

Desenvolvimento Sustentável: um olhar baseado em dados sobre o progresso ao redor do mundo

Bruna Luiza M. Santos¹, Giovanni Russo Paschoal¹,
Layla Raissa S. Pereira¹, Lucas da S. Santos¹

¹Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte, Brasil

{blms, grpaschoal, raissalayla16, lucsantsslucas}@ufmg.br

Abstract. *This paper analyses global progress towards the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). Employing statistical methods and predictive modelling, we identify trends, regional disparities, and specific challenges for some goals. Correlations between SDGs highlight the importance of integrated strategies, while trade-offs such as those between economic growth and climate action highlight distinct priorities. The predictions suggest progress toward several goals, but warn that achieving them by 2030 will require intensified efforts, better governance, and improved data collection. Thus, this study provides relevant information for policymakers, emphasizing the need for interventions and international collaboration to accelerate sustainable development globally.*

Resumo. *Este artigo analisa o progresso global em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas. Utilizando métodos estatísticos e modelagem preditiva, identificamos tendências, disparidades regionais e desafios específicos de alguns objetivos. Correlações entre ODS ressaltam a importância de estratégias integradas, enquanto trade-offs como os existentes entre crescimento econômico e ação climática destacam prioridades distintas. As previsões sugerem progresso para vários objetivos, mas alertam que atingi-los até 2030 exigirá esforços intensificados, melhor governança e coleta de dados aprimorada. Assim, este estudo fornece informações relevantes para os coordenadores de políticas públicas, enfatizando a necessidade de intervenções e colaboração internacional para acelerar o desenvolvimento sustentável globalmente.*

1. Introdução

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), lançados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, funcionam como uma agenda global para erradicar a pobreza, reduzir desigualdades e proteger o planeta até 2030. Com 17 objetivos interconectados, essa iniciativa visa promover um desenvolvimento socioeconômico inclusivo e ambientalmente sustentável. Contudo, a complexidade dos desafios globais e a interdependência entre os ODS exigem um esforço colaborativo, além de monitoramento rigoroso e formulação de políticas públicas baseadas em evidências científicas. Nesse sentido, o *Sustainable Development Report*, publicado anualmente, avalia o progresso dos países em relação aos ODS, oferecendo dados valiosos sobre desempenhos globais, regionais

e nacionais. Este relatório permite identificar tendências, medir desigualdades e apontar áreas que requerem ações urgentes.

Este estudo utiliza o conjunto de dados do relatório de 2024 para explorar três objetivos principais: (1) identificar tendências globais e regionais no desempenho dos ODS, (2) examinar fatores socioeconômicos e geográficos que influenciam o progresso e (3) prever tendências futuras, analisando a viabilidade da humanidade em atingir as metas de 2030. Com o uso de métodos estatísticos, visualizações e aprendizado de máquina, buscamos oferecer informações importantes sobre os desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável.

A estrutura do artigo, por sua vez, é a seguinte: a Seção 2 descreve as fontes de dados e as abordagens metodológicas. A Seção 3 apresenta uma análise exploratória das tendências globais e regionais dos ODS, incluindo análises temáticas específicas e disparidades regionais. A Seção 4 destaca as análises temporais e a modelagem preditiva. Finalmente, a Seção 5 resume as descobertas e propõe recomendações para pesquisas futuras.

2. Dados e Métodos

2.1. Descrição dos Dados e Ferramentas

O presente trabalho utiliza principalmente o conjunto de dados do *Sustainable Development Report 2024* [SDSN 2024b], que contém métricas e indicadores para monitorar o progresso global dos 17 ODS em 192 países membros da ONU. As informações incluem pontuações gerais de desempenho por país, detalhes sobre metas individuais e classificações baseadas em indicadores agregados. Os dados foram acessados por meio de uma API e processados para análise. Além disso, utilizamos os seguintes conjuntos de dados complementares:

1. Dados do PIB: extraídos do *World Bank GDP Rankings* [Bank 2024], fornecendo o Produto Interno Bruto (PIB) de 96 países.
2. Dados históricos dos ODS: o conjunto de dados *Backdated SDG Index Scores* [SDSN 2024a] foi usado para a análise de séries temporais em 83 países, permitindo o estudo de tendências históricas de 2000 a 2024 e de previsões para os próximos anos.

