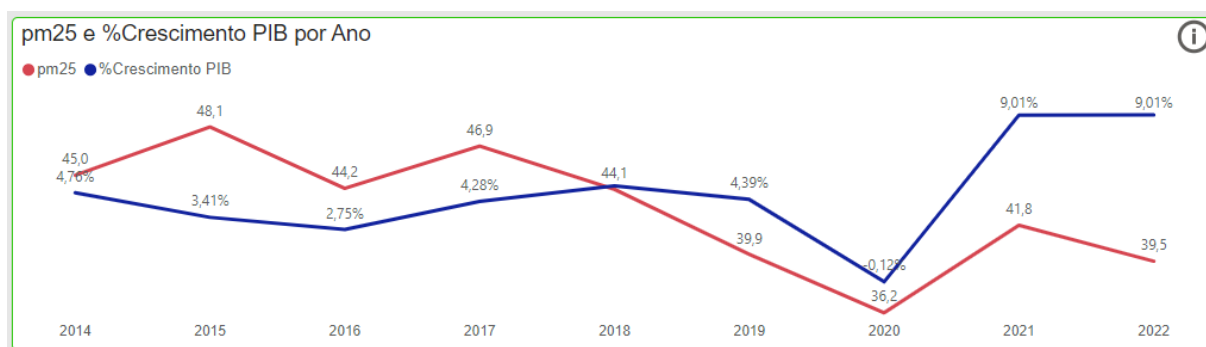
4. Resultados

O painel desenvolvido para análise de dados sobre a qualidade do ar e o PIB dos países do G20 foi estruturado em quatro páginas principais no painel, seguindo diretrizes reconhecidas. As escalas de qualidade do ar utilizadas foram baseadas no Documento de Assistência Técnica para o Reporte Diário da Qualidade do Ar (AIRNOW, 2024), que adota as normas da OMS.

A primeira página do painel introduz o usuário no processo de compreensão geral da poluição do ar, apresentando um tutorial detalhado sobre como utilizar as visualizações, aplicar filtros e navegar pelas páginas, facilitando o entendimento e a exploração dos dados.

A segunda página do painel foca na relação entre crescimento econômico e qualidade do ar, utilizando um índice composto que pondera o PIB e os níveis de PM2.5. O índice atribui um peso de -0,3 ao PIB e 0,7 ao PM2.5, refletindo a necessidade de penalizar países com altos níveis de poluição, ao mesmo tempo em que beneficia aqueles com maior PIB. Um exemplo destacado é o do Canadá, onde, conforme mostrado na Figura 2, a curva de emissões de PM2.5 vem diminuindo, enquanto o PIB segue em crescimento. Isso evidencia o impacto positivo do Plano de Redução de Emissões de 2030, que projeta uma redução de 40% nas emissões até 2030 (GOVERNMENT OF CANADA, 2023), mostrando que é possível reduzir poluentes sem prejudicar o crescimento econômico.

Figura 2 – Gráfico de PM2.5 e crescimento percentual de PIB por ano no Canadá.



