



2. Capital Humano e Crescimento Econômico

Investigação do Papel do Investimento em Capital Humano no Crescimento Econômico Brasileiro através do Modelo AK

Luiz Antonio Leopoldo
Ccamila Lima Silva
Jessica Facioli
Daiane Rodrigues dos Santos

Resumo

O capital humano constitui uma variável-chave para o crescimento e o desenvolvimento econômico de um país. O objetivo do presente trabalho é investigar como o capital humano está relacionado ao crescimento econômico, utilizando o modelo AK aplicado no Brasil. O modelo de Autorregressão com Defasagens Distribuídas (ARDL), utilizado no presente artigo, explora a relação dinâmica entre o investimento em capital humano e o crescimento econômico, permitindo a estimação das relações de curto e longo prazo. Como proxy para o capital humano, utilizam-se dados de investimento em educação, obtidos a partir das despesas do governo, fornecidas pela Controladoria-Geral da União (CGU), com frequência mensal, no período de 2014 a 2023. Por fim, os resultados mostram que, embora o capital físico desempenhe um papel central e imediato no crescimento econômico, o capital humano, quando direcionado e aliado a melhorias estruturais e qualitativas, apresenta potencial para sustentar trajetórias de desenvolvimento mais resilientes e inclusivas no longo prazo.

Palavras-chave: Capital Humano; Crescimento Econômico; Modelo AK.

2.1 Introdução

Nos últimos 60 anos, diversos autores desenvolveram modelos econômicos para estudar o crescimento e o desenvolvimento das economias no longo prazo, demonstrando diversas relações da Produtividade Total dos Fatores (PTF). O modelo de (SOLOW, Robert M, 1956a), um marco na área, considera a PTF como um fator exógeno, incluindo o capital humano como um dos fatores que influenciam o uso da tecnologia, mas não descrito pelo modelo. Sendo assim, (SOLOW, Robert M, 1956a) procura explicar as diferenças de renda entre países por meio da acumulação de capital físico, em contraste, explora um modelo de crescimento endógeno, em que o papel do capital humano, as inovações tecnológicas, o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a educação são fatores que impulsionam o crescimento. (SILVA FILHO; CARVALHO, 2001) apontam que essas hipóteses são para embasar a ausência de retornos decrescentes. O modelo escolhido é o mais simples dessa classe, denominado modelo AK.

O modelo AK, de acordo com (ROMER, Paul M, 1986), é um modelo endógeno de crescimento econômico que mostra uma evolução do pensamento clássico. Nesse caso, incorpora, de forma endógena, o capital humano como uma variável importante para explicar a elevação da produtividade

e do crescimento em países e regiões (ROMER, Paul M, 1986). O modelo utiliza como hipóteses o nível de tecnologia fixo e a poupança constante e exógena. Em consequência, observa-se rendimentos constantes à acumulação de capital.

(PARELLO, 2024) destaca que, apesar das limitações teóricas, o modelo AK oferece uma abordagem viável para explicar o progresso técnico, em contraste com os modelos neoclássicos. Enquanto nos modelos neoclássicos de crescimento, a taxa de juros real no estado estacionário depende de parâmetros de preferência e de progresso técnico exógeno, no modelo AK depende das preferências e tecnologia, sendo esta última dada pela acumulação de conhecimento técnico (PARELLO, 2024). Assim, o modelo AK apresenta uma versão simplificada e neoclássica que permite crescimento endógeno contínuo ao remover a hipótese de retornos decrescentes do capital. A vantagem dessa simplificação é que o crescimento econômico responde de forma endógena às políticas públicas (ACEMOGLU, 2009).

A Teoria do Capital Humano foi formalizada no século XX, mas já era implicitamente analisada por outros pensadores, conforme observado em (SMITH, 1776), ao abordar a divisão do trabalho, observou que a especialização da mão de obra torna o indivíduo mais eficiente e produtivo a ponto de desenvolver progresso tecnológico. Outras fontes de conhecimento também são observadas em economias externas às firmas, em que de acordo com (MARSHALL, 1920), fornecedores especializados, agrupamento de mão de obra e transbordamento de conhecimento, destacando que os benefícios não são absorvidos somente pela ótica interna da firma.

Para o desenvolvimento da Teoria do Capital Humano, (VIANA; LIMA, 2010) destacaram os estudos de (MINCER, J., 1958), (SCHULTZ, Theodore W., 1964) e (BECKER, 1964) para mostrar fatores determinantes do crescimento econômico. Tais pensadores observaram a correlação entre investimento e produtividade relacionados ao nível de educação, qualificação e acumulação de conhecimento, gerais ou específicos, para a produção de riqueza. A literatura conta com diversas aplicações econométricas, utilizando séries temporais e dados em painel para investigar a relação entre capital humano e crescimento econômico.

Diante desse contexto, observam-se estudos realizados em países como Portugal (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004), Nigéria (KEJI, 2021), na cidade de Pequim, China (HOU; WANG, 2015), Indonésia (WIDARNI; BAWONO, 2021), Paquistão (KASHIF; ARSHAD, 2018), China (FLEISHER et al., 2010) e na região do Oriente Médio e Norte da África (ADELEYE et al., 2022), além de análises comparativas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (SULTANA et al., 2022) e os BRICS (DUAN et al., 2022). Essas evidências buscam capturar de forma eficiente uma variável como *proxy* para o capital humano, convergindo frequentemente para indicadores como número de matrículas, número de concluintes, investimento em educação e expectativa de vida. Sendo assim, o presente estudo busca contribuir com essa análise para o Brasil.

O presente estudo visa analisar empiricamente a relação entre capital humano e o crescimento econômico no Brasil, utilizando o modelo AK de crescimento endógeno. A base de dados utilizada é composta por séries temporais relativas ao período de 2014 a 2023, obtidas do Orçamento de Despesas do Ministério da Educação. A *proxy* para o capital humano será construída a partir das despesas correntes do Ministério da Educação. O modelo ARDL é utilizado para analisar a relação dinâmica entre o capital humano e o crescimento econômico. A especificação básica do modelo contempla duas variáveis principais, o PIB per capita (crescimento econômico) e o capital humano per capita (*proxy* pelas despesas de educação). Esse modelo permitirá capturar a relação de curto e longo prazo por meio da estimação do ARDL, teste de cointegração e do Modelo de Correção de Erros (ECM).

O estudo está dividido em cinco seções, que incluem esta introdução e as considerações finais. A segunda seção apresenta uma revisão bibliográfica focada na teoria do capital humano, modelos de crescimento e capital humano relacionado ao crescimento econômico a partir de modelos endógenos, além de uma bibliometria. Na terceira seção, a metodologia é descrita, incluindo a base

de dados, o modelo AK e o modelo ARDL. Na quarta seção, são analisados os resultados com dados do Brasil. Por fim, na quinta seção são apresentadas as considerações finais.