Para a análise, combinamos estatísticas descritivas, visualizações e modelagem preditiva, aplicando metodologias aprendidas na disciplina de Introdução à Ciência de Dados da Universidade Federal de Minas Gerais [Figueiredo and Olmo 2024], [Lau et al. 2023], [Çetinkaya Rundel and Hardin. 2024], [Adhikari et al. 2022]. A linguagem Python e suas bibliotecas, como Pandas (manipulação de dados), Seaborn e Matplotlib (visualizações) e Scikit-learn (modelagem preditiva) [PSF 2024], foram também fundamentais para nossas análises.

2.2. Pré-processamento

Durante o pré-processamento dos dados, a principal limitação foi a presença de valores nulos em alguns indicadores, especialmente em países pequenos ou com pouca representação. Os casos mais comuns foram:

- 26 países sem nenhuma pontuação nos ODS

- 38 países sem pontuação apenas no objetivo 14
- 11 países sem pontuação apenas nos objetivos 1 e 10
- 4 países sem pontuação apenas no objetivo 10
- 2 países sem pontuação apenas nos objetivos 10 e 14
- 2 países sem pontuação apenas no objetivo 1

Para obter resultados mais precisos e confiáveis, decidimos não incluir em nosso estudo os 26 países que não tinham informações sobre nenhum dos ODS. Preencher esses dados com informações de outros países não refletiria adequadamente a realidade de cada nação. Dessa forma, limitamos a análise aos países com maior disponibilidade de dados.

A base de dados de séries temporais também foi submetida a um processo de limpeza inicial e o único país excluído foi as Bahamas, por ausência total de dados. Para os demais registros com lacunas, as faltas foram preenchidas retroativamente por especialistas do *Sustainable Development Report*. No caso do PIB, não foram necessárias alterações, pois todos os países apresentavam dados completos. O conjunto de dados de PIB foi integrado com os dados principais, alinhando-os por nome de país e garantindo consistência nas colunas.

Finalmente, os *outliers* nas pontuações dos ODS foram identificados por métodos de intervalo interquartil e visualizados com boxplots. As colunas foram padronizadas e normalizadas quando necessário, facilitando comparações e garantindo a robustez dos modelos de análise.

3. Análise Exploratória de Dados

3.1. Medidas Fundamentais

Em primeiro lugar, a variabilidade no desempenho dos ODS foi analisada por meio do desvio padrão e da detecção de *outliers*, utilizando boxplots para visualizar a dispersão das pontuações de cada objetivo (Figura 1). Observou-se que objetivos como o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) apresentaram consistência globalmente, enquanto o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e o ODS 13 (Ação Climática) mostraram maior variação, com mais *outliers*. Isso sugere que países com maior variabilidade nos ODS podem ter prioridades de desenvolvimento desiguais ou dificuldades na coleta de dados.

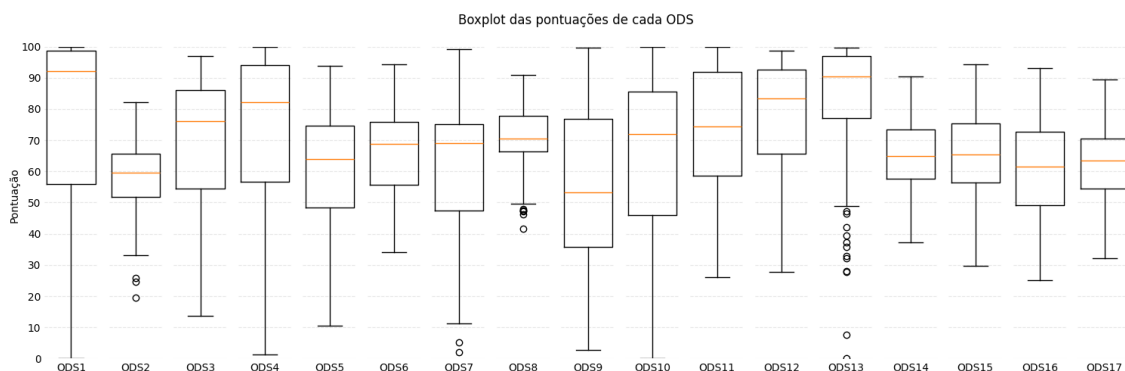


Figura 1. Distribuição das pontuações para cada ODS

Por outro lado, a correlação entre a pontuação geral dos países e os ODS foi significativa, especialmente para o ODS 3 (Saúde e Bem-estar) e ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), que apresentaram uma relação linear positiva com a pontuação geral. No entanto, essa relação não foi linear para todos os ODS, como no ODS 1 (Erradicação da Pobreza), e não houve associação entre a pontuação geral e os ODS 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre). Além disso, observou-se uma correlação negativa não linear entre a pontuação geral e os ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13, indicando que um bom desempenho geral não garante sucesso nesses objetivos.

