

ANÁLISE DO IMPACTO DA DIGITALIZAÇÃO NO CRESCIMENTO ECONÔMICO EM PAÍSES DESENVOLVIDOS E SUBDESENVOLVIDOS DOS ANOS 2000 A 2020

DÉBORA ROCHA DA SILVA¹
CHRISTIANO ALVES FARIAS²
LUIZ CARLOS DAY GAMA³

RESUMO

Nas últimas décadas, a digitalização tornou-se um dos principais motores da modernização econômica e social. Este trabalho analisa empiricamente o impacto das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) sobre o crescimento econômico de 130 países, entre 2000 e 2020, com foco na heterogeneidade entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. As variáveis de interesse incluem número de usuários de internet, assinaturas de banda larga, telefonia móvel e fixa. O PIB per capita é utilizado como proxy de produtividade, sendo controlado por variáveis macroeconômicas como inflação, investimentos, força de trabalho, abertura comercial e gastos públicos. Utiliza-se um modelo de dados em painel com limiares endógenos, conforme a metodologia de Hansen (1999), permitindo captar mudanças nos efeitos das TICs de acordo com o nível de renda. Os resultados indicam que a internet tem efeito positivo nas faixas de renda média-baixa a alta, mas negativo em países de baixa renda, sinalizando a importância da infraestrutura e do capital humano. A banda larga impacta positivamente apenas nas economias mais desenvolvidas, enquanto a telefonia móvel mostra efeito positivo em todos os grupos. A telefonia fixa apresenta relevância apenas em países menos desenvolvidos, indicando obsolescência nos demais. Conclui-se que os efeitos das TICs sobre o crescimento não são homogêneos e dependem da capacidade de absorção tecnológica. Assim, políticas públicas voltadas à inclusão digital, qualificação da mão de obra e expansão da infraestrutura tecnológica são fundamentais para traduzir a digitalização em ganhos sustentáveis de produtividade.

Palavras-chave: Digitalização; Crescimento Econômico; TICs.

ABSTRACT

In recent decades, digitalization has emerged as a key driver of economic and social modernization. This study empirically analyzes the impact of Information and Communication Technologies (ICTs) on the economic growth of 130 countries from 2000 to 2020, with a focus on the heterogeneity between developed and developing economies. The analysis considers internet users, broadband subscriptions, and mobile and fixed-line telephony as core ICT variables. GDP per capita is used as a proxy for productivity, with controls for macroeconomic factors such as inflation, investment, labor force, trade openness, and government spending. A panel threshold model, based on Hansen's (1999) methodology, is applied to capture changes in ICT effects according to income levels. The results show that internet use has a positive impact in middle- and upper-income countries but a negative one in low-income economies, highlighting the importance of infrastructure and human capital. Broadband shows a significant positive effect only in more advanced economies, while mobile telephony is consistently positive across all income groups. Fixed-line telephony remains relevant only in less developed countries, suggesting technological obsolescence in higher-income settings. The findings confirm that the economic impact of ICTs is not uniform, depending largely on each country's capacity to absorb and utilize digital technologies. Public policies aimed at promoting digital inclusion, strengthening human capital, and expanding technological infrastructure are essential for transforming digital advances into sustainable productivity and development gains.

Keywords: Digitalization; Economic Growth; ICTs.

¹Bacharel em Ciências Econômicas pelo IBMEC-BH.

²Doutor em Economia pela UFV. Professor do curso de Ciências Econômicas do IBMEC-BH.

³Doutor em Economia pela UFMG. Professor do curso de Ciências Econômicas do IBMEC-BH.

1 INTRODUÇÃO

Os países buscam constantemente o desenvolvimento econômico, visto que ele está diretamente relacionado à melhoria das condições de vida da população, redução da pobreza e promoção de bem-estar social. No entanto, as taxas de desenvolvimento variam consideravelmente entre as nações, sendo possível observar diferenças significativas entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos. De acordo com o Banco Mundial (2018), o PIB *per capita* é um indicador fundamental para avaliar o desenvolvimento econômico. Países desenvolvidos, como os Estados Unidos e a Alemanha, possuem PIBs *per capita* superiores a US\$ 50.000. Por outro lado, países subdesenvolvidos, como o Haiti e o Níger, apresentam PIBs *per capita* abaixo de US\$ 1.500.

Os países desenvolvidos costumam dispor de uma infraestrutura sólida, elevados níveis de investimento em capital humano e inovação, além de economias diversificadas e estáveis. Em contraste, os países em desenvolvimento enfrentam desafios estruturais mais acentuados, como restrições orçamentárias, deficiências na infraestrutura básica, baixa qualificação da força de trabalho e instabilidade institucional. Esses fatores limitam a capacidade dessas economias de acelerar seu processo de desenvolvimento e de aproveitar plenamente os benefícios associados à modernização produtiva e tecnológica. (ACEMOGLU, 2012)

Solow (1956) procurou entender as causas que levam os países a apresentarem diferentes taxas de crescimento econômico. Em seu modelo, Solow evidenciou a relevância do progresso tecnológico para o crescimento sustentável a longo prazo, tendo a tecnologia um papel essencial na ampliação da produtividade dos fatores de produção, permitindo que as economias aumentem a oferta de bens e serviços sem a necessidade de expandir seus recursos. Portanto, no modelo de crescimento de longo prazo de Solow (1956), a tecnologia é tratada como um fator que impulsiona o aumento da produtividade total dos fatores (PTF), sendo responsável pelo crescimento econômico sustentável, além da simples acumulação de capital e trabalho. Diante disso, nesse estudo, será explorado se esse conceito de tecnologia, dado por Solow em seu modelo, pode ser relacionado com processo de digitalização que nações tem passado nos últimos anos, mensurada pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). As TICs englobam um conjunto de inovações tecnológicas voltadas para o processamento, armazenamento e transmissão de informações, incluindo computadores, internet, *softwares* e redes de telecomunicações.

A real capacidade das TICs de impulsionar o crescimento sustentado da produtividade ainda é uma questão passível de discussão, principalmente em economias menos desenvolvidas, onde desafios estruturais como baixa qualificação da mão de obra, restrições institucionais e dificuldades de acesso à infraestrutura digital podem limitar seus impactos. Gomes, Lopes e Ferreira (2022), em seu estudo sobre o impacto da economia digital no crescimento econômico, entenderam que o efeito da tecnologia está diretamente relacionado ao grau de desenvolvimento de um país, sugerindo que economias menos desenvolvidas podem enfrentar dificuldades adicionais na implementação eficaz das TICs.

Portanto, dada a crescente relevância dessa discussão no meio acadêmico e o claro avanço do setor das TICs e o seu impacto nas economias mundiais, surge uma questão fundamental: de que forma a digitalização influencia o crescimento econômico nos países? Outras questões relevantes são: Será que a digitalização exerce, de fato, uma influência significativa sobre o crescimento econômico de longo prazo nos países em desenvolvimento, ou seus efeitos se concentram apenas nas economias mais avançadas? Se sim, qual é o grau e o desse impacto? Será que o nível inicial da renda dos países altera o impacto das TICs sobre a produtividade da nação? Se sim, como essa mudança ocorre? Este trabalho buscou investigar essas questões.

Vale destacar, conforme argumentado por Hall e Jones (1999), que as diferenças de produto por trabalhador entre os países refletem, em grande medida, variações na produtividade agregada. Essa constatação justifica o uso do PIB *per capita* como uma *proxy* válida para mensurar a produtividade em análises comparativas internacionais.

Para a análise empírica, foi utilizado um modelo econométrico de dados em painel, adequado para explorar variações tanto entre países quanto ao longo do tempo, sendo aplicada a metodologia proposta por Hansen (1999), que permite identificar possíveis mudanças na intensidade na relação entre as variáveis explicativas e a variável dependente, a partir de pontos de corte endogenamente estimados.

O efeito da digitalização sobre o crescimento econômico foi mensurado por meio de quatro variáveis de interesse: número de assinaturas de telefonia fixa, número de assinaturas de celular móvel, número de assinaturas de banda larga e proporção de indivíduos que utilizam a internet, todas expressas como percentagem da população. Também foram incluídas variáveis macroeconômicas de controle, de forma a isolar o efeito das TICs sobre o PIB *per capita*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Explicar as causas e as consequências da infraestrutura das TICs em geral, e o uso de banda larga e internet em particular, tem sido um foco central da literatura empírica recente. Vários são os autores que destacaram a importância da economia digital medida pelas TICs no crescimento econômico dos países e numerosos são os estudos que confirmam uma relação positiva entre a infraestrutura de banda larga e o crescimento econômico. No entanto, estudos empíricos recentes mostraram que alguns países podem ter uma relação negativa entre as TICs e o crescimento econômico, indicando que seu impacto depende do nível inicial de renda dos países analisados. Os principais trabalhos que sustentam essas discussões serão apresentados ao longo desta seção.

De início, é importante lembrar que as teorias clássicas dos fatores de produção e a teoria neoclássica do crescimento já mostraram um impacto positivo das TICs no desenvolvimento econômico de um país, destacando que essas tecnologias se traduzem em insumos no lado da oferta econômica e impulsionam o processo de produção, a qualidade da força de trabalho e, conseqüentemente, o crescimento econômico, independentemente do nível inicial de produtividade. (SOLOW, 1956)

Além disso, Papaioannou e Dimelis (2007), ao analisarem um painel de dados composto por 42 países desenvolvidos e em desenvolvimento, no período de 1993 a 2001, constataram um efeito positivo e significativo da utilização das TICs sobre o crescimento da produtividade em ambas as amostras, ainda que o impacto tenha sido mais acentuado nos países desenvolvidos. A mensuração da digitalização no estudo foi realizada a partir do estoque de capital em *hardware*, *software* e equipamentos de comunicação, utilizados como *proxies* para as TICs. Os resultados obtidos indicam que fatores como a liberalização do comércio, a melhoria do capital humano e a adoção de políticas públicas favoráveis potencializam ainda mais o impacto positivo das TICs sobre o crescimento econômico.