2.2 Revisão da Literatura

Nesta seção serão apresentadas as fontes bibliográficas que fundamentam a análise deste trabalho. Serão analisadas as contribuições teóricas a respeito da teoria do capital humano e formas de investimento, assim como a construção do modelo de crescimento endógeno AK e contribuições empíricas do efeito do capital humano no crescimento econômico a partir de dados e pesquisas aplicadas.

2.2.1 Teoria do Capital Humano

O conceito de capital humano foi inicialmente desenvolvido na década de 1960, com o surgimento da teoria do capital humano formalizada com as contribuições de (SCHULTZ, Theodore W, 1961) e (BECKER, 1964). Ambos estavam interessados em encontrar uma forma de definir, contabilizar e apontar as variáveis formadoras e influenciadoras do capital humano. O primeiro analisou as despesas com a educação como forma de investimento, enquanto o segundo desenvolveu uma teoria da formação de capital humano e analisou a taxa de retorno do investimento na educação e na formação.

Os economistas tratavam a produtividade marginal como proveniente de habilidades inatas e desconexas ao capital, não levando em consideração que as pessoas investem em si mesmas e que trocam tempo de lazer para melhorar suas capacidades técnicas e expandir conhecimentos (SCHULTZ, Theodore W, 1971). Para (SCHULTZ, Theodore W, 1971), isso estava atrelado à dificuldade desses economistas de associar seres humanos como bens de capital, uma vez que acreditavam reduzir o homem, mais uma vez, a um componente material, colocando em risco sua liberdade. (MILL, 1909) observou que a riqueza só poderia beneficiar outras pessoas. Em contrapartida, (SCHULTZ, Theodore W., 1964) ressalta que o autoinvestimento faz com que as pessoas aumentem suas possibilidades de escolhas e, consequentemente, o bem-estar. Por conta disso, o investimento nos seres humanos era raramente incorporado ao núcleo formal da ciência econômica.

O capital humano também pode ser definido como um ativo intangível, não pertencente ao balanço patrimonial de uma empresa, classificado como o valor econômico da experiência e das habilidades de um trabalhador. Tem como principal propulsor a educação e incentiva o crescimento econômico. O investimento a nível individual dos trabalhadores faz com que as empresas ganhem produtividade. Ela está relacionada ao nível de instrução dos trabalhadores; sendo assim, a construção de pensamento crítico e alfabetização podem aumentar a produtividade de uma economia (WIDARNI; BAWONO, 2021).

Capital humano e habilidades muitas vezes são tratados como sinônimos, no entanto, são conceitos distintos, embora relacionados, onde a habilidade consiste na capacidade de executar de forma bem-sucedida determinada atividade e dominar técnicas (TEXEIRA, 2002). Pode ser adquirida através da educação formal ou através do learning by doing. Sendo assim, dependem de investimentos tangíveis, como em educação e formação, e intangíveis, através da experiência. O conceito de habilidade é ligado a capital humano, conhecimento e tecnologia, em que por um lado, as habilidades podem ser consideradas públicas, por outro, o capital humano é visto como um bem privado (TEXEIRA, 2002). A equivalência entre os dois se daria, então, por parte da tangibilidade dos respectivos componentes. O capital humano não pode crescer sem limites, mas as habilidades adquiridas e empregadas no uso da produção podem continuar gerando valor ao capital (TEXEIRA, 2002). Como proxy para capital humano e habilidade, os destaques são para medidas de escolaridade, indicadores de ganhos e salários, e redes ocupacionais para distinguir

entre trabalhadores qualificados e não qualificados (TEXEIRA, 2002).

Apesar de um componente extremamente importante, é destacada a dificuldade de mensuração do capital humano. (SCHULTZ, Theodore W, 1971) destaca 5 categorias, das quais faz sentido para esse trabalho citar: despesas com saúde, ou seja, gastos relacionados à expectativa de vida; e educação, a qual é o objetivo de análise deste trabalho. Das atividades sanitárias relacionadas à saúde, destaca-se a alimentação adicional e uma moradia melhor, principalmente em países subdesenvolvidos. Em países pobres, uma alimentação extra tem potencial de se transformar em “bem produtor” até o ponto em que o incremento de mais alimento é apenas consumo. De forma análoga, isso acontece com vestuário e habitação (SCHULTZ, Theodore W, 1971).

Sobre o rendimento em relação à educação, mesmo os mais baixos limites das estimativas entre o estoque de educação na força de trabalho comparado ao estoque de capital não humano mostram que ambos caminham de forma semelhante (SCHULTZ, Theodore W, 1971). Apesar de uma parte do custo com educação ser consumo, isso altera apenas a taxa de rendimento, mas não o rendimento total (SCHULTZ, Theodore W, 1971). O consumo, nesse sentido, é visto como parte da educação, que possui a característica de melhorar a qualidade do consumo dos estudantes ao longo da vida (SCHULTZ, Theodore W, 1971).

A educação e o treinamento são formas de investimento em capital, onde os custos, como taxas de matrícula e tempo gasto aprendendo, são compensados por benefícios futuros na forma de salários mais altos (BECKER, 1964). Esse retorno do investimento ocorre pelo aumento da produtividade e pela ampliação das oportunidades de emprego (BECKER, 1964). As diferenças nos ganhos entre indivíduos podem ser explicadas pelas diferenças na quantidade de capital humano adquirida (BECKER, 1964). O investimento no próprio capital humano gera benefícios diretos, além de benefícios sociais, como taxas de criminalidade reduzidas, maior participação cívica e crescimento econômico geral (BECKER, 1964).

Segundo (HANUSHEK, 2013), macroeconomistas buscaram explicar as diferenças nas taxas de crescimento no mundo e identificar fatores responsáveis por grandes disparidades. Essa análise considerou variáveis incluídas e aquelas que poderiam estar sendo omitidas, enviesando o resultado (HANUSHEK, 2013). A modelagem e mensuração do capital humano foram incorporadas a esse processo, evidenciando a importância dessa abordagem para a análise de crescimento (HANUSHEK, 2013). Destacam-se as contribuições de Mincer (1970, 1974), cuja ideia central indicava que os diferenciais salariais poderiam ser significativamente explicados pelo desempenho escolar (MINCER, J. A., 1974). A partir disso, a escolaridade tornou-se uma variável proxy para o capital humano (MINCER, J. A., 1974). No entanto, em um cenário internacional, tal medida apresenta limitações comparativas, pois pressupõe que as escolas possuem o mesmo nível qualitativo na transmissão de conhecimento e estrutura (HANUSHEK, 2013). Na prática, apenas a medição da conclusão escolar seria considerada (HANUSHEK, 2013).