3.2. Correlação entre os objetivos

Foram realizadas também análises de correlação entre os ODS que indicaram áreas de interdependência, onde o progresso em um objetivo pode impulsionar o desempenho em outros. Além disso, investigamos a relação entre o PIB de cada país e suas pontuações nos ODS (Figura 2).

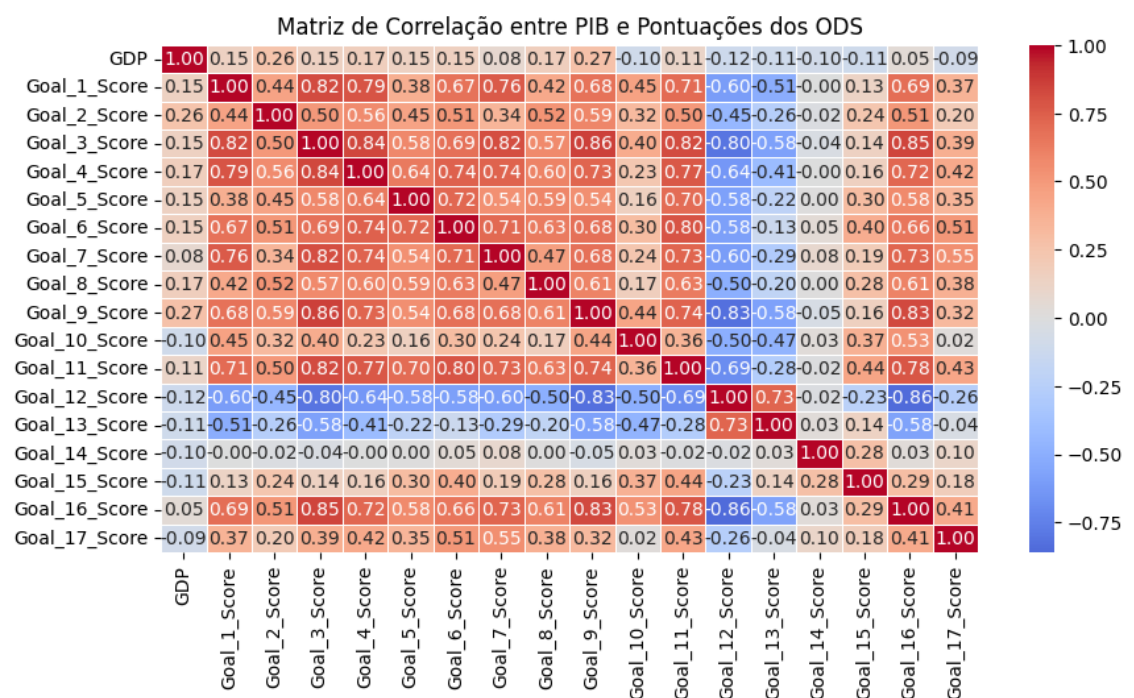


Figura 2. Correlação entre PIB e ODS

Ademais, a investigação explorou a interação entre os desempenhos dos ODS sociais, ambientais e econômicos, buscando identificar padrões significativos. Os resultados mostraram uma correlação positiva entre os ODS ambientais e sociais, enquanto houve uma correlação negativa entre os ODS econômicos (como crescimento e infraestrutura) e os ODS ambientais, evidenciando o impacto do crescimento econômico no uso de recursos naturais e na sustentabilidade ambiental (Figura 3).