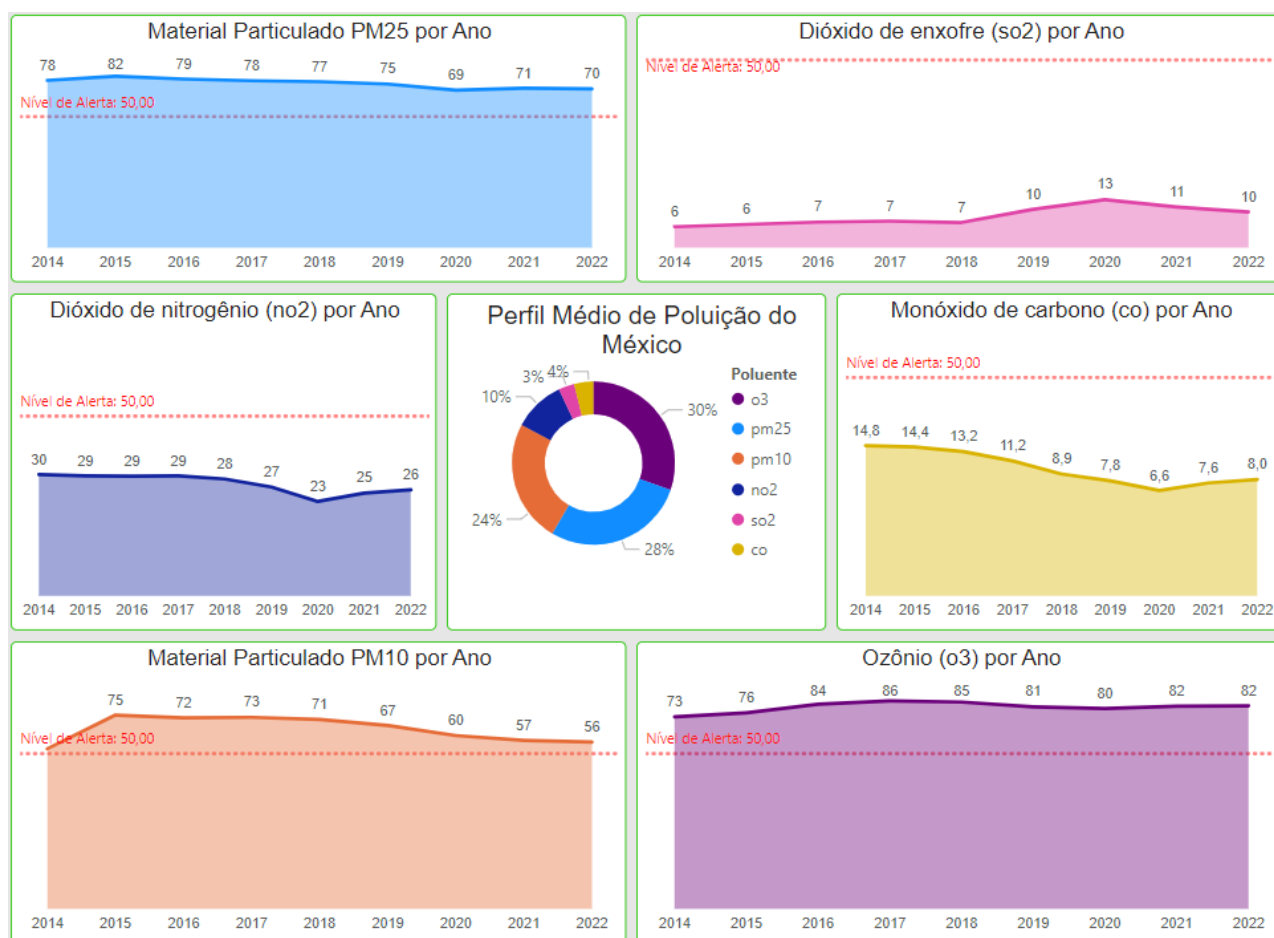
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na terceira página do painel, a Figura 3 destaca os altos níveis de PM2.5, PM10 e ozônio no México, que apresentaram poucas oscilações ao longo dos anos. O Plano Sonora, Energia Limpa e Mudanças Climáticas, adotado pelo governo mexicano para reduzir em 30% as emissões de gases de efeito estufa até 2030, mostrou pouca eficácia até 2022 (GOBIERNO DE MÉXICO, 2022), como indicado nos gráficos.

A quarta página foi submetida à avaliação de profissionais da área ambiental do Instituto Federal do Tocantins, Naturatins, Instituto Tecnológico Vale e outros interessados, resultando em 7 *feedbacks*. Conforme ilustrado na Figura 4, todos os entrevistados concordaram que o painel é relevante para monitorar a aderência às políticas de melhoria da qualidade do ar.

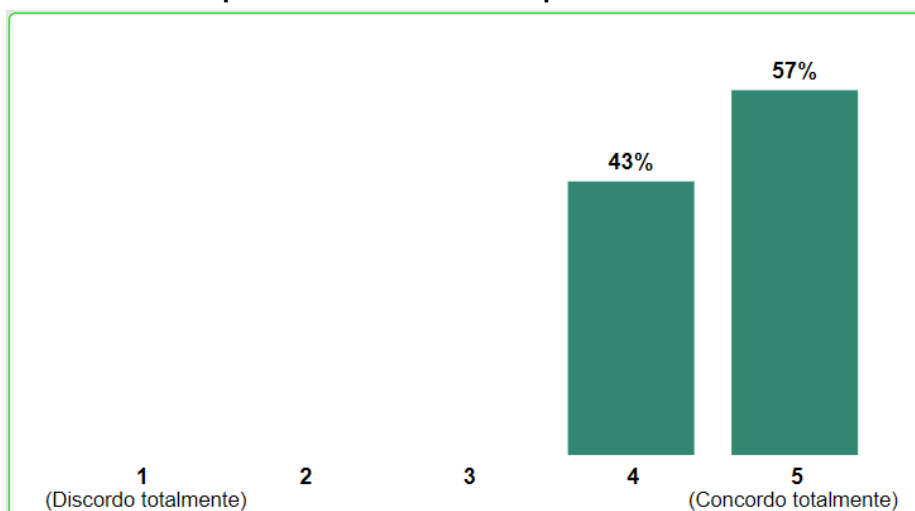
Além disso, como mostrado na Figura 5, todos concordaram que o tutorial da segunda página ajuda na navegação e compreensão dos gráficos do painel proposto. Em relação às sugestões de melhoria, um entrevistado recomendou a inclusão de dados populacionais. No entanto, isso estava fora do escopo do trabalho, que focava na correlação entre crescimento econômico e qualidade do ar. Outro entrevistado sugeriu a inclusão de dados sobre emissões de CO₂, mas esses dados não estavam disponíveis na base utilizada, que já incluía os seis poluentes principais recomendados pela OMS (2021). Correções em títulos, símbolos e explicações foram feitas, e o tutorial foi atualizado para esclarecer as fontes das escalas e o funcionamento dos índices utilizados.