A falta de consenso na literatura sobre a medida mais apropriada do capital humano e a modelagem adequada não pode ser resolvida sem um acordo sobre qual métrica utilizar (ZHANG; WANG, 2021). Medidas alternativas geraram resultados distintos e conflitantes (ZHANG; WANG, 2021). Indicadores como taxas de matrícula escolar por nível de escolaridade, taxas de alfabetização e anos médios de educação captam apenas os componentes formais, sem refletir a qualidade dos investimentos em capital humano (ZHANG; WANG, 2021).

O trabalho de (MINCER, J. A., 1974) foi utilizado por (MANUELLI; SESHADE, 2014) como referência para a medição do capital humano, no qual as estimativas da taxa de retorno da escolaridade são empregadas para quantificar o estoque de capital humano de cada país (MANUELLI; SESHADE, 2014). O método pressupõe que a contribuição marginal para a produção de um ano adicional de escolaridade equivale à taxa de retorno (MANUELLI; SESHADE, 2014). Um problema relevante nesse contexto é a qualidade na comparação entre países, dado que diferenças em anos de escolaridade não são medidas perfeitas (MANUELLI; SESHADE, 2014).

A partir dos estudos de (BECKER, 1964) e (BEN-PORATH, 1967), um modelo foi elaborado como parte de um problema de maximização de utilidade (BEN-PORATH, 1967). A proposta é que cada indivíduo escolha a duração do período escolar, identificado como medida de capital humano, além da quantidade de capital humano adquirida por meio da escolaridade e da capacitação pós-escolar, como parâmetro de qualidade (BECKER, 1964). Destaca-se, ainda, a importância do desenvolvimento do capital humano na primeira infância, onde uma unidade adicional de investimento no início da vida gera impactos significativos ao longo do ciclo de vida do indivíduo (BEN-PORATH, 1967).

2.2.2 Modelos de Crescimento Econômico

Entre as décadas de 1960 e 1970, a literatura sobre crescimento econômico expandiu-se baseada nas ideias propostas por (SOLOW, Robert M, 1956a). No entanto, aspectos como mudanças tecnológicas e o papel do capital humano receberam atenção limitada nas pesquisas sobre desenvolvimento e crescimento econômico. Foi somente nos anos 1980, com os trabalhos de (ROMER, Paul M, 1986) e (LUCAS, R. E., 1988), que esses fatores ganharam destaque na literatura. Romer introduziu o conceito de conhecimento como um bem não rival e gerador de externalidades positivas, enquanto Lucas destacou o papel do capital humano e da aprendizagem no processo de crescimento.

O crescimento econômico deve ser entendido como o aumento da capacidade produtiva de uma economia, geralmente medido pela expansão da oferta agregada (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004). Em contraste, o desenvolvimento econômico é um processo mais amplo de transformação estrutural, que promove melhorias no bem-estar da população (TODARO; SMITH, 2017). Embora o desenvolvimento envolva o crescimento econômico, os dois conceitos não são sinônimos.

As medidas utilizadas para avaliar o desenvolvimento econômico são tanto qualitativas quanto quantitativas. Entre elas, destacam-se o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), a taxa de alfabetização, a taxa de mortalidade infantil e o coeficiente de Gini, o qual mede a desigualdade de renda. Por outro lado, o crescimento econômico é frequentemente avaliado com base em indicadores como a taxa de investimento, a taxa de poupança, o nível de exportações, o Produto Interno Bruto (PIB) e o PIB per capita (MANKIW et al., 1992). O crescimento econômico está ligado ao aumento contínuo e sustentado do produto (PIB), e a função de produção é considerada um instrumento para a análise de como os fatores de produção — capital e trabalho — se combinam para gerar riqueza (ACEMOGLU, 2009).

Modelo de Solow

A análise do Modelo AK começou com o modelo neoclássico de crescimento, desenvolvido por (SOLOW, Robert M, 1956a) e (SWAN, 1956). Embora ambos os economistas tenham chegado a conclusões semelhantes, foi Solow quem recebeu maior notoriedade. Na década de 1980, economistas propuseram rebatizar o modelo de Solow como modelo Solow-Swan, em reconhecimento à contribuição de ambos. Sendo assim, faz-se necessária uma comparação entre o principal modelo de crescimento exógeno (Solow-Swan) e o modelo AK, que representa um exemplo simples de modelo de crescimento endógeno.

O modelo de Solow-Swan demonstra como a poupança e o crescimento populacional afetam o crescimento econômico. Vale lembrar que, tanto nos estudos econômicos quanto nas ciências em geral, um modelo é uma simplificação da realidade, uma representação matemática que aproxima aspectos específicos a serem analisados. O modelo básico de Solow-Swan é composto essencialmente por dois blocos: uma função de produção e uma equação de acumulação de capital. A função de produção descreve como os fatores de produção — capital (K) e trabalho (L) — são combinados para gerar o produto (Y).

$$Y = F(K, L) \quad (2.1)$$

A literatura econômica sobre o tema utiliza com frequência uma função de produção característica, a função de produção Cobb-Douglas, representada por:

$$Y = AF(K, L) = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (2.2)$$

No qual:

- A representa o nível de tecnologia (um fator exógeno no modelo de Solow);
- α é um número entre 0 e 1, que indica a elasticidade do produto em relação ao capital;
- K é o capital;
- L é a força de trabalho.

Essa é uma função neoclássica de produção. O termo neoclássica refere-se a um conjunto de hipóteses derivadas do pensamento econômico clássico, conforme desenvolvido por economistas como (SMITH, 1776) e (MARSHALL, 2013). Entre as principais hipóteses do modelo neoclássico estão:

- Intercambialidade de fatores de produção: refere-se à capacidade de troca ou substituição entre capital e trabalho sem perda significativa de função, eficácia ou qualidade. Na função neoclássica, os fatores são substituíveis em algum grau. Isso significa que é possível aumentar o uso de um para compensar a diminuição de outro mantendo a produção no mesmo nível.
- Produtos marginais decrescentes (PMgK e PMgL): à medida que se adiciona mais de um fator de produção, mantendo os outros constantes, o produto marginal desse fator diminui.
- Retornos constantes de escala: assume-se que, se todos os fatores de produção aumentarem na mesma proporção, o produto também aumentará na mesma proporção.

$$F(\alpha K, \alpha L) = \alpha Y \quad (2.3)$$

Para qualquer $\alpha > 1$, a função que apresenta retornos constantes de escala.