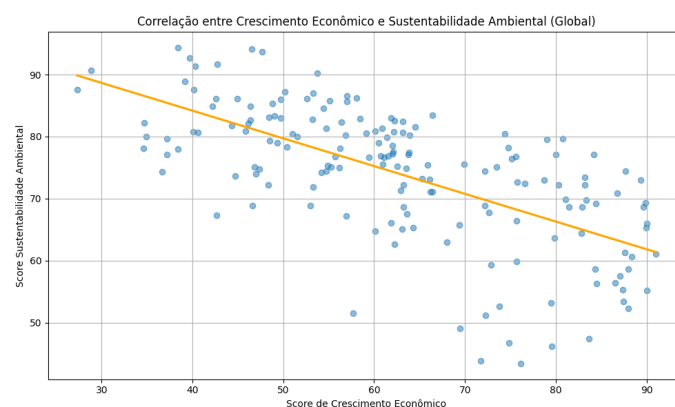


Figura 3. Correlação entre ODS econômicos e ambientais

3.3. Padrões Geográficos

A análise geográfica, por sua vez, buscou identificar padrões que pudessem evidenciar focos de progresso e prioridades. O que se revelou foi o seguinte: países do hemisfério norte, em geral, apresentaram melhor desempenho na redução das desigualdades, correlacionando-se com a latitude (Figura 4).

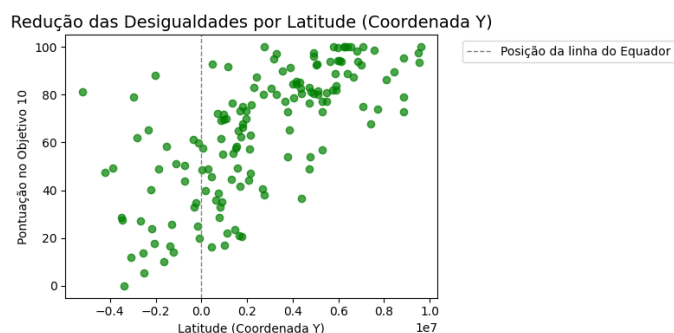


Figura 4. Correlação entre latitude e redução das desigualdades

Em seguida, foram gerados histogramas e mapas para todos os objetivos. No geral, a maior parte deles segue uma distribuição normal, como se estivesse dispersa randomicamente pelo mundo (Figura 5).

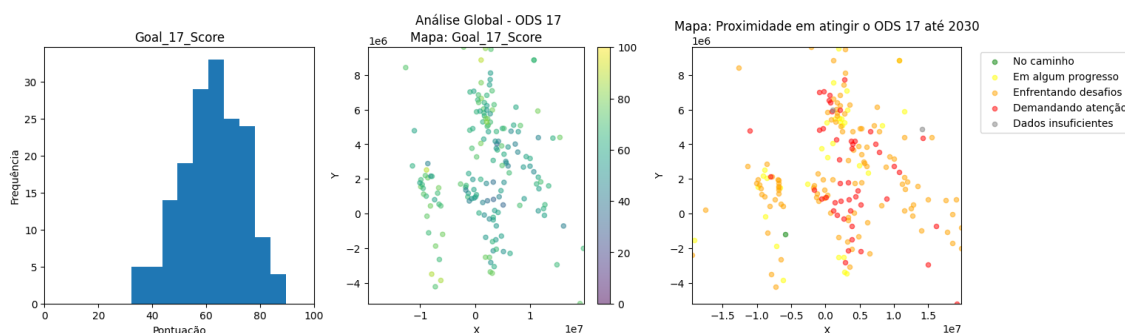


Figura 5. Exemplo de objetivo distribuído aleatoriamente

Com isso, foi observada uma assimetria na distribuição das pontuações, especialmente para o ODS 1 (Erradicação da Pobreza) e ODS 13 (Ação Climática), com a África destacando-se com pontuações baixas no primeiro e altas no segundo (Figura 6).