Ainda nessa direção, o Banco Mundial (2018) enfatiza que os benefícios econômicos advindos do uso das TICs não se limitam apenas aos indivíduos, mas também se estendem às empresas e aos governos, melhorando processos produtivos e otimizando a qualidade de vida da população, independentemente do nível inicial de desenvolvimento dos países. Entre os principais avanços proporcionados pelo uso dessas tecnologias estão a evolução dos negócios, a ampliação do comércio eletrônico, o fortalecimento das comunicações em áreas remotas e o aumento da acessibilidade a serviços e aplicativos baseados na internet.

Mais recentemente, David e Grobler (2020) examinaram a relação entre o desempenho das TICs e o crescimento econômico nos países africanos. Para isso, utilizaram uma amostra

composta por 46 países da África, no período de 2000 a 2016, adotando uma abordagem de painel-VAR. A mensuração da digitalização foi realizada por meio da criação de um índice composto, construído a partir da análise de componentes principais (ACP), que agregou três variáveis de penetração: assinaturas de telefonia móvel, assinaturas de telefonia fixa e acesso à internet. Os resultados obtidos indicaram que a penetração das TICs exerce um impacto positivo sobre o crescimento econômico e o desenvolvimento no continente africano, com destaque para o crescimento mais acelerado das telecomunicações móveis em comparação aos demais indicadores. Com base nesses achados, os autores recomendam que sejam realizados investimentos simultâneos tanto na expansão da telefonia fixa quanto no acesso à internet, a fim de maximizar os benefícios econômicos da disseminação das TICs na região.

Por fim, vale ressaltar que há um consenso entre organizações internacionais, como as Nações Unidas e a Comissão Europeia, de que, nos países onde as TICs são usadas em diferentes setores, como indústria, comércio, saúde, educação e transporte, tanto no setor público quanto no privado, a oferta de bens e serviços promove uma melhor qualidade de vida para a população e o desenvolvimento econômico. Assim, as TICs e, particularmente a internet, estão fornecendo uma nova estrutura e enormes oportunidades para o desenvolvimento econômico, político e social dos países. (UNITED NATIONS, 2024)

No entanto, outro grupo de estudos empíricos indica que a relação entre as TICs e o crescimento econômico é negativa, sendo que, essa relação é especialmente vista em países em desenvolvimento. Assim, tem-se autores que argumentam que investimentos mais significativos em TICs geram benefícios econômicos maiores nos países desenvolvidos em detrimento dos países em desenvolvimento.

Freeman e Soete (1997) concluem que as consequências negativas da implementação das TICs ficam especialmente explícitas no mercado de trabalho dos países não desenvolvidos, refletidas no aumento do desemprego de trabalhadores não qualificados. Em uma implementação mais eficaz das TICs, tais trabalhadores permanecem sem funções, reforçando ainda o papel competitivo dos mercados de países desenvolvidos, onde os países em desenvolvimento não têm vantagens competitivas.

Outros autores, em trabalhos empíricos, encontraram relações negativas ou estatisticamente irrelevantes entre as TICs e o crescimento econômico nos países em desenvolvimento, como Dewan e Kraemer (2000), que investigaram a relação entre os investimentos em TICs e o crescimento econômico, com base em uma amostra composta por 36 países, abrangendo o período de 1985 a 1993. A análise empírica foi conduzida a partir de um modelo de regressão baseado em dados agregados por país. A digitalização foi mensurada por meio do estoque de capital em tecnologia da informação, capturando investimentos em *hardware*, *software* e serviços de tecnologia. Os resultados indicaram que, para os países desenvolvidos, os retornos dos investimentos em TICs foram positivos e estatisticamente significativos. No entanto, para os países em desenvolvimento, esses retornos não se mostraram estatisticamente relevantes.

Em outro estudo, Lee, Levendis e Gutierrez (2012) analisaram o efeito das telecomunicações, em especial dos telefones celulares móveis, sobre o crescimento econômico nos países da África Subsaariana. Para isso, utilizaram uma amostra composta por todos os países da região, abrangendo o período de 1980 a 2003, aplicando o estimador do Método Generalizado dos Momentos (GMM) em painel dinâmico. A digitalização foi medida principalmente pela densidade de telefones celulares móveis, utilizada como *proxy* para o avanço das TICs. Os resultados apontaram que, nos países da África Subsaariana classificados como desenvolvidos, a penetração das TICs contribuiu positivamente para o crescimento econômico, enquanto, nos países em desenvolvimento da mesma região, a relação encontrada foi negativa. Com base nesses resultados, os autores recomendam que os países em desenvolvimento invistam em infraestrutura complementar e em capital humano qualificado,

de modo a potencializar os benefícios das telecomunicações móveis sobre o crescimento econômico.

Por fim, Gomes, Lopes e Ferreira (2022) analisaram o impacto da economia digital no crescimento econômico dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Para isso, utilizaram uma amostra de 36 países da OCDE, no período de 2000 a 2019, empregando um modelo de painel dinâmico estimado também pelo método GMM. A mensuração da digitalização foi feita por meio de um índice tecnológico construído a partir das variáveis de penetração da internet, assinaturas de telefonia móvel e assinaturas de banda larga fixa. Os resultados indicaram que o impacto das TICs sobre o crescimento econômico varia conforme o nível de desenvolvimento dos países, sendo que o uso da internet mostrou efeito positivo generalizado, enquanto a telefonia móvel teve impacto positivo apenas nos países mais desenvolvidos e a banda larga fixa apresentou efeito positivo apenas nos países em transição.

Um ponto em comum em todos os autores é que as TICs influenciam o desenvolvimento das economias dos países e podem ser usadas como instrumentos pelos formuladores políticos. Assim, os agentes dos países em desenvolvimento, em especial, devem implementar políticas que fortaleçam as infraestruturas físicas e tecnológicas das TICs, o empoderamento digital do capital humano e a maior equidade social no acesso às TICs. Em outras palavras, as instituições de cada país desempenham um papel fundamental na definição das decisões dos *policymakers*, influenciando diretamente a magnitude do impacto dessas tecnologias no desenvolvimento econômico.

3 BASE DE DADOS E METODOLOGIA

Esta seção está organizada em duas partes. A primeira apresenta a descrição da base de dados, detalhando os critérios de seleção da amostra, o período analisado, as fontes utilizadas e as definições das variáveis consideradas neste estudo. A segunda parte trata da estratégia metodológica adotada, abrangendo a estimação dos limiares de renda, o cálculo das estatísticas descritivas, a construção de gráficos de dispersão e a modelagem econométrica em painel. Nessa etapa, destaca-se a escolha do modelo de efeitos fixos e a utilização do método de Hansen (1999) para a identificação de efeitos de limiar associados ao nível de renda dos países.

3.1 BASE DE DADOS

Para a realização deste estudo, utilizou-se uma base de dados global compilada a partir das informações disponibilizadas pelo Banco Mundial (*World Bank*), contemplando 130 países no período de 2000 a 2020. A amostra abrange um total de 2.715 observações ao longo dos 21 anos analisados, após a exclusão de 15 registros considerados outliers. Essa base garante uma cobertura ampla e representativa, adequada para a análise dos efeitos da digitalização sobre o crescimento econômico em diferentes contextos de desenvolvimento.

Com base em estudos anteriores que investigaram a relação entre as TICs e o crescimento econômico, este trabalho adota como variável dependente o crescimento econômico, representado pela *proxy* do Produto Interno Bruto *per capita* (VIEIRA; CERETTA, 2024; PRADHAN; MALLIK; BAGCHI, 2018). As variáveis de interesse, que indicam o nível de digitalização dos países, são o número de assinaturas de telefone fixo, o número de assinaturas de celular móvel, o número de assinaturas de banda larga e a proporção da população que utiliza a internet.

Foram também incluídas variáveis macroeconômicas de controle, como o investimento total medido pela formação bruta de capital fixo, o grau de abertura comercial, a força de trabalho, a taxa de inflação e os gastos do governo com bens e serviços. Essas variáveis têm a

finalidade de controlar possíveis influências relevantes sobre o crescimento econômico, garantindo maior robustez à análise dos efeitos das TICs.

Como já foi abordado, a variável dependente deste estudo será o PIB real *per capita*, que é definido como o Produto Interno Bruto real total dividido pela população do país, representando uma medida do nível médio de renda por habitante, usado como uma *proxy* para produtividade. (HALL; JONES, 1999)

Entre as variáveis de interesse relacionadas à digitalização, o *Uso da Internet* corresponde à proporção da população que utiliza a internet, sendo expressa como percentual do total de habitantes. Já a variável *Assinaturas de Banda Larga* representa o número de contratos de acesso à internet de alta velocidade, por 100 habitantes. Essa medida contempla tanto conexões de banda larga fixa quanto móvel, refletindo a penetração geral desses serviços na população. A variável *Assinaturas de Telefonia Móvel* corresponde ao número de assinaturas móveis de celular, também por 100 habitantes, incluindo tanto linhas pré-pagas ativas quanto pós-pagas, e abrange serviços que possibilitam comunicação por voz. Por fim, a variável *Assinaturas de Telefonia Fixa* refere-se ao número de linhas fixas ativas, também padronizado por 100 habitantes, indicando o grau de acesso da população a esse tipo de serviço de telecomunicação tradicional. (WORLD BANK)

Sobre as variáveis macroeconômicas utilizadas como controle no modelo, temos, inicialmente, a denominada por *Gastos do Governo*, que corresponde ao consumo do governo em bens e serviços, como porcentagem do PIB. Conforme destacam Blanchard (2011) e Mankiw (2015), os gastos públicos são um componente direto da demanda agregada e exercem efeito estimulador sobre a atividade econômica no curto prazo. Assim, parte-se da premissa de que um aumento nessa variável eleva o PIB *per capita*. Ao alocar recursos em obras, aquisições e programas sociais, o governo aumenta a renda disponível, impulsiona o consumo privado e incentiva a produção, inflando a renda agregada do país.