No longo prazo, o modelo apresenta problemas, em que o estado estacionário representa o equilíbrio de longo prazo; o capital por trabalhador e o produto por trabalhador se estabilizam, e o crescimento se dá apenas pela variação da taxa de crescimento populacional (ROMER, Paul M, 1986). Porém, não existe mais crescimento da produtividade total de fatores (PTF) a menos que haja progresso tecnológico. Dessa maneira, o modelo básico de Solow, diante do estado estacionário, não apresenta crescimento per capita; isto é, o produto por trabalhador y ou Y/L é constante (ROMER, Paul M, 1986).

Portanto, enquanto o modelo de Solow é uma excelente ferramenta para entender os determinantes básicos do crescimento econômico, apresenta limitações ao lidar com as dinâmicas de longo prazo, especialmente em relação ao progresso tecnológico e ao papel do capital humano (ROMER, Paul M, 1986). O conceito de estado estacionário aponta para a necessidade de avanços no modelo, que foram explorados por teorias mais recentes, como os modelos de crescimento endógeno, oferecendo uma visão mais abrangente dos determinantes do crescimento sustentado (ROMER, Paul M, 1986).

Modelo Endógeno

Modelos mais recentes, como o modelo AK e outros modelos de crescimento endógeno, criticam essa visão e introduzem mecanismos internos que possibilitam um crescimento contínuo, sem a necessidade de progresso tecnológico exógeno. (ROMER, Paul M, 1986) e (LUCAS, R. E., 1988) sugerem que o capital humano e a inovação tecnológica endógena desempenham um papel vital no crescimento de longo prazo. Ao incorporar o capital humano e a Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), esses modelos reconhecem que os retornos sobre o investimento em

capital, quando associados à acumulação de conhecimento, podem evitar a estagnação em um estado estacionário (ACEMOGLU, 2009; HOWITT; AGHION, 1998).

Além disso, o modelo de Solow, em sua forma básica, não trata adequadamente as externalidades decorrentes do capital humano e da inovação, fatores determinantes para entender o motivo pelo qual algumas economias experimentam crescimento contínuo, enquanto outras permanecem em um estado estacionário (ACEMOGLU, 2009). Trabalhos como o de (MANKIW et al., 1992) e (JONES; VOLLRATH, 2013) sugerem que a inclusão do capital humano no modelo neoclássico oferece uma melhor correspondência com os dados empíricos e enfatiza a importância das variáveis educacionais e tecnológicas para o crescimento econômico sustentável .

A introdução do progresso tecnológico como exógeno é considerada irrealista e uma das maiores limitações do modelo. Conforme apontado por (ACEMOGLU, 2009) e (JONES, 2020), o modelo de Solow não fornece uma explicação clara de como a tecnologia evolui, sugerindo apenas que A cresce a uma taxa constante. Além disso, o modelo não explora as fontes desse progresso, ignorando as forças econômicas, sociais e institucionais que efetivamente impulsionam a inovação e o avanço tecnológico (ACEMOGLU, 2009).

A ideia de que o progresso tecnológico é uma condição necessária para o crescimento econômico sustentado foi amplamente aceita, mas os economistas continuam a debater a melhor maneira de modelar suas causas e efeitos. Em (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004) apontam que o progresso tecnológico pode ser influenciado por fatores como educação, infraestrutura de inovação e políticas governamentais, demonstrando ser muito mais complexo do que a suposição exógena do modelo de Solow sugere. No contexto em questão, políticas voltadas ao incentivo ao investimento em capital físico e humano são fundamentais para impulsionar o crescimento econômico (HOWITT; AGHION, 1998).

Diante do exposto, os modelos de crescimento endógeno oferecem uma alternativa ao tratar o crescimento como um processo impulsionado por fatores internos à economia (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004). No modelo AK, a taxa de retorno do capital é constante, o que permite que o crescimento seja sustentado por um processo contínuo de acumulação de capital (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004). Esses modelos indicam que políticas governamentais podem ter efeitos duradouros sobre o crescimento econômico, ao promover a P&D, o investimento em educação e a formação de capital humano.

Nesse contexto, e considerando que o modelo AK não supõe, como o de Solow, que os mercados sejam perfeitamente competitivos, a relação entre inovação e patente torna-se importante. O sistema legal segue um ordenamento jurídico que protege as inovações das empresas, garantindo-lhes direitos exclusivos temporários de exploração econômica sobre suas invenções. Essa proteção incentiva as empresas a investir em P&D, na medida em que as patentes criam uma barreira à concorrência por um período, permitindo que os inovadores capturem os retornos financeiros dos investimentos. Assim, as patentes contribuem para a maximização dos lucros das empresas inovadoras e promovem o progresso tecnológico, ao proporcionar um ambiente favorável ao desenvolvimento de novas tecnologias.

2.2.3 Capital Humano e Crescimento Econômico

Diversos trabalhos se propuseram a analisar a relação entre capital humano e crescimento econômico para entender em que medida o capital humano pode explicar o crescimento. O desafio está em encontrar a proxy para capital humano que melhor explique o modelo. São utilizadas diversas modelagens. Para séries temporais, há uma prevalência em usar Vetores Autorregressivos e o teste de cointegração de Johansen. Já para dados em painel, pode-se destacar os métodos de Mínimos Quadrados Ordinários, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios.

Os efeitos do capital humano na China foram analisados por (FLEISHER et al., 2010) com o objetivo de compreender a desigualdade regional e o crescimento econômico. Dessa forma,

os trabalhadores com níveis mais altos de escolaridade são mais produtivos, evidência que foi encontrada ao analisar dados de empresas (FLEISHER et al., 2010). Além disso, ao considerar o ensino superior, verificou-se um aumento na produtividade dos fatores, pois isso facilita o desenvolvimento e a adaptação de novas tecnologias (FLEISHER et al., 2010). Para avaliar esse impacto, incorporou o capital humano na função de produção, utilizando dados agregados e os argumentos apresentados anteriormente para analisar o efeito na produção e no crescimento (FLEISHER et al., 2010).

Um modelo endógeno para Portugal foi proposto por (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004), onde investigam a relação entre capital humano, inovação e crescimento para Portugal no período de 1960 a 2001, com estimativas de análise vetorial autorregressiva e de cointegração, já que as variáveis não eram estacionárias. Como *proxy* de capital humano, foi utilizada a média de anos de escolaridade da população em idade ativa (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004). O estoque de capital humano foi aproximado com base nos gastos internos em investimento e desenvolvimento das empresas (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004). Como resultado, a estimativa mostrou que a produtividade em Portugal se beneficiou mais do capital humano do que dos investimentos em inovação (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004). Além disso, os resultados obtidos demonstram que a elasticidade da produtividade total dos fatores em relação ao estoque interno de conhecimento é maior para níveis mais altos de escolaridade da população (TEIXEIRA; FORTUNA, 2004).