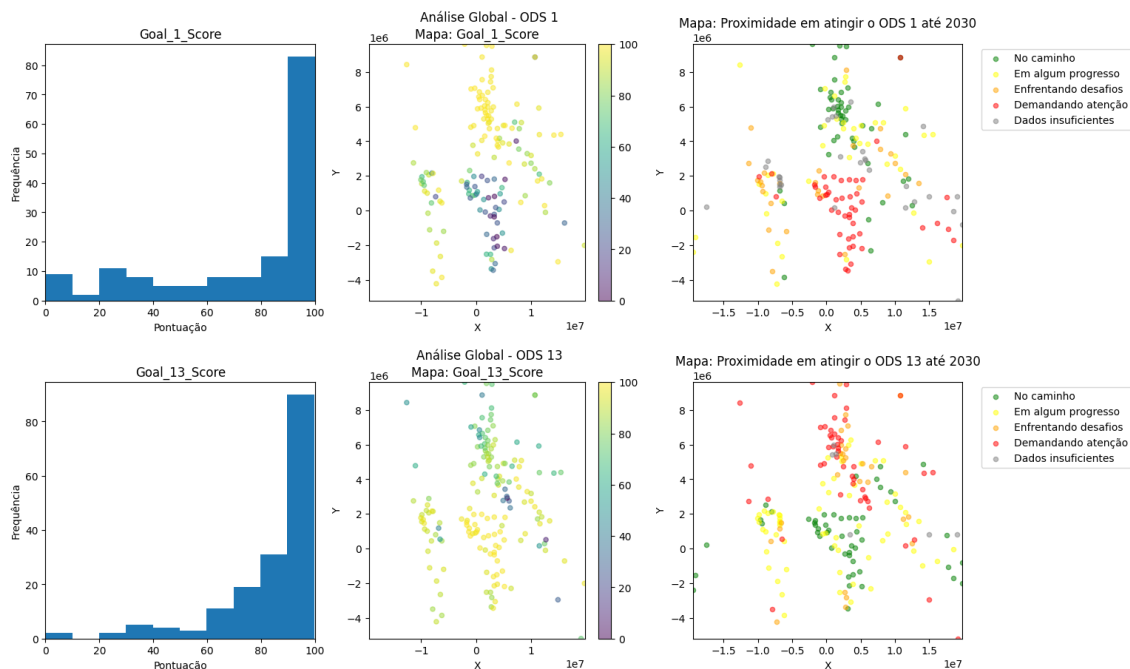


Figura 6. Assimetria nas pontuações Mundo-África: ODS 1 e ODS 13

Em relação ao Objetivo 1, observa-se que muitos países têm pontuações próximas a 100. Entre os 74 países com mais de 95 pontos no ODS 1, apenas 1 está localizado na África Subsaariana (1,35%), o que é inconsistente com a proporção de países dessa região na base de dados (cerca de 25%). Para investigar se essa baixa representação de países africanos é apenas uma coincidência, foi testada a seguinte hipótese:

- Hipótese Nula (H_0): a baixa representação de países africanos na lista dos que erradicaram a pobreza é fruto de uma coincidência aleatória. Assim, seria esperado que a probabilidade de se observar apenas um país africano entre os 74 mais bem classificados fosse alta.
- Hipótese Alternativa (H_1): a baixa presença de países africanos entre os mais bem classificados não é uma coincidência.

Para testar essa hipótese, os rótulos regionais dos países foram aleatoriamente embaralhados. Em seguida, calculou-se a proporção de países africanos entre os 74 mais bem classificados em cada uma das 10.000 simulações realizadas. A comparação entre o resultado observado e os valores obtidos nas simulações forneceu um p-valor extremamente significativo, inferior a $1/10^4$, indicando que a baixa presença de países africanos não é um simples acaso (Figura 7).

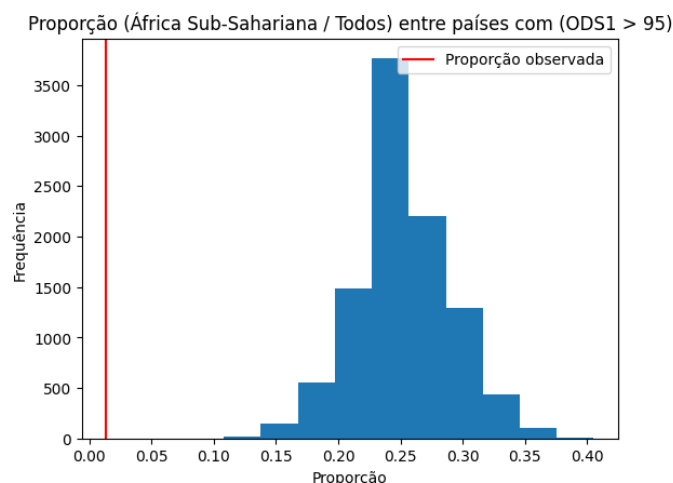


Figura 7. Teste de hipótese para a baixa presença africana entre os países que erradicaram a pobreza

Para investigar se a falta de pontuação em alguns países afetou os resultados do Objetivo 1, foi realizado um segundo experimento. Nesse teste, simulamos um cenário extremo no qual todos os países africanos sem pontuação receberam a pontuação máxima (100), enquanto os demais países sem pontuação receberam a pontuação mínima. Em seguida, embaralharam-se os rótulos regionais e verificou-se a proporção de países africanos com pontuação superior a 95. O p-valor obtido foi ligeiramente maior, mas ainda inferior a $1/10^4$, confirmando, com alta confiança, que a baixa presença de países africanos entre os mais ricos não é uma coincidência.