Já a variável *Inflação* foi medida por meio do Índice de Preços ao Consumidor (*Consumer Price Index – CPI*), indicador que acompanha a variação média dos preços de uma cesta representativa de bens e serviços consumidos pelas famílias em um determinado período. Esse índice reflete o custo de vida da população, sendo amplamente utilizado para monitorar o poder de compra da moeda e a estabilidade dos preços em uma economia. A relação entre o nível geral de preços e desempenho econômico é dúbia, visto que será utilizado o PIB *per capita* real como variável dependente do modelo, ou seja, PIB *per capita* nominal ajustado pela inflação. Nesse contexto, uma inflação elevada aumenta, simultaneamente, o numerador e o denominador, tornando o efeito líquido incerto. Assim, o impacto final da inflação sobre o crescimento dependerá da intensidade relativa dessas variações no período analisado. (MANKIW, 2015)

A variável *Força de Trabalho* representa a taxa total de participação da força de trabalho. Essa variável foi construída somando a mão de obra doméstica com a mão de obra estrangeira, refletindo a força de trabalho agregada de cada país, dividindo pela população total. De acordo com o modelo de crescimento de Solow (1956), a força de trabalho é um dos principais fatores de produção, ao lado do capital e da tecnologia. Assim, espera-se que essa variável tenha um impacto positivo sobre o PIB, dado que um maior contingente de trabalho tende a aumentar a capacidade produtiva dos países.

A variável *Abertura Comercial* refere-se ao volume comercial de um país com o exterior, sendo utilizada como *proxy* para o grau de abertura econômica. Essa variável é calculada pela soma das importações e exportações, dividida pelo PIB total. Seguindo os pressupostos adotados por Blanchard (2011), no cálculo da demanda agregada, as exportações são adicionadas como um estímulo à produção interna, enquanto as importações são subtraídas, uma vez que satisfazem a demanda interna por meio da produção estrangeira, podendo gerar efeitos líquidos positivos ou negativos sobre o nível de produto.

A variável *Investimentos* foi medida pela formação bruta de capital fixo, expressa como porcentagem do PIB. Segundo Solow (1956), embora o crescimento sustentado de longo prazo dependa do progresso tecnológico, níveis mais elevados de investimento em capital fixo impulsionam o crescimento da produção e da renda nas fases iniciais do desenvolvimento econômico. Assim, espera-se que a formação bruta de capital fixo tenha um impacto positivo tanto no nível de produto quanto na capacidade produtiva futura das economias.

O Quadro 1 sintetiza as variáveis empregadas na estimativa do modelo, indicando suas respectivas siglas, definições conceituais e procedimentos de construção.

Quadro 1 — Descrição das variáveis

Variável	Sigla	Definição	Construção
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	GPDpc	Valor real total da produção de bens e serviços por habitante.	Logaritmo natural do PIB nominal, dividido pelo nível geral de preços, dividido pela população do país, medido em dólares correntes.
Gastos do Governo	consum	Gasto do governo em bens e serviços como componente da demanda agregada.	Despesa governamental expressa como porcentagem do PIB.
Inflação	LCPI	Variação percentual média dos preços ao consumidor em determinado período.	Logaritmo natural do Índice de Preços ao Consumidor (IPC), expresso em porcentagem.
Força de Trabalho	Labor	Representa a proporção da população economicamente ativa em relação à população total.	Soma da força de trabalho doméstica e estrangeira, expressa como taxa de participação total no mercado de trabalho.
Abertura Comercial	TO	Grau de integração de um país com o comércio internacional.	Soma das exportações e importações, expressa como porcentagem do PIB.
Investimentos	GFCF	Medida dos recursos destinados à ampliação da capacidade produtiva.	Formação bruta de capital fixo, expressa como porcentagem do PIB.
Uso da Internet	IU	Proporção da população que utiliza a internet.	Número de usuários de internet como percentual da população total.
Assinaturas de Banda Larga	BBS	Indicador do número de assinaturas banda larga em uma população.	Número total de assinaturas de banda larga por 100 habitantes.
Assinaturas de Telefonia Móvel	MPS	Indicador de acesso a serviços móveis de comunicação por voz.	Número total de assinaturas de telefonia móvel por 100 habitantes.
Assinaturas de Telefonia Fixa	FPS	Medida do acesso a linhas fixas de telefonia em uma população.	Número total de assinaturas de telefone fixo por 100 habitantes.

Fonte: Elaboração própria.

Vale deixar claro que, apesar das variáveis *Gastos do Governo*, *Abertura Comercial* e *Investimentos* serem construídas pela razão entre seus respectivos volumes e o PIB, o que poderia, em princípio, gerar uma correlação mecânica com a variável dependente do modelo, esta prática é amplamente aceita na literatura de crescimento econômico. Modelos clássicos como o de Barro (1991) empregam variáveis normalizadas pelo PIB para capturar seus impactos sobre o desempenho econômico, reconhecendo que a divisão pelo PIB visa ajustar o volume de cada variável ao tamanho da economia e permitir comparações adequadas entre diferentes países. Dessa forma, embora se reconheça a existência de um potencial viés estrutural, a utilização dessa medida é considerada apropriada para os fins deste estudo.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Etapas Preliminares

Inicialmente, é necessário realizar testes F sequenciais para verificar a existência e a quantidade ótima de limiares no modelo. Essa etapa é parte fundamental da metodologia proposta por Hansen (1999), pois permite avaliar se a introdução de descontinuidades na relação entre as variáveis explicativas e a variável dependente resulta em uma melhora estatisticamente significativa no ajuste do modelo. (VIEIRA; CERETTA, 2024)

No presente estudo, assim como em Vieira e Ceretta (2024), foram comparados modelos com 0, 1, 2 e 3 limiares por meio de testes F, a fim de determinar se a inclusão de novos limiares melhora de forma significativa a explicação da variabilidade do PIB *per capita* (logaritimizado) na amostra. Contudo, cabe reconhecer uma limitação: o teto de três limiares foi definido de maneira arbitrária, com o objetivo de prevenir a formação de grupos muito pequenos e evitar testes em excesso. Essa escolha manteve o modelo mais enxuto, mas pode ter restringido a identificação de cortes adicionais potencialmente relevantes.

A partir da definição da quantidade ótima de limiares, procedeu-se à segmentação endógena da amostra, em linha com a abordagem adotada por Vieira e Ceretta (2024), com o objetivo de identificar os pontos de corte ideais da variável PIB *per capita*. Esse procedimento permite avaliar se o impacto da digitalização sobre o crescimento econômico é condicionado ao estágio de desenvolvimento dos países.

Para isso, foi empregado um algoritmo que testou uma ampla gama de valores potenciais de PIB *per capita* como candidatos a limiares, evitando o uso de critérios arbitrários ou classificações externas, como aquelas propostas pelo Banco Mundial. O método percorreu a distribuição da variável limiar e, para cada ponto, calculou a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) resultante da estimação do modelo com aquele corte específico. Ao possibilitar a definição dos grupos de renda com base nos próprios dados da amostra, o modelo contribui para uma identificação mais precisa das heterogeneidades estruturais e aumenta a robustez e a validade empírica das inferências geradas.

3.2.2 Modelo Econométrico

Com o objetivo de explorar todas essas vantagens analíticas, obter estimativas mais precisas e robustas e, sobretudo, acomodar a heterogeneidade presente nos dados, este estudo utilizou um modelo econométrico de dados em painel com efeitos fixos, fundamentado na abordagem de Hansen (1999) e adaptada para múltiplos limiares (*Multiple Threshold Models*). Essa metodologia permite estimar de maneira endógena o ponto de corte a partir do qual o efeito das variáveis utilizadas como *proxy* de digitalização sobre o crescimento econômico passa a se comportar de forma distinta, refletindo possíveis mudanças nas intensidades das relações entre as variáveis explicativas e o PIB *per capita*.

Portanto, seguindo essa metodologia, o modelo teórico que será utilizado nesse estudo é dado pela Equação 1.

$$\begin{aligned}
 \log(PIBpc_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 IU_{it} + \beta_2 BBS_{it} + \beta_3 MPS_{it} + \beta_4 FPS_{it} + \beta_5 Z_{it} \\
 & + X_{it}\beta_6 \cdot |(PIBpc \leq L_1) \\
 & + X_{it}\beta_7 \cdot |(L_1 \leq PIBpc \leq L_2) \\
 & + X_{it}\beta_8 \cdot |(L_2 \leq PIBpc \leq L_3) \\
 & + X_{it}\beta_9 \cdot |(PIBpc > L_3) \\
 & \varepsilon_{it}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Em que,

- i é o indicador para os países e t representa os anos;
- β_0 : termo constante (intercepto) da regressão. Representa o valor esperado de $\log(PIBpc_{it})$ quando todas as variáveis explicativas são nulas;
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$: coeficientes associados às variáveis explicativas;
- Z_{it} : vetor das variáveis macroeconômicas de controle, que inclui inflação, investimento (formação bruta de capital fixo), consumo do governo, abertura comercial e força de trabalho;
- $(X_{it})\beta_6, (X_{it})\beta_7, (X_{it})\beta_8$ e $(X_{it})\beta_9$: vetores de coeficientes específicos para cada regime de renda. Eles são aplicados ao mesmo conjunto de variáveis X_{it} , mas seu valor varia conforme o país i pertença a uma faixa diferente de PIB *per capita*;
- $|(\cdot)$: Função indicadora, que assume valor 1 quando a condição especificada é verdadeira e 0 caso contrário. Serve para ativar os efeitos regime-específicos dependendo do valor do PIBpc;
- L_1, L_2, L_3 e L_4 : Limiares de PIBpc estimados endogenamente pelo modelo;
- ε_{it} : termo de erro aleatório, que captura fatores não observáveis que afetam o PIB *per capita*.