Utilizando o mesmo método, (KEJI, 2021) investigou o capital humano e o crescimento econômico na Nigéria para testar as relações de curto e longo prazo das variáveis no modelo. O período analisado foi de 1981 a 2017, e a *proxy* para capital humano foi o número de matrículas (KEJI, 2021). O resultado obtido foi que os coeficientes estimados de capital humano têm efeito significativo no longo prazo no crescimento econômico do país, reforçando a necessidade de aumentar a alocação orçamentária para educação e saúde (KEJI, 2021).

Já (TEIXEIRA; QUEIRÓS, 2016) avaliaram como capital humano e especialização produtiva são importantes para o crescimento econômico e o efeito dessa interação na mudança estrutural utilizando um modelo de crescimento que integra variáveis do lado da oferta, ligadas à teoria do crescimento endógeno, e da demanda, ligadas a abordagens estruturais e evolutivas, através de dados em painel (TEIXEIRA; QUEIRÓS, 2016). O resultado da análise depende do país e do período observado (TEIXEIRA; QUEIRÓS, 2016). Para países mais desenvolvidos da OCDE, o efeito foi positivo para a interação entre capital humano e mudança estrutural no período de 1960-2011 (TEIXEIRA; QUEIRÓS, 2016). Incluídos países em transição e mediterrâneos no período de 1990-2011, o capital humano impacta significativa e positivamente no crescimento econômico dos países, mas o efeito do capital humano por meio da especialização em atividades de alta tecnologia e intensivas em conhecimento é negativo, dado por uma falta de estrutura que adeque um alto conhecimento (TEIXEIRA; QUEIRÓS, 2016).

O impacto do capital humano no crescimento em Pequim foi observado por (HOU; WANG, 2015) através da análise de regressão no período de 1993 a 2013. O objetivo dessa análise, considerando que Pequim é a cidade na China com o maior número de capital humano, é orientar o desenvolvimento de políticas relevantes (HOU; WANG, 2015). Para o capital humano, foi utilizada a abordagem JF, desenvolvida por Jorgenson e Fraumeni, que considera também o nível de escolaridade, anos de educação, saúde e experiências (HOU; WANG, 2015). O trabalho tem como resultado que, dada a tendência encontrada para o período, o investimento em capital humano para estimular o crescimento econômico é mais expressivo do que o investimento em capital físico (HOU; WANG, 2015). Sendo assim, foi sugerida a manutenção do capital físico e o aumento do investimento em capital humano, a fim de garantir estabilidade (HOU; WANG, 2015).

Ao destacar que a educação promove inovação tecnológica e qualifica a mão de obra dos trabalhadores, (WIDARNI; BAWONO, 2021) realizaram um estudo de caso para a Indonésia no período de 1984 a 2019, a fim de entender a relação entre capital humano, tecnologia e crescimento

econômico por meio do *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) com cointegração (WIDARNI; BAWONO, 2021). A justificativa é que o método pode captar o efeito da variável dependente e da variável independente ao longo do tempo, bem como a influência do passado (WIDARNI; BAWONO, 2021). A abordagem é utilizada, então, para examinar a relação de longo prazo entre o crescimento econômico e os determinantes, bem como para determinar o impacto dos recursos humanos e da tecnologia no crescimento econômico tanto no longo quanto no curto prazo (WIDARNI; BAWONO, 2021).

A vantagem do modelo ARDL é não enviesado e eficiente, pois pode ser usado com uma amostra pequena (WIDARNI; BAWONO, 2021). A *proxy* para capital humano é o serviço de educação (WIDARNI; BAWONO, 2021). O resultado obtido foi que o capital humano possui um efeito positivo no crescimento econômico da Indonésia no longo prazo, ou seja, a participação da educação e a qualidade dos serviços educacionais têm um efeito positivo no crescimento econômico de longo prazo (WIDARNI; BAWONO, 2021). Sendo assim, a educação é importante no desenvolvimento econômico (WIDARNI; BAWONO, 2021). Já no curto prazo, o efeito é negativo e insignificante, o que é justificado pelo tempo necessário para que o investimento em capital humano de fato interfira no desempenho (WIDARNI; BAWONO, 2021).

Um dos principais objetivos de (DUAN et al., 2022) era fornecer evidências empíricas que sustentassem a literatura teórica sobre a correlação entre o Índice de Desenvolvimento do Capital Humano – pouco utilizado – e o crescimento econômico, ao analisar o papel do capital humano, da liberdade econômica e do desempenho da governança no crescimento econômico dos BRICS (DUAN et al., 2022). Para isso, foram realizados diversos testes utilizando métodos de mínimos quadrados, efeitos fixos e efeitos aleatórios (DUAN et al., 2022). Os dados coletados foram do período de 2000 a 2018, para os países China, Índia, Rússia, Brasil e África do Sul (DUAN et al., 2022). O capital humano foi medido por meio do índice de capital humano (HCI) das Penn World Tables v9.1 da Universidade da Pensilvânia, baseado em dados de anos de estudo e na taxa de retorno médio (DUAN et al., 2022). Como resultado, destaca-se o fato de que a relação entre capital humano e crescimento econômico não é linear no longo prazo, mas em forma de U invertido (DUAN et al., 2022). Sendo assim, o capital humano tem um efeito positivo sobre o crescimento econômico apenas em um determinado período de tempo (DUAN et al., 2022). O capital humano desempenha um papel positivo nos estágios iniciais do crescimento econômico dos BRICS (DUAN et al., 2022).

2.2.4 Modelo AK e ARDL

A premissa central do modelo AK é que, ao contrário da abordagem neoclássica, os retornos ao capital não são decrescentes. Isso permite que investimentos contínuos em capital físico sustentem o crescimento de longo prazo. Nesse contexto, modelos econométricos desempenham papéis cruciais na validação empírica das premissas dos modelos de crescimento econômico, cada um ao explorar diferentes aspectos da teoria econômica.