Figura 3 – Painel com dados de poluentes do México.



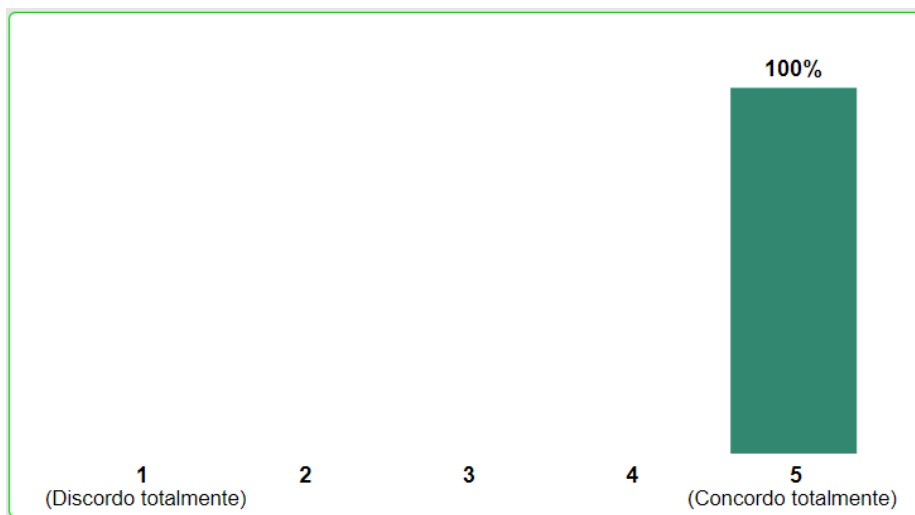
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 4 - Respostas à afirmação: “O painel apresentado é relevante para acompanhar a aderência às políticas de melhoria da qualidade do ar.”



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 5 - Respostas à afirmação: “O tutorial da segunda página do painel ajuda na navegação e entendimento dos gráficos.”



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em resumo, o painel foi bem avaliado, sendo considerado relevante e útil para monitorar a relação entre economia e qualidade do ar nos países do G20. As sugestões foram implementadas sempre que possível, melhorando a usabilidade e a clareza das informações apresentadas nos dashboards.

5. Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo analisar dados de emissão de poluentes nos países do G20 e relacionar essas informações com dados econômicos através de inteligência de negócios, utilizando o Microsoft Power BI para desenvolver um painel interativo. Os resultados obtidos demonstram que os objetivos foram alcançados, proporcionando *insights* sobre a relação entre desenvolvimento econômico e qualidade do ar.

Primeiramente, a modelagem da solução e análise foram elaboradas com base nas metas e indicadores dos tratados e convenções internacionais voltados para a redução de emissões de poluentes, como o Acordo de Paris que visa uma ação conjunta dos países para diminuição do aquecimento global, as metas individuais de cada país analisado e as escalas que indicam o nível de qualidade do ar tendo como base as diretrizes internacionais estabelecidas pela OMS (2021) e aplicadas pela Agência Nacional de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2024). Esta abordagem garantiu que o painel e a análise subsequente estivessem alinhados com as diretrizes globais, possibilitando a extração de informações padronizadas e mais consistentes dos países. Além disso o índice composto, que pondera PIB e PM2.5, forneceu uma visão balanceada do desempenho dos países, refletindo tanto aspectos econômicos quanto ambientais.