4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os principais resultados obtidos a partir da análise empírica, conduzida conforme a metodologia previamente delineada. Inicialmente, são expostos os resultados dos testes F, que permitiram determinar a quantidade ótima de limiares no modelo. Em seguida, são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis, segmentadas por nível de renda, bem como a análise gráfica da relação entre as variáveis de interesse e o PIB per capita. Por fim, é realizada a estimação do modelo econométrico principal, cujos resultados sustentam a discussão central do estudo.

4.1 Identificação dos Limiares de Renda

Inicialmente, foram comparados modelos com 0, 1, 2 e 3 limiares utilizando testes F. Cada teste, seus respectivos resultados e interpretações se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 — Testes F para Determinação do Número Ótimo de Limiares no Modelo

Teste	Hipótese	F-Estatística	p-valor	Interpretação
0 limiar vs 1 limiar	H ₀ : Não há limiares (modelo linear) vs H ₁ : Existe 1 limiar	61,56	$6,20 \times 10^{-103}$	Rejeita H ₀ → Justifica 1 limiar
1 limiar vs 2 limiares	H ₀ : Existe 1 limiar vs H ₁ : Existem 2 limiares	51,05	$7,42 \times 10^{-86}$	Rejeita H ₀ → Justifica 2 limiares
2 limiares vs 3 limiares	H ₀ : Existem 2 limiares vs H ₁ : Existem 3 limiares	14,17	$1,43 \times 10^{-22}$	Rejeita H ₀ → Justifica 3 limiares

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos testes sequenciais realizados por meio da estatística F, os resultados da Tabela 1 confirmam de maneira consistente a presença de três limiares significativos para a segmentação da amostra em função do PIB per capita. Todos os p-valores são muito inferiores ao nível de significância convencional de 5%, o que demonstra que a introdução de novos limiares contribui significativamente para a melhora do ajuste do modelo.

Portanto, os testes justificam estatisticamente a segmentação da amostra em quatro grupos de renda, permitindo capturar de forma mais precisa a heterogeneidade do impacto da digitalização sobre o crescimento econômico entre diferentes níveis de desenvolvimento.

Assim, considerando que a amostra foi segmentada em quatro faixas distintas, com base nos limiares endogenamente estimados pelo modelo, a divisão resultou nos seguintes grupos: países de baixa renda ($\text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 1.898,44$), renda média-baixa ($\text{US\$ } 1.898,44 < \text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 7.890,84$), renda média-alta ($\text{US\$ } 7.890,84 < \text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 32.705,43$) e alta renda ($\text{PIBpc} > \text{US\$ } 32.705,43$). Essa segmentação permite uma análise comparativa mais precisa do comportamento das variáveis entre diferentes estágios de desenvolvimento econômico. A relação completa dos 130 países que compõem a amostra, distribuídos conforme os grupos de renda definidos para o ano de 2020, está disponível para consulta no Anexo A.

4.2 Estatísticas Descritivas

Seguindo a metodologia proposta, a próxima etapa consistiu no cálculo das estatísticas descritivas das variáveis, realizadas separadamente para cada grupo de renda. Essa abordagem possibilita uma melhor visualização das diferenças estruturais entre os países em distintos níveis de desenvolvimento. As estatísticas descritivas da amostra estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 — Estatísticas Descritivas

Variável	Média (Países Baixa Renda)	Desvio Padrão (Países Baixa Renda)	Média (Países Média-Baixa Renda)	Desvio Padrão (Países Média-Baixa Renda)	Média (Países Média-Alta Renda)	Desvio Padrão (Países Média-Alta Renda)	Média (Países Alta Renda)	Desvio Padrão (Países Alta Renda)
PIB per capita (US\$)	868,8	468,0	4.275,4	1.594,0	17.809,9	7.186,5	52.861,5	18.025,6

Variável	Média (Países Baixa Renda)	Desvio Padrão (Países Baixa Renda)	Média (Países Média- Baixa Renda)	Desvio Padrão (Países Média- Baixa Renda)	Média (Países Média- Alta Renda)	Desvio Padrão (Países Média- Alta Renda)	Média (Países Alta Renda)	Desvio Padrão (Países Alta Renda)
Gastos do Governo (%PIB)	0,1815	0,0903	0,2662	0,1518	0,3232	0,1211	0,3162	0,1021
Inflação (%)	4,4667	0,5360	4,6311	0,3676	4,6271	0,2052	4,6284	0,1101
Força de Trabalho (%)	1,3728	0,2537	1,1677	0,1932	1,1826	0,1153	1,2717	0,1114
Abertura Comercial (%PIB)	0,6921	0,3209	0,8106	0,3209	1,0188	0,6267	1,1552	0,9037
Investimentos (%PIB)	0,2406	0,0907	0,2505	0,0767	0,2396	0,0566	0,2548	0,0667
Uso da Internet (%)	0,0718	0,0970	0,3128	0,2167	0,5617	0,2236	0,7450	0,1745
Assinaturas de Banda Larga (%)	0,0315	0,1360	0,0630	0,0761	0,1586	0,1094	0,2510	0,1188
Assinaturas de Telefonia Móvel (%)	0,3757	0,3772	0,8468	0,4230	1,1082	0,3459	1,0981	0,3607
Assinaturas de Telefonia Fixa (%)	0,0367	0,0556	0,1513	0,0985	0,3163	0,1545	0,4652	0,1607

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos resultados das estatísticas descritivas, é possível observar alguns pontos relevantes. O primeiro deles diz respeito a um problema de escala entre o PIB per capita e as variáveis de interesse, o que justifica a aplicação do logaritmo natural sobre os valores do PIB per capita para a estimação do modelo.

O segundo ponto diz respeito uma expressiva desigualdade no nível de PIB per capita entre os países da amostra. Enquanto os países de alta renda registram média próxima a 53 mil dólares, os de baixa renda não ultrapassam 900 dólares. Essas fortes diferenças reforçam a necessidade da segmentação da amostra em faixas de renda distintas, como proposto neste estudo, de forma a captar adequadamente as diferenças estruturais que influenciam o impacto das TICs sobre o crescimento econômico.

O terceiro ponto refere-se ao acesso significativamente inferior à internet, à banda larga fixa e à telefonia móvel nos países de baixa renda, em comparação aos países mais desenvolvidos. As estatísticas descritivas mostram que, enquanto o uso da internet ultrapassa 74% da população nos países de alta renda, nos países de baixa renda esse percentual é inferior a 8%. Situação semelhante é observada nas assinaturas de banda larga e de telefonia móvel. Essa limitação estrutural reforça a hipótese de que, como amplamente discutido na literatura, o

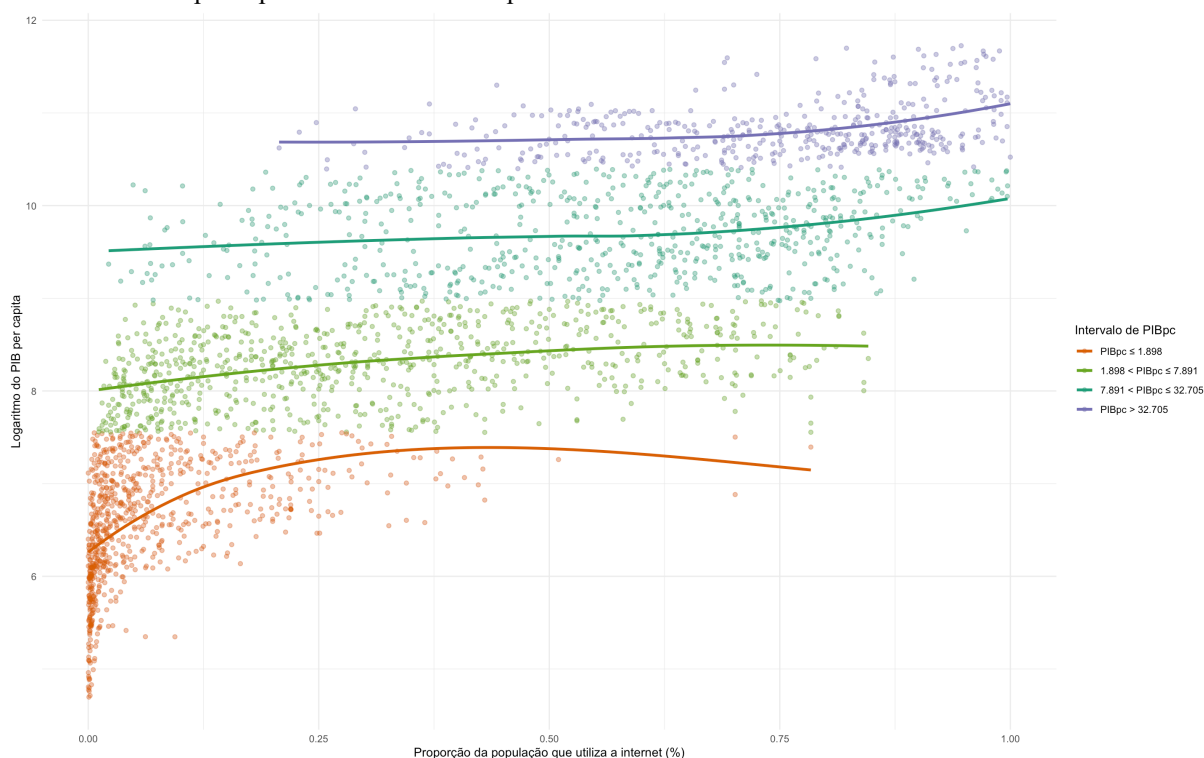
impacto das TICs sobre o crescimento econômico nesses países poderá ser menos expressivo, já que a baixa penetração tecnológica reduz o potencial de ganhos de produtividade e limita o efeito transformador da digitalização sobre o desenvolvimento econômico, especialmente em países que ainda não alcançaram níveis mínimos de infraestrutura tecnológica.