No que diz respeito à ação climática, observou-se que os seis países com as menores pontuações (Qatar, Emirados Árabes Unidos, Bahrein, Kuwait, Omã e Arábia Saudita) estão todos localizados em uma pequena região do Oriente Médio. Nenhum desses países obteve pontuação superior a 40, sendo o Qatar o único com pontuação mínima (Figura 8).

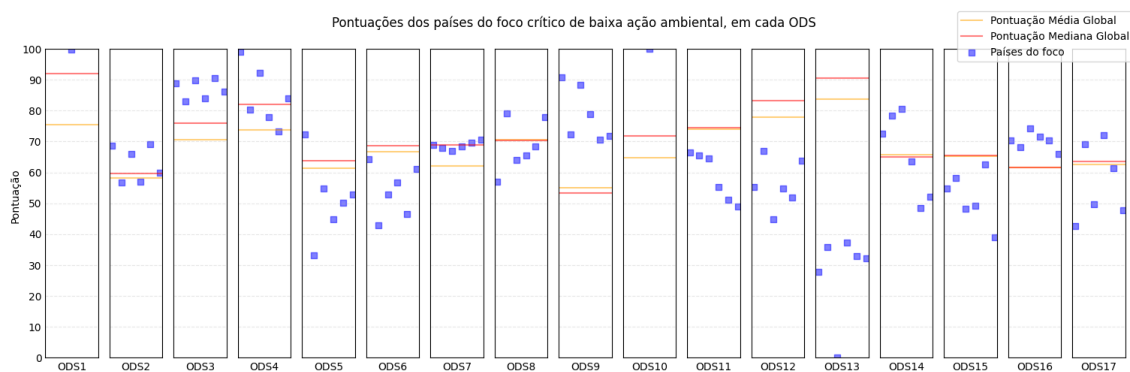


Figura 8. Comparação das pontuações dos países com baixo desempenho em ação climática

Ao comparar o desempenho desses países com o restante do mundo, observou-se que todos estão abaixo da média nos ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), 11 (Cidades

Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsável). Surpreendentemente, esses países superaram a média global nos ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e 16. Além disso, cinco dos seis países apresentam desempenho significativamente abaixo da média no ODS 5 (Igualdade de Gênero), e metade apresenta uma pontuação relativamente baixa no ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação).

3.4. Correlações categóricas

Ademais, nosso estudo também analisou a inter-relação entre indicadores-chave e o desempenho dos ODS. Através de gráficos de correlação, investigamos como a alfabetização, o investimento em inovação e a sensação de segurança influenciam o alcance dos 17 ODS. Os resultados indicam uma forte correlação entre a alfabetização e o alcance dos ODS relacionados a educação e energia. Países com altas taxas de alfabetização tendem a apresentar melhor desempenho em áreas como educação de qualidade e acesso à energia limpa.

O investimento em inovação, por sua vez, mostrou-se um fator crucial para o desenvolvimento social e econômico sustentável, com forte correlação com ODS como indústria, inovação e infraestrutura, erradicação da pobreza e educação de qualidade. A sensação de segurança também emergiu como um indicador importante para o progresso social, apresentando forte correlação com ODS relacionados a educação, erradicação da fome, paz, justiça, saúde e cidades sustentáveis.

4. Análise Temporal e Previsões

4.1. Modelagem Preditiva

Com o intuito de possibilitar previsões confiáveis sobre o futuro desempenho dos países nos ODS, foi necessário identificar tendências nas pontuações ao longo do tempo. O conjunto de dados de 2024 foi combinado com as séries temporais de 2000 a 2023, abrangendo 83 países com dados completos dos últimos 25 anos. A partir desse conjunto, foi realizado um teste para verificar quais desempenhos nos últimos 5 anos poderiam ser explicados pela tendência linear dos 20 anos anteriores. Em outras palavras, 20% dos dados mais recentes foram usados como teste para uma regressão linear baseada nos anos anteriores. A qualidade da regressão foi medida pelo Erro Quadrático Médio (MSE), comparando as pontuações previstas e reais nos períodos de treino e teste (Figura 9 e Figura 10).