Em seguida, o processo de ETL foi executado com sucesso, permitindo a integração de diversas fontes de dados confiáveis no modelo. A criação dos painéis e indicadores no Microsoft Power BI proporcionou uma visualização amigável e fluida para a apresentação dos *insights* da análise. A primeira página do painel ofereceu um contexto dos dados, enquanto os subsequentes aprofundaram a análise, destacando correlações e tendências, como a relação entre de PM2.5 e o PIB no Canadá que após a aprovação do Acordo de Paris, houve uma diminuição das emissões de PM2.5, enquanto o PIB neste país continuou a crescer, evidenciando a eficácia do Plano de Redução de Emissões de 2030 derivado do Acordo de Paris e que projeta uma diminuição nas emissões de poluentes ao mesmo tempo que melhora a economia do país (GOVERNMENT OF CANADA, 2023). A correlação entre PM2.5 e Dióxido de nitrogênio no Reino Unido que além de terem demonstrado diminuição em períodos pós acordo de Paris e estabelecimento das metas individuais deste país, também mostraram curvas parecidas evidenciando algum nível de similaridade na fonte em suas fontes de emissão.

Por fim, a avaliação da qualidade do painel desenvolvido foi realizada por meio de formulário de *feedback* de profissionais da área ambiental e interessados no assunto. Os resultados indicaram que o painel é relevante, claro e intuitivo, além de ser uma ferramenta eficaz para monitorar a qualidade do ar e o desenvolvimento econômico dos países do G20. As sugestões de melhoria foram prontamente incorporadas, aprimorando ainda mais a usabilidade e a precisão das informações apresentadas.

O painel desenvolvido não apenas facilita a compreensão das interações entre crescimento econômico e poluição ambiental, mas também oferece uma base para futuras pesquisas e políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e a melhoria da qualidade do ar. Este trabalho contribui para o campo da análise de dados ambientais, demonstrando a eficácia do uso de ferramentas de inteligência de negócios para a análise e visualização dos dados propostos.

5.1. Trabalhos futuros

Este trabalho lança uma base para a análise de dados de qualidade do ar e desenvolvimento econômico nos países do G20. No entanto, há várias oportunidades para expandir e aprofundar a pesquisa no futuro. Uma das direções mais promissoras é a expansão da base de dados. A inclusão de dados adicionais, como emissões de CO₂ e dados populacionais, pode enriquecer a análise. Embora este trabalho tenha focado em seis poluentes principais, a adição de outros poluentes e indicadores ambientais pode oferecer uma visão mais completa da qualidade do ar e suas correlações com fatores econômicos e sociais.

Além disso, expandir o escopo da análise para países que não são do G20 pode proporcionar *insights* valiosos sobre a qualidade do ar em diferentes contextos econômicos e geográficos. Comparar países em desenvolvimento e desenvolvidos, ou analisar regiões específicas com características ambientais únicas, pode revelar padrões e tendências que não são visíveis em uma análise restrita ao G20. Essa expansão pode contribuir para uma compreensão mais global dos desafios e soluções relacionados à qualidade do ar.

A análise mais detalhada do impacto das políticas ambientais específicas também pode ser conduzida, avaliando a eficácia de diferentes estratégias adotadas pelos países do G20. Estudos de caso detalhados podem identificar quais políticas são mais eficazes na redução de emissões de poluentes sem comprometer o crescimento econômico. Esta abordagem pode fornecer *insights* práticos e aplicáveis para a formulação de políticas públicas mais eficazes.

Explorar essas direções pode não apenas melhorar a compreensão das interações entre desenvolvimento econômico e qualidade do ar, mas também contribuir para uma possível formulação de políticas mais eficazes e sustentáveis. Este trabalho estabeleceu uma base, e estudos futuros podem construir sobre essa base elementos para alcançar uma análise mais abrangente e detalhada.

Referências

ACORDO global sobre mudança do clima é adotado em Paris. **Nações Unidas Brasil**, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/71711-acordo-global-sobre-mudan%C3%A7a-do-clima-%C3%A9-adotado-em-paris>>. Acesso em: 24, jun. 2024.

Acordo de Paris. **Nações Unidas Brasil**. 2023. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>>. Acesso em: 24 jun. 2024.

AirNow. **AirNow**, 2024. Disponível em: < <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>>. Acesso em: 22 mai. 2024.<https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>

ANDRÉ, P. A. DE *et al.* **Avaliação dos impactos na Saúde Pública e sua Valoração**

Devido à Implementação do Gás Natural Veicular na Matriz Energética de Transporte Público - Ônibus e Veículos Leves em Seis Regiões Metropolitanas no Brasil. Instituto de Saúde e Sustentabilidade. 2018.