Por fim, cabe destacar um aspecto não exibido na Tabela 2: a distribuição equilibrada das observações entre os grupos definidos pela segmentação da amostra. A segmentação gerou 766 casos para países de baixa renda, 837 para renda média-baixa, 674 para renda média-alta e 438 para alta renda. Essa configuração evita tanto a superconcentração de dados em um único grupo quanto a formação de subgrupos com número insuficiente de observações, o que contribui para a robustez estatística do modelo e aumenta a confiabilidade das inferências obtidas.

4.3 Gráficos de Dispersão

Conforme explicitado pela metodologia, foram elaborados gráficos de dispersão segmentados pelos grupos de renda endogenamente determinados pelo modelo, com o objetivo de antecipar possíveis variações na intensidade do impacto das TICs sobre o crescimento econômico em função do nível de desenvolvimento dos países. O gráfico que relaciona PIB *per capita* e *Uso da Internet* por nível de renda pode ser encontrado na imagem intitulada como Gráfico 1.

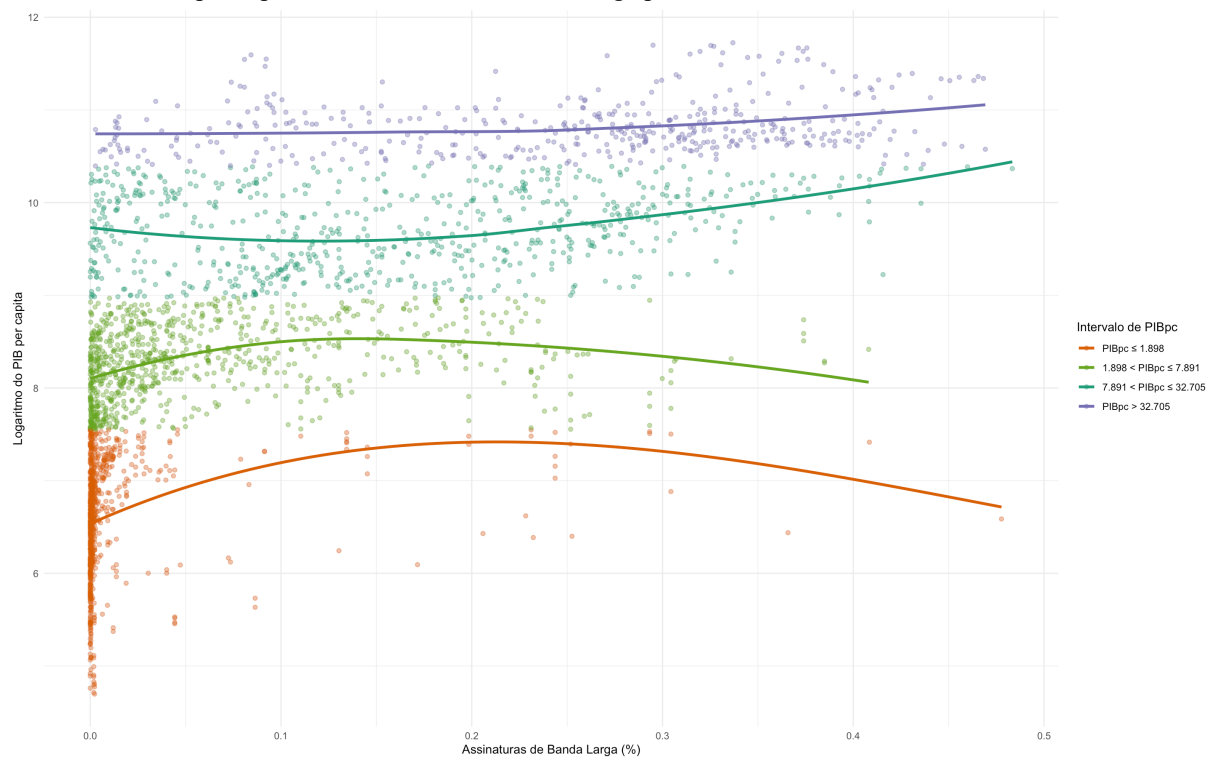
Gráfico 1 — PIB per capita vs Uso da Internet por nível de renda



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico que relaciona PIB *per capita* e *Assinaturas de Banda Larga* por nível de renda pode ser encontrado na imagem intitulada como Gráfico 2.

Gráfico 2 — PIB per capita vs Assinaturas de Banda Larga por nível de renda



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico que relaciona PIB *per capita* e Assinaturas de Telefonia Móvel por nível de renda pode ser encontrado na imagem intitulada como Gráfico 3.

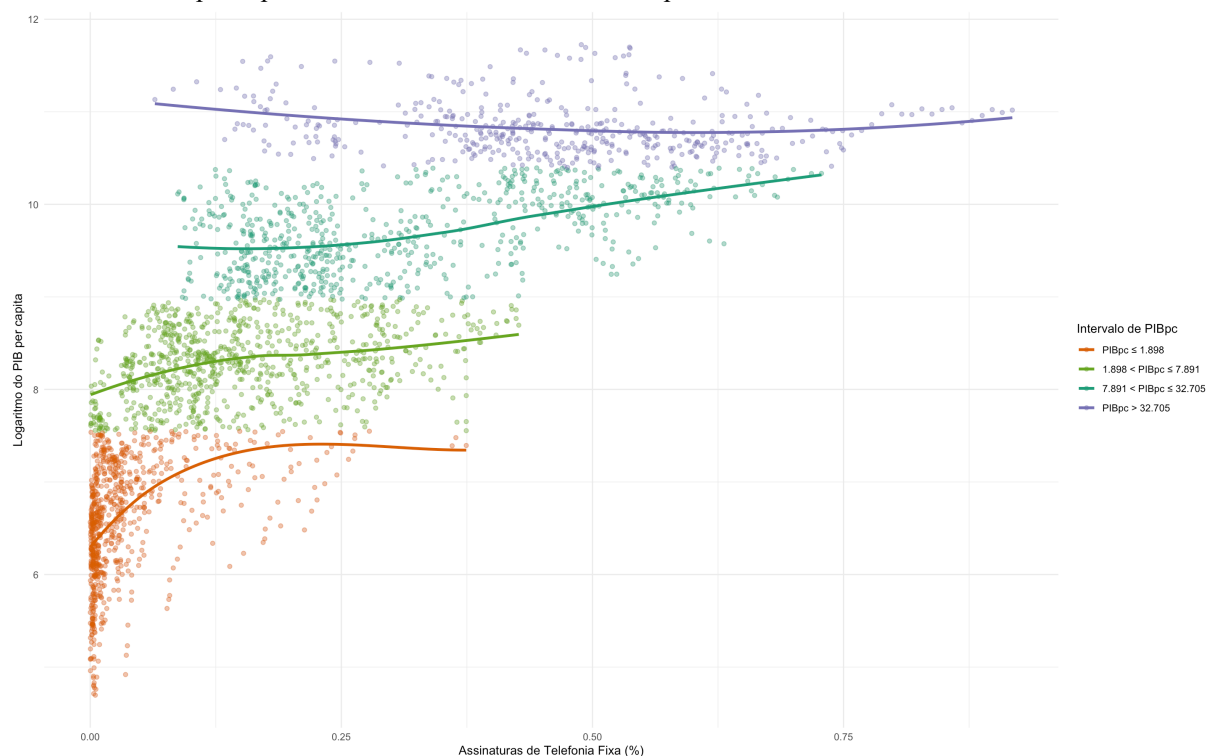
Gráfico 3 — PIB per capita vs Assinaturas de Telefonia Móvel por nível de renda



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o gráfico que relaciona PIB *per capita* e Assinaturas de Telefonia Fixa por nível de renda pode ser encontrado na imagem intitulada como Gráfico 4.

Gráfico 4 — PIB per capita vs Assinaturas de Telefonia Fixa por nível de renda



Fonte: Elaboração própria.