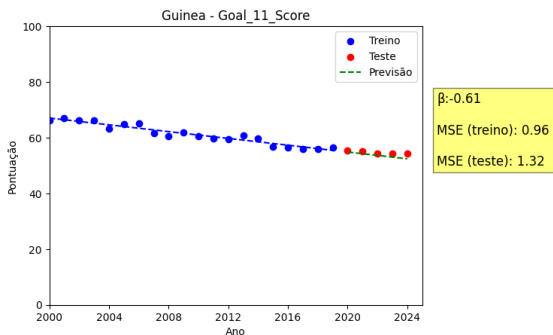


Figura 9. Predição bem sucedida

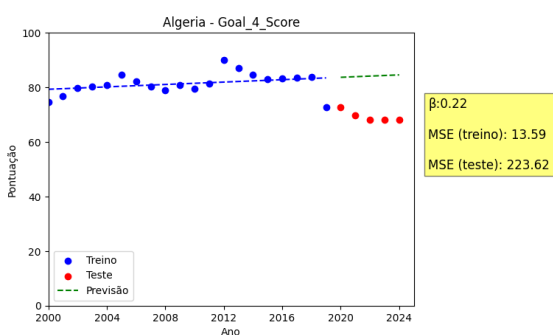


Figura 10. Predição falha

É razoável afirmar que as tendências lineares que foram validadas ao longo do tempo podem ser usadas para fazer previsões sobre o futuro. Ou seja, as tendências de interesse são aquelas com valores pequenos da MSE tanto para os anos de treino quanto para os anos de teste. Com essa abordagem, as previsões deste estudo se limitaram ODS extremamente bem comportados, com MSEs de treino e de teste menores que 0.5. A maioria dessas tendências possui um coeficiente beta da regressão muito próximo de zero, indicando estabilidade ao longo dos anos analisados, enquanto alguns casos seguiram padrões constantes de aumento ou decréscimo. Para estes últimos, novas regressões foram realizadas com todos os anos, a fim de prever como estarão em 2030 (Figura 11).

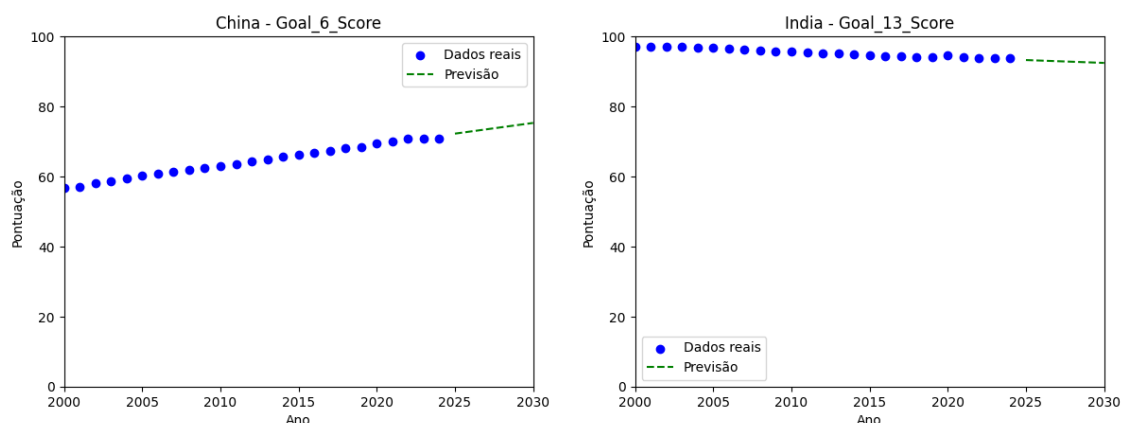


Figura 11. Previsão de como alguns ODS bem comportados estarão em 2030

4.2. Viabilidade em Alcançar as Metas para 2030

É evidente que o mundo não vai alcançar o desenvolvimento sustentável pleno até 2030, uma vez que existem tendências de queda nas pontuações para determinados objetivos, em várias partes do planeta. Contudo, observou-se que, no geral, entre as tendências confiáveis nas pontuações, as taxas de aumento são mais frequentes e possuem valores maiores do que as de decréscimo, em módulo. Isso significa que, apesar de muitos países estarem retrocedendo nos objetivos, uma quantidade maior está avançando, e com mais intensidade. Com isso é seguro dizer que há uma tendência global de progresso em relação aos ODS, mesmo que não sejam plenamente atingidos nessa década.