BRAGA, A. *et al.* **Poluição atmosférica e saúde humana.** Revista USP, p. 58–71, 2001.

BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. HI. DO N. **Jornal Brasileiro de Pneumologia - Poluição e saúde.** p. 10–11, 2001.

BRAGHITTONI, R. **Business Intelligence: Implementar do jeito certo e a custo zero.** São Paulo – SP: Editora Casa do Código, 2017.

CASTELLA, P. R. **Cronologia Histórica Meio Ambiente.** Secretária da educação – Paraná. 2023. Disponível em:
<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/educacao_ambiental/evolucao_historica_ambiental.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CETESB. **Dióxido de nitrogênio.** Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2023. Disponível em:
<https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=DI%C3%93XIDO%20DE%20NITROG%C3%8ANIO>. Acesso em: 4 jun. 2023.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. **Poluição do ar como fator de risco para a saúde: Uma revisão sistemática no estado de São Paulo.** Estudos Avançados, v. 30, n. 86, p. 83–97, 1 jan. 2016.

DUCHIADE, M. P. **Poluição do Ar e Doenças Respiratórias: Uma Revisão.** Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, p. 311-330, 1992.

EPA. **United States Environmental Protection Agency**, 2024. Disponível em:
<<https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data>>. Acesso em: 22 mai. 2024.

FELIN, B.; SIMONI, W. DE. **Estudo revela estado da qualidade do ar e mostra como o tema é negligenciado no Brasil.** 2021. Disponível em:
<<https://www.wribrasil.org.br/noticias/estudo-revela-estado-da-qualidade-do-ar-e-mostra-como-o-tema-e-negligenciado-no-brasil>>. Acesso em: 17 set. 2023.

FERREIRA, K. S. DE O. **Inventário De Emissões De Poluentes Atmosféricos De Cinco Lavanderias Industriais Do Município De São João Nepomuceno.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Faculdade Doctum Centro De Arquitetura e Engenharias, Juiz de Fora, p. 38. 2019.

Fiesp. **Portal Clima em Debate.** 2023. Disponível em:
<<https://climaemdebate.fiesp.com.br/noticias-imprensa/o-que-e-a-conferencia-das-partes-entenda-a-estrutura-da-cop/>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

GOBIERNO DE MÉXICO. Governo mexicano traça medidas para atingir metas de redução de gases de efeito estufa. **Gobierno de México**, 2022. Disponível em:
<<https://www.gob.mx/semarnat/prensa/gobierno-de-mexico-expone-medidas-para-alcanzar-metas-de-reduccion-de-gases-de-efecto-invernadero>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

GOVERNMENT OF CANADA. Plano de Redução de Emissões 2030: Ar Limpo, Economia

Forte. **Government of Canada**, 2023. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/climate-plan-overview/emissions-reduction-2030.html>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

KIMBALL, R.; ROSS, M. **The Data Warehouse Toolkit**. Indianapolis – Ind. Wiley, 2013.

LINS, M. T. S.; FERREIRA, L. M. **Estudo de Caso de Processamento de ETL Em Plataforma Big Data**. ResearchGate, p. 315–320, 2016.

LUCAS, A.; CAFÉ, L. M. A.; VIERA, A. F. G.. **Inteligência de negócios e inteligência competitiva na ciência da informação brasileira: contribuições para uma análise terminológica**. Perspectivas em Ciência da Informação, v. 21, n. 2, p. 168–187, abr. 2016.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Acordo de Paris e NDC**. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>>. Acesso em: 24 jun. 2024.

OMS. **Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS**. 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

PAHO. **Organização Pan-Americana da Saúde**, 2023. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. **Histórico ambiental: Desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento**. Estudos Avançados, v. 31, n. 89, p. 271–283, 2017.

SADIKU, M. N. O. *et al.* **Data Visualization**. International Journal of Engineering Research and Advanced Technology, v. 02, n. 12, 2016.

SILVA, D. DA *et al.* **Inteligência de Negócio**. Revista Maiêutica, v. 1, n. 1, p. 73–90, 2016.

SILVA, F. C. C. DA. **Visualização de dados: passado, presente e futuro**. Liinc em Revista, v. 15, n. 2, p. 205–223, 2019.

TRADING ECONOMICS. **Trading Economics**, 2024. Disponível em: <<https://tradingeconomics.com/indicators>>. Acesso em: 22 mai. 2024.

WAQI - World Air Quality Index Project. **World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index**, 2024. Disponível em: <<https://waqi.info/>>. Acesso em: 22 mai. 2024.