A análise dos gráficos com linhas de tendência segmentadas por nível de renda revela importantes indícios sobre a heterogeneidade do impacto das variáveis relacionadas à digitalização sobre o PIB *per capita*. No caso do uso da internet (Gráfico 1), observa-se uma relação positiva relativamente homogênea entre os grupos, com exceção dos países de baixa renda, onde há uma leve inclinação negativa, sugerindo possíveis barreiras estruturais à conversão do acesso digital em crescimento econômico. Quanto às assinaturas de banda larga (Gráfico 2), o impacto é claramente positivo nos países de alta e média-alta renda, mas se inverte nos países de média-baixa e baixa renda, onde a relação se mostra negativa. A telefonia móvel (Gráfico 3), por sua vez, apresentou um comportamento mais uniforme entre os grupos, com impacto positivo em todos os níveis de renda, embora com maior inclinação nos países de baixa renda e uma leve perda de intensidade nos países mais ricos. Já para a telefonia fixa (Gráfico 4), a inclinação da linha de tendência é mais acentuada nos países de baixa, média-baixa e média-alta renda, enquanto nos países de alta renda a relação tende a ser neutra ou ligeiramente negativa, o que reforça a hipótese de obsolescência progressiva dessa tecnologia em contextos mais avançados.

Esses resultados reforçam a hipótese de que o impacto das TICs sobre o crescimento econômico não é homogêneo entre os países, e varia de acordo com o nível de desenvolvimento, o que justifica a adoção das abordagens metodológicas apresentadas, que permitem captar essa heterogeneidade.

4.4 Resultados da Estimação do Modelo

Inicialmente, conforme descrito na Seção 3.2 – Metodologia, foram estimados endogenamente três limiares ótimos de PIB *per capita*, resultando nos valores de US\$ 1.898,44, US\$ 7.890,84 e US\$ 32.705,43. Portanto, o modelo final, que foi estimado nesse estudo está descrito formalmente pela Equação 2.

$$\begin{aligned} \log(PIBpc_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 IU_{it} + \beta_2 BBS_{it} + \beta_3 MPS_{it} + \beta_4 FPS_{it} + \beta_5 Z_{it} \\ & + X_{it}\beta_6 \cdot |(PIBpc \leq 1.898,44) \\ & + X_{it}\beta_7 \cdot |(1.898,44 \leq PIBpc \leq 7.890,84) \\ & + X_{it}\beta_8 \cdot |(7.890,84 \leq PIBpc \leq 32.705,43) \\ & + X_{it}\beta_9 \cdot |(PIBpc > 32.705,43) \\ & \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

Em seguida, procedeu-se à estimação do modelo de dados em painel com efeitos fixos, utilizando a metodologia proposta por Hansen (1999), adaptada para acomodar múltiplos limiares. Com os três pontos de corte identificados, a amostra foi dividida em quatro grupos: países de baixa renda, renda média-baixa, renda média-alta e alta renda. Os resultados obtidos a partir dessa estimação estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 — Resultados da Estimação

Variável	Regime	Coefficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Gastos do Governo	1	0,0150	0,4486	0,0334	0,9734
Gastos do Governo	2	0,0731	0,1815	0,4031	0,6869
Gastos do Governo	3	0,1622	0,1992	0,8142	0,4156
Gastos do Governo	4	-0,3053	0,1824	-1,6739	0,0943 *
Inflação	1	0,2316	0,0604	3,8362	0,0001 ****
Inflação	2	0,0245	0,0504	0,4871	0,6262
Inflação	3	0,0627	0,0644	0,9743	0,3300
Inflação	4	0,1559	0,0817	1,9084	0,0565 *
Força de Trabalho	1	0,2898	0,4326	0,6698	0,5030
Força de Trabalho	2	0,0132	0,2587	0,0509	0,9594
Força de Trabalho	3	0,3362	0,2659	1,2647	0,2061
Força de Trabalho	4	0,7433	0,2733	2,7195	0,0066 ***
Abertura Comercial	1	0,3060	0,0908	3,3715	0,0008 ****
Abertura Comercial	2	-0,0225	0,0714	-0,3144	0,7533
Abertura Comercial	3	0,0374	0,0716	0,5221	0,6017
Abertura Comercial	4	0,0726	0,0639	1,1366	0,2558
Investimentos	1	0,0714	0,2970	0,2405	0,8099

Variável	Regime	Coefficiente	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Investimentos	2	0,8739	0,2343	3,7294	0,0002 ****
Investimentos	3	0,7160	0,2056	3,4817	0,0005 ****
Investimentos	4	0,5503	0,4255	1,2935	0,1960
Uso da Internet	1	-0,7744	0,2556	- 3,0303	0,0025 ***
Uso da Internet	2	0,2540	0,1091	2,3281	0,0200 **
Uso da Internet	3	0,1940	0,1192	1,6279	0,1037
Uso da Internet	4	0,3151	0,1440	2,1890	0,0287 **
Assinaturas de Banda Larga	1	-0,1768	0,3396	- 0,5206	0,6027
Assinaturas de Banda Larga	2	0,1681	0,1921	0,8750	0,3816
Assinaturas de Banda Larga	3	0,7928	0,2520	3,1463	0,0017 ***
Assinaturas de Banda Larga	4	0,7536	0,2712	2,7787	0,0055 ***
Assinaturas de Telefonia Móvel	1	0,4121	0,1644	2,5074	0,0122 **
Assinaturas de Telefonia Móvel	2	0,7459	0,1242	6,0079	2,15e ⁻⁰⁹ ****
Assinaturas de Telefonia Móvel	3	0,8046	0,1098	7,3274	3,13e ⁻¹³ ****
Assinaturas de Telefonia Móvel	4	0,3289	0,0694	4,7383	< 2,2e ⁻¹⁶ ****
Assinaturas de Telefonia Fixa	1	0,7234	0,4325	1,6726	0,0945 *
Assinaturas de Telefonia Fixa	2	0,5047	0,2522	2,0011	0,0455 **
Assinaturas de Telefonia Fixa	3	0,5189	0,5780	0,8978	0,3694
Assinaturas de Telefonia Fixa	4	0,1983	0,1405	1,4119	0,1581

Fonte: Elaboração própria.

Os principais indicadores de ajuste do modelo estimado são apresentados na Tabela 4, permitindo avaliar a qualidade geral da regressão e a significância estatística conjunta das variáveis explicativas.

Tabela 4 — Indicadores de Ajuste do Modelo

Estatística	Resultado
R ²	0,8184
R ² ajustado	0,8067
F-Estatística	157,985
p-valor da F-Estatística	< 2,22e-16

Fonte: Elaboração própria.

Os regimes descritos na Tabela 3, 1, 2, 3 e 4, correspondem, respectivamente, aos quatro grupos de países definidos endogenamente pelo modelo, com base no valor do PIB *per capita* em dólares. O grupo 1 representa os países de baixa renda ($\text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 1.898,44$), 2 inclui os países de renda média-baixa ($\text{US\$ } 1.898,44 < \text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 7.890,84$), 3 abrange os países de renda média-alta ($\text{US\$ } 7.890,84 < \text{PIBpc} \leq \text{US\$ } 32.705,43$) e 4 compreende os países de alta renda ($\text{PIBpc} > \text{US\$ } 32.705,43$). Cada regime está associado às interações entre as variáveis explicativas e o respectivo grupo de renda, permitindo que o modelo capture variações na intensidade dos impactos conforme o nível de desenvolvimento econômico.

Os asteriscos que acompanham os valores estimados, na coluna de p-valor da Tabela 3, indicam os níveis de significância estatística adotados, seguindo convenções amplamente aceitas na literatura econométrica. Especificamente: * denota significância a 10% (p-valor < 0,10), ** a 5% (p-valor < 0,05), *** a 1% (p-valor < 0,01) e **** a 0,1% (p-valor < 0,001). Esses marcadores auxiliam na interpretação da robustez estatística dos coeficientes estimados.

Já as estatísticas de ajuste global do modelo, presentes na Tabela 4, indicam sua robustez. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,8184, sinalizando que cerca de 81,84% da variação do logaritmo do PIB *per capita* é explicada pelas variáveis independentes. O R^2 ajustado, de 0,8067, corrige o R^2 bruto pelo número de variáveis incluídas, evitando superestimação da qualidade do ajuste. Já a estatística F foi de 157,985, com p-valor inferior a 0,01, permitindo rejeitar a hipótese nula de que todos os coeficientes são simultaneamente nulos. Assim, confirma-se que o modelo é globalmente significativo para a amostra analisada. (GUJARATI; PORTER, 2011)

Inicialmente, sobre as variáveis controle temos que, ao analisar a variável *Gastos do Governo*, observa-se que ela não apresentou significância estatística nos três primeiros regimes de renda (p-valores superiores a 0,40), sendo apenas marginalmente significativa no Regime 4, que corresponde aos países de alta renda. Nesse grupo, o coeficiente estimado foi de -0,3053 (significativo a 10%, p-valor = 0,0943), sugerindo um possível efeito negativo dos gastos públicos sobre o crescimento econômico.

Esse resultado pode refletir a presença do efeito *crowding out*, fenômeno no qual o aumento dos gastos governamentais eleva a demanda por recursos e, ao competir com o setor privado por financiamento, acaba reduzindo o nível de investimento privado e, conseqüentemente, a eficiência na alocação de recursos na economia (Blanchard, 2011). Além disso, esse resultado dialoga com o modelo de Solow (1956), que reconhece a importância da acumulação de capital, incluindo o capital público, para o crescimento econômico.

Já a variável *Inflação* apresentou significância estatística apenas no Regime 1 (países baixa renda), com coeficiente de 0,2316 (significativo a 0,1%, p-valor = 0,0001), e leve significância no Regime 4 (países alta renda), com coeficiente igual a 0,1559 (significativo a 10%, p-valor = 0,0565).

Esse resultado positivo pode ser explicado pelo fato de que, em países de baixa renda, o impacto da inflação sobre o PIB nominal (numerador) tende a ser mais expressivo do que seu efeito redutor sobre o índice de preços (denominador), resultando em um PIB real maior. Tal fenômeno está frequentemente associado à forte presença do Estado na economia, característica comum a economias em desenvolvimento, onde governos utilizam políticas inflacionárias de maneira estratégica para financiar déficits públicos e estimular a atividade econômica no curto prazo.