O modelo ARDL, amplamente utilizado para analisar relações entre variáveis econômicas, tanto de curto quanto de longo prazo, apresenta-se como uma metodologia alinhada ao modelo AK, ao permitir a exploração da influência acumulativa do capital humano e físico no crescimento econômico. A principal contribuição do ARDL reside na capacidade de capturar a cointegração entre variáveis, mesmo com diferentes níveis de integração ($I(0)$ ou $I(1)$), tornando-o ideal para investigações sobre dinâmicas de crescimento em economias em desenvolvimento. No estudo de (WEGARI et al., 2023), o ARDL é utilizado para analisar os impactos de variáveis relacionadas ao capital humano, como gastos em educação e saúde, no crescimento econômico da Etiópia. A abordagem evidencia que investimentos em capital humano geram benefícios tanto no curto quanto no longo prazo, sustentando os pressupostos do modelo AK (WEGARI et al., 2023). A aplicação de testes de raiz unitária para verificar a estacionariedade das variáveis reforça a robustez da análise,

permitindo estimativas precisas das relações dinâmicas entre o capital humano e o PIB (WEGARI et al., 2023). Os resultados do ARDL corroboram o modelo AK ao demonstrar que políticas voltadas ao fortalecimento do capital humano não apenas impulsionam o crescimento de curto prazo, mas também consolidam bases para trajetórias sustentáveis de longo prazo (WEGARI et al., 2023). A capacidade do ARDL de diferenciar impactos imediatos de efeitos acumulados ressalta sua utilidade para análises que buscam validar empiricamente teorias de crescimento econômico (WEGARI et al., 2023). Por outro lado, o VAR e sua variante estrutural, o SVAR, oferecem uma abordagem mais dinâmica para investigar as interações entre variáveis econômicas ao longo do tempo (WEGARI et al., 2023).

Na pesquisa de (ANETOR, 2020), o SVAR é utilizado para explorar como choques em capital físico, humano e financeiro afetam o crescimento econômico em horizontes temporais variados. Instrumentos como as funções de resposta ao impulso (IRF) e a decomposição da variância do erro de previsão (FEVD) permitem mapear o impacto de choques em variáveis como o PIB, oferecendo insights sobre a dinâmica intertemporal prevista pelo modelo AK (ANETOR, 2020). Embora o VAR não seja projetado para distinguir diretamente entre efeitos de curto e longo prazo, sua flexibilidade em capturar interações dinâmicas entre variáveis, sem impor causalidades exógenas, permite validar empiricamente os fundamentos do modelo AK (ANETOR, 2020). Com o uso do modelo VAR, (MOHAMED ALI; ASFOUR, 2024) investiga a relação entre educação e crescimento econômico, demonstrando que choques em capital humano impulsionam a produtividade e atuam como catalisadores do crescimento sustentado (MOHAMED ALI; ASFOUR, 2024).

Apesar das diferenças metodológicas, tanto o ARDL quanto o VAR convergem ao destacar a relevância do capital humano e físico para o crescimento econômico no contexto do modelo AK. Enquanto o modelo VAR se destacou na análise de choques ao longo do tempo e das interações dinâmicas entre as variáveis, o ARDL mostrou-se mais adequado para captar relações de cointegração e para distinguir os efeitos de curto e longo prazo. Por isso, considerou-se que foi uma escolha apropriada nas análises de crescimento econômico que buscaram testar empiricamente os fundamentos do modelo AK.

Os estudos analisados reforçam que tanto o ARDL quanto o VAR são métodos econométricos complementares na validação dos fundamentos do modelo AK. O VAR proporciona uma visão dinâmica das respostas a choques econômicos, alinhando-se às premissas do modelo AK. Por sua vez, o ARDL investiga as relações de curto e longo prazo, destacando a importância de políticas que promovam a acumulação de capital humano e físico, evidenciando os impactos sustentáveis no crescimento econômico.

2.2.5 Bibliometria

A bibliometria pode ser definida como uma ferramenta estatística para gestão de informação e conhecimento (GUEDES; BORSCHIVER, 2005). Tem como objetivo resumir grandes quantidades de dados bibliométricos para apresentar o estado da estrutura intelectual e as tendências emergentes de um tópico ou campo de pesquisa (DONTHU et al., 2021) e investigar a relevância da temática a partir de métodos estatísticos e matemáticos (PRITCHARD, 1969).

Para esse trabalho foram utilizadas as palavras chaves “capital humano” e “crescimento econômico”, com os termos em inglês, de forma simultânea, na base de dados do “Web of Science” (WoS) no mês setembro 2024. Como resultado, obteve-se uma base de dados com um total de 4657 documentos no período de 1960 a 2024. Os dados foram inseridos no software R, utilizando o pacote Bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017). A Tabela 2.1 apresenta um compilado das principais informações encontradas pela bibliometria.

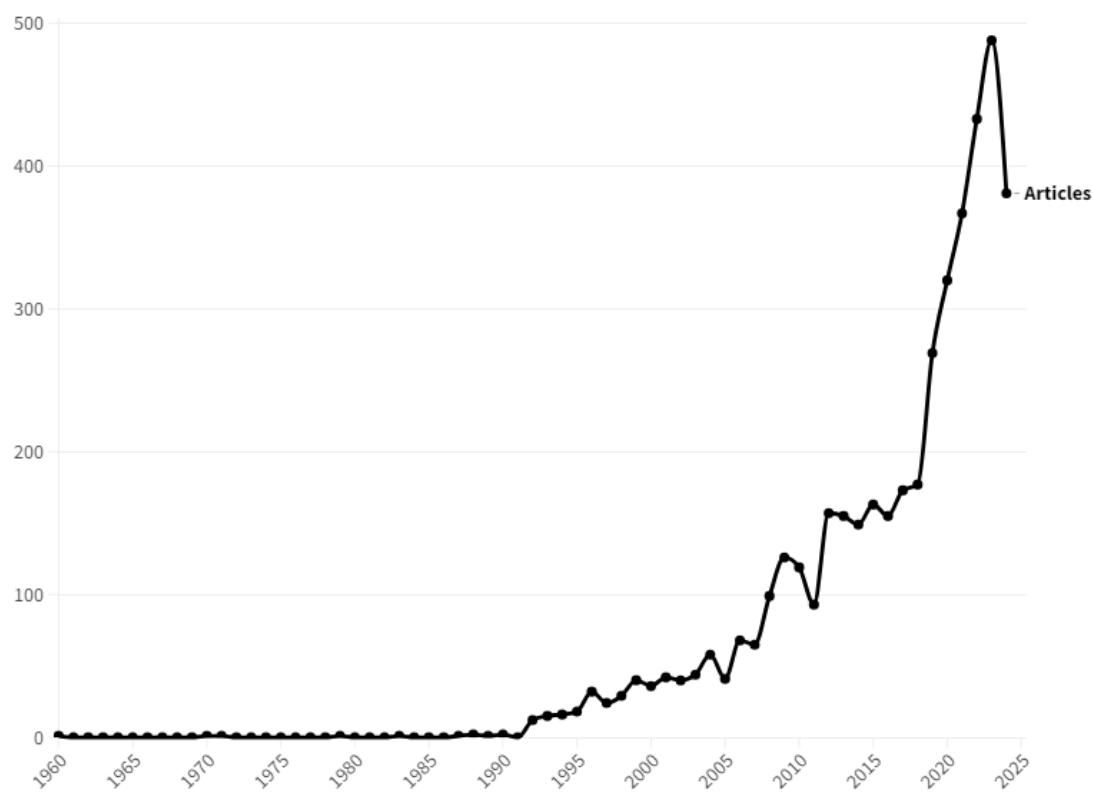
As publicações se iniciam de forma simultânea aos primeiros escritos sobre a Teoria do Capital Humano em 1960, como observado na Figura 2.1, e são amplamente propagadas até hoje, uma vez que os pesquisadores buscam melhorar as estimativas para a proxy de capital humano.