5. Conclusão

O presente estudo proporcionou uma análise abrangente do progresso global e regional em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando tanto desafios quanto oportunidades. Observou-se que desigualdades persistem, especialmente na África Subsaariana e em partes do Oriente Médio e Norte da África, que ficam atrás em áreas-chave como Erradicação da Pobreza (ODS 1), Igualdade de Gênero (ODS 5) e Água Limpa e Saneamento (ODS 6). Por outro lado, os países conhecidos como o Norte Global — incluindo a América do Norte, a Europa, a Austrália e a Nova Zelândia — consistentemente superam as médias globais, mas enfrentam, junto com a América Latina e o Sudeste Asiático, dificuldade em conciliar crescimento econômico (Objetivo 9) e sustentabilidade ambiental (Objetivo 13). Além disso, ODS como Trabalho Decente

e Crescimento Econômico (ODS 8) e Redução das Desigualdades (ODS 10) mostram progressos mais lentos e irregulares, refletindo desafios socioeconômicos complexos que demandam respostas específicas. A escassez de dados, especialmente em países pequenos e regiões marginalizadas, também limita a avaliação precisa do progresso.

Observou-se que ODS relacionados à infraestrutura e sustentabilidade, como Água Limpa e Saneamento (objetivo 6) e Energia Acessível e Limpa (ODS 7), apresentam fortes correlações positivas, sugerindo que abordagens integradas podem gerar benefícios em várias áreas. Da mesma forma, países com instituições fortes, refletidas no ODS Paz, Justiça e Instituições Eficazes (objetivo 16), tendem a ter um desempenho superior nos demais ODS, evidenciando a importância da boa governança e da confiança social no desenvolvimento sustentável. As tendências globais indicam que, apesar dos desafios, existe um progresso global contínuo, ainda que demorado, em direção aos ODS.

Nesse contexto, as conclusões deste trabalho enfatizam a necessidade urgente de abordar desigualdades e de priorizar os ODS com baixo desempenho. Além disso, é fundamental adotar abordagens integradas que considerem as correlações entre os ODS. A melhoria da coleta e análise de dados em regiões de baixa renda e marginalizadas também é essencial para uma avaliação mais precisa e fundamentada. Pesquisas futuras podem explorar modelos mais sofisticados, incorporar dados qualitativos ou investigar como fatores externos — como pandemias ou conflitos geopolíticos — afetam o avanço dos ODS. Em suma, a busca pelos ODS exige uma abordagem internacional e inclusiva, equilibrando as necessidades regionais com a cooperação global. Ao combater disparidades e fomentar inovação em políticas e pesquisas, a humanidade pode acelerar o progresso rumo a um futuro mais igualitário e sustentável para todos.

Referências

- [Adhikari et al. 2022] Adhikari, A., DeNero, J., and Wagner, D. (2022). *Computational and Inferential Thinking: The Foundations of Data Science*.
- [Bank 2024] Bank, W. (2024). *GDP Ranking*.
- [Figueiredo and Olmo 2024] Figueiredo, F. and Olmo, P. (2024). *Introdução à Ciência de Dados (DCC-UFMG)*.
- [Lau et al. 2023] Lau, S., Gonzalez, J., and Nolan, D. (2023). *Learning Data Science*. O'Reilly Media, 1st edition.
- [PSF 2024] PSF, P. S. F. (2024). *Bibliotecas Python usadas nas análises: pandas, numpy, matplotlib.pyplot, seaborn, requests, io, scipy.stats, sklearn.linear_model, sklearn.metrics*.
- [SDSN 2024a] SDSN, S. D. S. N. (2024a). *SDR 2024 TIMESERIES (Backdated SDG Index Scores)*.
- [SDSN 2024b] SDSN, S. D. S. N. (2024b). *Sustainable Development Report 2024 (with indicators)*.
- [Çetinkaya Rundel and Hardin. 2024] Çetinkaya Rundel, M. and Hardin, J. (2024). *Introduction to Modern Statistics*. OpenIntro.