De acordo com Tanzi (1989), em países com fraca capacidade institucional, a inflação frequentemente desempenha o papel de um “imposto implícito”, utilizado por governos para suprir a baixa arrecadação e expandir gastos públicos. Assim, nesse contexto, esse tipo de

política pode impulsionar o PIB nominal, superando os efeitos de redução provocados pela corrosão do poder de compra.

Em relação à variável *Força de Trabalho*, os resultados indicam que apenas no grupo de alta renda (Regime 4) essa variável apresentou impacto estatisticamente significativo, com um coeficiente de 0,7433 e p-valor de 0,0066, sendo significativo ao nível de significância de 1%. Esse efeito positivo está associado à maior qualificação e produtividade da força de trabalho nos países desenvolvidos, onde o crescimento da participação no mercado de trabalho tende a refletir a incorporação de capital humano mais avançado. Essa interpretação está alinhada com o modelo de Solow (1956), que enfatiza o papel entre o capital humano, como determinante positivo da produtividade.

A variável *Abertura Comercial* apresentou significância estatística apenas no Regime 1, correspondente aos países de menor renda, com um coeficiente estimado de 0,3060 (significativo a 0,1%, p-valor = 0,0008). Esse resultado indica que, nesses países, a maior integração ao comércio internacional está positivamente associada ao crescimento econômico. Esse efeito pode ser atribuído ao fato de que a abertura ao mercado externo representa um importante via de acesso a tecnologia, capital e ganhos de escala, que muitas vezes não estão disponíveis internamente. Essa evidência empírica está em linha com a perspectiva apresentada por Mankiw (2015), segundo a qual economias mais abertas, caracterizadas por maior fluxo de exportações e importações, tendem a apresentar maior dinamismo produtivo e crescimento econômico sustentado, especialmente quando partem de um patamar mais restrito de integração global.

Por fim, a variável *Investimentos*, representada pela formação bruta de capital fixo como proporção do PIB, apresentou impacto positivo e estatisticamente significativo nos Regimes 2 e 3, com coeficientes de 0,8739 (significativo a 0,1%, p-valor = 0,0002) e 0,7160 (significativo a 0,1%, p-valor = 0,0005), respectivamente. Esses resultados indicam que, nos estágios intermediários de desenvolvimento, o investimento em capital fixo é especialmente eficaz na promoção do crescimento econômico. Esse padrão está em consonância com os modelos teóricos de crescimento de Solow (1956) e Barro (1991), que destacam a importância da acumulação de capital produtivo como motor de expansão da produtividade e da renda *per capita*.

Partindo para a análise das variáveis de interesse, é possível perceber que a variável *Uso da Internet* apresentou impacto positivo e estatisticamente significativo em três dos quatro regimes. No Regime 1 (países de baixa renda), o coeficiente foi -0,7744 (significativo a 1%, p-valor = 0,0025); no Regime 2 (renda média-baixa), o coeficiente foi 0,2540 (significativo a 5%, p-valor = 0,0200); e no Regime 4 (alta renda), o coeficiente foi 0,3151 (significativo a 5%, p-valor = 0,0287). Observa-se, portanto, uma tendência crescente na magnitude positiva do impacto à medida que o nível de desenvolvimento dos países aumenta.

O sinal negativo no primeiro grupo reflete um efeito de desalinhamento entre acesso a internet e aumento de produtividade. Em países muito pobres, o acesso à internet, muitas vezes, ainda não está adequadamente acompanhado de infraestrutura, capital humano ou estrutura institucional capazes de converter o acesso digital em crescimento econômico efetivo. (LEE; LEVENDIS; GUTIERREZ 2012).

Além disso, como destacam Freeman e Soete (1997), a adoção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) em contextos menos desenvolvidos tende a deslocar trabalhadores não qualificados, especialmente em setores tradicionais, aumentando o desemprego estrutural e intensificando as desigualdades internas. Ou seja, em vez de gerar crescimento imediato, a internet pode, inicialmente, reforçar a competitividade de países mais avançados, ao ampliar a exposição das economias frágeis à concorrência global sem oferecer as bases necessárias para que estas se beneficiem plenamente do processo de digitalização.

Já a variável *Assinaturas de Banda Larga* mostrou-se estatisticamente significativa apenas nos Regimes 3 e 4, com coeficientes de 0,7928 (significativo a 1%, p-valor = 0,0017) e 0,7536 (significativo a 1%, p-valor = 0,0055), respectivamente. Isso sugere que os ganhos econômicos proporcionados pela banda larga ocorrem apenas em estágios mais avançados de desenvolvimento, onde há maior capacidade de absorção tecnológica, infraestrutura e complementariedade com outros fatores produtivos.

Essa constatação está alinhada com os resultados de Dewan e Kraemer (2000), que identificaram a ausência de retornos significativos dos investimentos em TICs nos países em desenvolvimento. Segundo os autores, fatores como a deficiência educacional, a precariedade da infraestrutura e a falta de regulamentação adequada impedem essas economias de traduzirem os investimentos em tecnologias digitais em ganhos reais de produtividade.

Além disso, esses resultados corroboram as conclusões de Toader et al. (2018), sugerindo que, em contextos de países com níveis mais elevados de PIB *per capita*, a presença de assinaturas de banda larga está associada a impactos positivos no crescimento econômico. Isso pode ser interpretado no sentido de que, em economias mais desenvolvidas a infraestrutura de banda larga pode desempenhar um papel mais significativo na promoção do crescimento econômico, possivelmente facilitando a inovação, o acesso a informações e a eficiência produtiva.

A variável *Assinaturas de Telefonia Móvel* apresentou resultados bastante homogêneos e estatisticamente significativos em todos os regimes, com coeficientes de 0,4121 (significativo a 5%, p-valor = 0,0122) no Regime 1, 0,7459 (significativo a 0,1%, p-valor = $2,15e^{-09}$) no Regime 2, 0,8046 (significativo a 0,1%, p-valor = $3,13e^{-13}$) no Regime 3 e 0,3289 (significativo a 0,1%, p-valor < $2,2e^{-16}$) no Regime 4.

Esse padrão de resultados sugere que, independentemente do nível de desenvolvimento econômico dos países, o aumento nas assinaturas de celulares está positivamente associado ao crescimento econômico. A interpretação desses resultados está ligada ao papel central que a telefonia móvel desempenha na conectividade populacional. Sua expansão viabiliza o acesso a informações, a inclusão financeira por meio de serviços móveis, além de facilitar transações comerciais e a comunicação entre agentes econômicos, fatores essenciais para dinamizar a economia.

Essa interpretação está em consonância com os achados de Vieira e Ceretta (2024), que evidenciam o papel da telefonia móvel como vetor de desenvolvimento econômico em diferentes estágios de renda, justamente por seu caráter acessível, disseminado e funcional mesmo em ambientes de baixa complexidade tecnológica.

A variável *Assinaturas de Telefonia Fixa* apresentou significância estatística apenas nos Regimes 1 e 2, com coeficientes de 0,7234 (p = 0,0945) e 0,5047 (p = 0,0455), respectivamente. Isso indica que a telefonia fixa ainda exerce algum papel nos países menos desenvolvidos, possivelmente como infraestrutura de base mínima em regiões sem acesso à telefonia móvel ou internet. Nos regimes superiores, a perda de significância e a queda na magnitude dos coeficientes sugerem a obsolescência dessa tecnologia como motor de produtividade. Esse resultado reforça as conclusões de David e Grobler (2020), que destacam a substituição da telefonia fixa pelo móvel como tendência nas economias em transição.

Portanto, de forma geral, os resultados confirmam a existência de heterogeneidade nos efeitos das TICs sobre o crescimento econômico, evidenciando que a intensidade do impacto das variáveis de interesse sobre o PIB *per capita* varia significativamente entre os diferentes níveis de desenvolvimento dos países. Essa constatação reforça a hipótese central do estudo de que os efeitos da digitalização não são uniformes, mas condicionados ao grau de maturidade institucional, infraestrutura, capital humano e integração tecnológica de cada economia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou de forma empírica os efeitos da digitalização sobre o crescimento econômico de países desenvolvidos e em desenvolvimento, no período de 2000 a 2020. Utilizando um modelo de dados em painel com efeitos fixos e segmentação endógena por limiares de PIB *per capita*, baseado na metodologia de Hansen (1999), foi possível não apenas mensurar os impactos médios das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) sobre o PIB per capita, mas também identificar como esses efeitos variam conforme o estágio de desenvolvimento das nações.

A segmentação da amostra revelou a existência de quatro regimes distintos de renda, permitindo uma análise detalhada da heterogeneidade estrutural entre os países da amostra. Essa abordagem respondeu diretamente aos objetivos levantados por este estudo: i) mensurar o impacto geral da digitalização sobre o crescimento e ii) verificar se esse impacto varia conforme o nível de renda dos países. Os resultados confirmaram que tais objetivos foram plenamente atingidos.

Os achados empíricos demonstraram que as variáveis de TICs não apresentam efeitos homogêneos entre os diferentes grupos de renda. O uso da internet, por exemplo, apresentou impacto negativo nos países de baixa renda, mas positivo e crescente nos demais, refletindo a importância de infraestrutura, capital humano e instituições para que os ganhos da digitalização se convertam em produtividade. As assinaturas de banda larga revelaram-se relevantes apenas em níveis mais altos de renda, indicando seu efeito dependente de complementariedades tecnológicas. Já a telefonia móvel se mostrou consistentemente positiva e significativa em todos os regimes, com coeficientes expressivos, confirmando seu papel como tecnologia de impacto difuso e acessível, mesmo em contextos de baixa complexidade institucional. Por fim, a telefonia fixa mostrou sinais de obsolescência, perdendo significância nos países mais desenvolvidos, o que reforça sua substituição por tecnologias mais avançadas.