Tabela 2.1: Principais informações da bibliometria

Descrição	Resultados
Principais Informações sobre os dados	
Intervalo de tempo	1960:2024
Fontes (revistas,livros,etc.)	1469
Documentos	4415
Taxa de crescimento anual	9.73%
Idade Média do Documento	7.93
Idade média do documento	25.95
Conteúdo do Documento	
Palavras chaves adicionais (ID)	3153
Palavras-chave do autor (DE)	7249
Autores	
Autores	8857
Autores de documento de autoria única	992
Colaboração dos autores	
Documentos de autoria única	1131
Coautores por documento	2.43
Coautores internacionais	25.25%
Tipos de Documentos	
Artigo	3587
Livro	6
Artigo de Anais	518

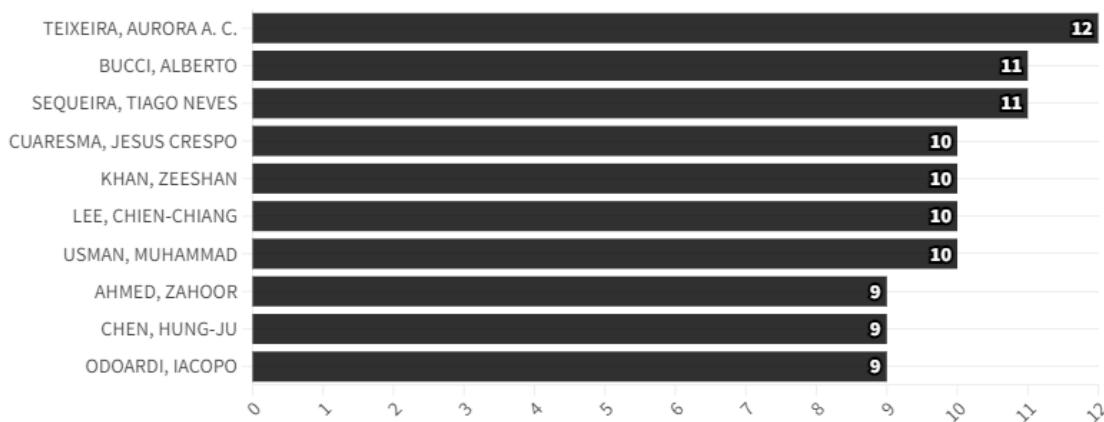
Fonte: WoS. Elaboração própria dos autores.

Figura 2.1: Produção Científica anual com base nos tópicos: “capital humano” e “crescimento econômico”



Fonte: WoS. Elaborado pelos autores 2024.

Figura 2.2: Publicações por autor com base nos tópicos: “capital humano” e “crescimento econômico”

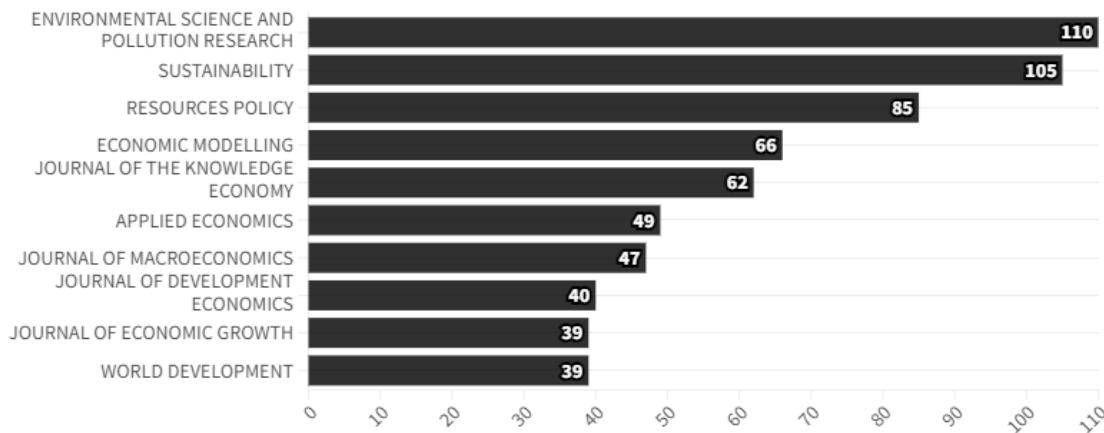


Fonte: WoS. Elaborado pelos autores 2024.

A Figura 2.2 mostra os autores que mais publicaram sobre capital humano e crescimento econômico de acordo com a base da Web of Science. A pesquisadora com o maior número de

publicações foi a professora titular na Universidade do Porto Aurora A. C. Teixeira.

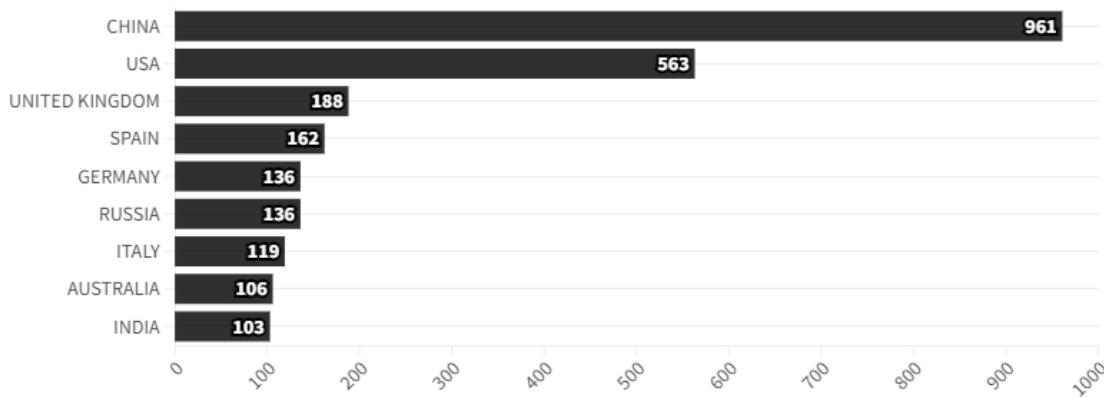
Figura 2.3: Publicações por revista com base nos tópicos: “capital humano” e “crescimento econômico”



Fonte: WoS. Elaborado pelos autores 2024.