Esses resultados reforçam a ideia de que as TICs são instrumentos potentes para o desenvolvimento econômico, mas cujo impacto está condicionado à capacidade das economias de absorvê-las de forma eficaz. Diante disso, recomenda-se que os formuladores de políticas públicas, especialmente nos países em desenvolvimento, direcionem esforços para ampliar o acesso às tecnologias por meio de investimentos em infraestrutura, promover a capacitação digital da força de trabalho, fortalecer instituições regulatórias e de mercado que favoreçam a inovação e a concorrência, e assegurar que a expansão tecnológica ocorra de maneira inclusiva, evitando o aprofundamento de desigualdades estruturais.

Além disso, políticas comerciais e fiscais devem ser pensadas de modo a não comprometer a alocação eficiente de recursos em setores estratégicos, como o digital, ao mesmo tempo em que se evita o *crowding-out* de investimentos privados. A integração dessas estratégias, especialmente em economias em transição, pode catalisar o crescimento sustentável, reduzir vulnerabilidades e acelerar a convergência econômica internacional.

Este estudo contribui significativamente para a literatura ao evidenciar, com base empírica robusta, que o impacto das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) sobre o crescimento econômico é condicionado ao nível de renda dos países. Tal constatação reforça a importância de abordagens flexíveis e contextuais, tanto no desenvolvimento teórico quanto na formulação de políticas públicas voltadas ao crescimento sustentável.

Contudo, é necessário reconhecer limitações adicionais às já mencionadas ao longo das demais seções deste estudo. A análise concentrou-se em variáveis que refletem majoritariamente a infraestrutura tecnológica, como número de usuários de internet, banda larga, telefonia móvel e telefonia fixa, sem incorporar fatores como o estoque de capital em tecnologia da informação, nem o volume de investimentos em *hardware*, *software* e serviços especializados. Esses elementos são de extrema importância e poderiam aprofundar a compreensão da relação entre digitalização e crescimento.

Adicionalmente, o modelo empregado capturou apenas mudanças na intensidade das relações entre as variáveis independentes e a variável dependente, não permitindo observar transformações no formato ou na estrutura dessas relações ao longo do tempo. Outra limitação relevante diz respeito à dificuldade de acesso a dados completos e consistentes para todos os países da amostra durante o período analisado, o que restringiu a complexidade das análises econométricas que poderiam ser realizadas.

Diante disso, recomenda-se que estudos futuros explorem de forma mais abrangente essas dimensões negligenciadas, utilizando o modelo de limiares aqui aplicado como ponto de partida para segmentações adicionais. Isso permitirá investigar nuances ainda não capturadas e contribuir para o avanço do conhecimento em uma área dinâmica e essencial para a compreensão do desenvolvimento econômico contemporâneo.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, Daron; ROBINSON, James A. **Por que as nações fracassam**: as origens do poder, da prosperidade e da pobreza. Elsevier, 2012.

BARRO, Robert J. Economic Growth in a Cross Section of Countries. **The Quarterly Journal of Economics**, Oxford, v. 106, n. 2. 407–443 p, 1991.

BLANCHARD, Oliver. **Macroeconomia**. 5ª ed. São Paulo: Pearson, 2011. 600 p.

DAVID, Oladipo Olalekan; GROBLER, Wynand. Information and communication technology penetration level as an impetus for economic growth and development in Africa. **Routledge**, v. 33, p. 1394-1418, 16 mar 2020.

DEWAN, Sanjeev; KRAEMER, Kenneth L. Information Technology and Productivity: Evidence from Country-Level Data. **Management Science**, v. 46, p. 548-562, 2000.

FREEMAN, Chris; SOETE, Luc. **The Economics of Industrial Innovation**. 3 ed. 1997. 470 p.

GOMES, Sofia; LOPES, João M.; FERREIRA, Luís. O impacto da economia digital no crescimento econômico: O caso dos países da OCDE. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, 28 jun 2022.

GRUPO BANCO MUNDIAL. **Relatório Anual 2018**. 2018.

GUJARATI, Damodar N; PORTER, Dawn C. **Econometria Básica**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HALL, Robert E; JONES, Charles I. Why Do Some Countries Produce So Much More Output Per Worker Than Others? **Oxford Journals**, v. 114, n. 1, p. 83-116, fev 1999. Oxford University Press.

HANSEN, Bruce E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. **Journal of Econometrics**, v. 93, n. 2, p. 345-368, dez 1999.

LEE, Sang H.; LEVENDIS, John; GUTIERREZ, Luis. Telecommunications and economic growth: An empirical analysis of sub-Saharan Africa. **Universidad del Rosario**, Faculty of Economics, v. 44, p. 461-469, Feb 2012.

MANKIW, N. Gregory. **Macroeconomia**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos e Grupo Editorial Nacional, 2015. 434 p.

PAPAIOANNOU, Sotirir K.; DIMELIS, Sophia P. Information technology as a factor of economic development: Evidence from developed and developing countries. **Routledge**, p. 179-194, 18 abr 2007.

PRADHAN, Rudra P.; MALLIK, Girijasankar; BAGCHI, Tapan P. **Information communication technology (ICT) infrastructure and economic growth: A causality evinced by cross-country panel data**. West Bengal, India, 2028 Dissertação - Indian Institute Of Technology Kharagpur.

QUAH, Danny. Digital Goods and the New Economy. **Discussion Papers do Centre for Economic Performance**, London School of Economics and Political Science. 47 p, Mar 2003.

SOLOW, Robert Merton. **A contribution to the theory of economic growth**. The Quarterly Journal of Economics, v. 70, p. 65-94 Tese, 1956.

TANZI, Vito. Fiscal Policy and Economic Reconstruction in Latin America. **International Monetary Fund**. 38 p, 2 nov 1989.

TOADER, Elena *et al.* Impact of Information and Communication Technology Infrastructure on Economic Growth: An Empirical Assessment for the EU Countries. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, 17 out 2018.

UNITED NATIONS. **Digital Inclusion**. Department of Economic and Social Affairs. Disponível em: <https://social.desa.un.org/issues/poverty-eradication/digital-inclusion>. Acesso em: 26 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Expense (% of GDP)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/GC.XPN.TOTL.GD.ZS>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Fixed broadband subscriptions (per 100 people)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/IT.NET.BBND.P2>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Gross fixed capital formation (% of GDP)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.ZS>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Individuals using the Internet (% of population)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/IT.NET.USER.ZS>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Inflation, consumer prices (annual %)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Labor force participation rate, total (% of total population)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.TLF.CACT.ZS>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Mobile cellular subscriptions (per 100 people)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/IT.CEL.SETS.P2>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Trade (% of GDP)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>. Acesso em: 11 mar. 2025.

ANEXO A — Distribuição dos países conforme os grupos de renda definidos para o ano de 2020

Este anexo apresenta a distribuição dos 130 países que compõem a amostra do estudo, organizados de acordo com os grupos de renda definidos a partir dos limiares estimados endogenamente pelo modelo. Com base nos valores de PIB per capita observados no ano de

2020, foi elaborado um quadro contendo a lista dos países classificados em cada uma das faixas de renda: baixa, média-baixa, média-alta e alta renda. Essas informações estão consolidadas no Quadro 2.

Quadro 2 — Distribuição dos Países por Grupos de Renda — Ano de 2020

Grupos de Renda	Países
Baixa Renda	Angola, Burkina Faso, Burundi, Camarões, Chade, República Democrática do Congo, Etiópia, Gâmbia, Guiné, Quirguizistão, Lesoto, Madagascar, Malawi, Mali, Moçambique, Nepal, Paquistão, Ruanda, Senegal, Tadjiquistão, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Zimbábue
Média-Baixa Renda	Albânia, Argélia, Armênia, Azerbaijão, Bangladesh, Bolívia, Bósnia e Herzegovina, Botsuana, Brasil, Cabo Verde, Camboja, Colômbia, Costa do Marfim, República Dominicana, Equador, Egito, El Salvador, Eswatini, Geórgia, Gana, Guatemala, Honduras, Índia, Indonésia, Irão, Jamaica, Jordânia, Quênia, Laos, Líbano, Moldávia, Mongólia, Montenegro, Marrocos, Namíbia, Nigéria, Macedônia do Norte, Paraguai, Peru, Filipinas, África do Sul, Sri Lanka, Tailândia, Tunísia, Ucrânia, Vietnã
Média-Alta Renda	Argentina, Bahrein, Bulgária, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Chipre, República Tcheca, Estônia, Grécia, Hungria, Itália, Cazaquistão, Kuwait, Letônia, Lituânia, Malásia, Malta, Maurício, México, Omã, Panamá, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia, Arábia Saudita, Sérvia, Eslováquia, Eslovênia, Coreia do Sul, Espanha, Trindade e Tobago, Turquia, Uruguai
Alta Renda	Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Hong Kong, Islândia, Irlanda, Israel, Japão, Luxemburgo, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Catar, Cingapura, Suécia, Suíça, Emirados Árabes Unidos, Reino Unido, Estados Unidos

Fonte: Elaboração própria.

A inclusão deste anexo tem como objetivo reforçar a transparência metodológica, permitindo ao leitor verificar a composição de cada grupo e compreender com maior precisão a segmentação adotada na análise empírica. Essa estrutura contribui para a reprodutibilidade do estudo e para uma interpretação mais informada dos resultados apresentados.