A Figura 2.3 mostra as pesquisas com o maior número de publicações sobre a temática sendo a principal Environmental Science and Pollution Research com 110 publicações

Figura 2.4: Origem das pesquisas com base nos tópicos: “capital humano” e “crescimento econômico”



Fonte: WoS. Elaborado pelos autores 2024.

A Figura 2.4 mostra que as principais origens dos pesquisadores se dá principalmente da China e EUA, e países da América do Sul, como o Brasil possui apenas 23 publicações, o que reflete a importância desse artigo.

2.3 Metodologia

Nesta seção, apresentamos a metodologia adotada para investigar a relação entre o capital humano e o crescimento econômico no Brasil, com base no modelo AK e no Modelo de Autor-

regressão com Defasagens Distribuídas (ARDL). A abordagem permite estimar as relações de curto e longo prazo entre as variáveis, garantindo robustez na análise da dinâmica do crescimento econômico. Para isso, foram realizados testes de sazonalidade, tendência e estacionariedade das séries temporais. As variáveis utilizadas no modelo incluem o PIB per capita, uma *proxy* para o capital humano per capita e uma *proxy* para o capital físico per capita.

2.3.1 Descrição de base de dados

Os dados utilizados neste estudo são compostos por séries temporais referentes ao Produto Interno Bruto (PIB), ao Estoque Líquido de Capital Fixo (ELCF) e a Despesa Corrente (DC). As variáveis estão em nível e abrangem o período de 2014 a 2023. A seguir, descrevem-se as características e fontes de cada uma das variáveis supramencionadas.

1. Produto Interno Bruto (PIB)

O PIB mensal, utilizado como *proxy* para a atividade econômica, é uma estimativa de alta frequência elaborada pelo Banco Central do Brasil (BCB). Sua principal finalidade é possibilitar o cálculo de relações entre agregados econômicos mensais, como dívida pública e saldo de crédito, e o PIB. Essa estimativa é obtida por meio da interpolação de valores trimestrais oficialmente divulgados pelo IBGE ou projetados, não sendo resultado de um cálculo primário¹.

2. Estoque Líquido de Capital Fixo (ELCF)

O ELCF é uma variável importante para a análise da acumulação de capital e sua relação com o crescimento econômico. Sua estimativa baseia-se no acúmulo de fluxos de Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), ajustados pela inflação (deflacionados) e corrigidos pela depreciação. A depreciação, por sua vez, é calculada com base em taxas específicas e no tempo de vida útil dos bens de capital, conforme metodologia descrita no Texto para Discussão nº 2580 do IPEA. Para adequar os valores anuais à frequência mensal requerida na análise, foi empregada uma técnica de desagregação temporal, conforme descrito na Carta de Conjuntura nº 48 do IPEA².

3. Despesa Corrente (DC)

A despesa corrente refere-se à categoria de gastos do setor público destinada à manutenção de suas atividades, sendo parte integrante do Orçamento da Despesa da União. Esta categoria inclui despesas com vencimentos e encargos de pessoal, aquisição de bens e serviços, juros da dívida pública, e outras despesas operacionais. No contexto deste estudo, destaca-se a relevância das despesas correntes alocadas ao Ministério da Educação, que seguem a mesma classificação e abrangem custos associados à manutenção e funcionamento do sistema educacional público³.

Para representar as dinâmicas de crescimento das variáveis analisadas, optou-se pela utilização da taxa de variação mensal ao invés dos valores em nível. Essa abordagem permitiu capturar as mudanças proporcionais de um período para o outro, eliminando tendências de longo prazo e facilitando a interpretação das flutuações mensais. A taxa de variação foi calculada utilizando a fórmula:

$$TX = \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}} \quad (2.4)$$

No qual:

- X_t é o valor da variável no período atual;
- X_{t-1} é o valor da variável no período anterior;

¹Nota: O PIB oficial do Brasil, produzido pelo IBGE, é divulgado trimestralmente, enquanto o Banco Central disponibiliza séries mensais de outras variáveis econômicas. Assim, o PIB mensal serve para preencher essa lacuna analítica. Fonte: SGS - Sistema de Gerenciamento de Séries Temporais, Banco Central do Brasil.

²Fonte: Souza Júnior e Cornélio (2020), Estoque de Capital Fixo no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

³Fonte: Câmara dos Deputados e Orçamento Público Federal (Portal da Transparência).

- ΔX representa a variação relativa entre os períodos.

Por exemplo, no caso do PIB, a *taxa de variação mensal (TXPIB)* foi obtida conforme demonstrado abaixo:

$$TXPIB = \frac{PIB_t - PIB_{t-1}}{PIB_{t-1}} \quad (2.5)$$

Essa fórmula, amplamente utilizada em análises econômicas, é adequada para medir mudanças proporcionais e permite comparar séries temporais de diferentes escalas. A mesma lógica foi aplicada às outras variáveis, como Despesa Corrente (DC) e Estoque Líquido de Capital Fixo (ELCF).

A escolha pela taxa de variação foi motivada por vários fatores:

- Eliminação de Tendências: As variáveis econômicas frequentemente apresentam tendências de longo prazo, dificultando a análise dinâmica. A utilização da taxa de variação elimina esses efeitos, destacando as mudanças relativas de curto prazo.
- Facilidade de Interpretação: A taxa de variação fornece uma métrica clara para analisar o crescimento ou retração das variáveis em termos percentuais.
- Comparabilidade: Permite que variáveis com diferentes unidades ou escalas sejam comparadas diretamente, já que todas são expressas em termos relativos.

No contexto deste estudo, as taxas de variação foram utilizadas para identificar a dinâmica entre capital humano e crescimento econômico. A TXPIB reflete as flutuações econômicas mensais ao longo do período analisado, sendo indicador para capturar os movimentos da atividade econômica no Brasil. A TXELCF reflete o acúmulo líquido dos fluxos de formação bruta de capital fixo (FBCF), ajustados pela depreciação. É um indicador relevante da dinâmica dos investimentos em infraestrutura e capacidade produtiva da economia brasileira. Por sua vez, a TXDC representa as mudanças nas despesas correntes, oriundas do orçamento de despesa do Ministério da Educação, permitindo avaliar os efeitos de curto prazo na atividade econômica.

2.3.2 Modelo AK

O modelo AK pressupõe que o capital físico e o capital humano podem gerar retornos constantes, eliminando o conceito de estado estacionário e permitindo um crescimento per capita contínuo ao longo do tempo, sem a necessidade de um choque externo de tecnologia. De acordo com (REBELO, 1991), ao remover os retornos decrescentes ao capital, o modelo AK propicia uma explicação para o crescimento sustentável, fundamentada na acumulação contínua de capital.

Assim, o produto é diretamente proporcional ao estoque de capital total, ou seja, assume a função de produção na forma:

$$Y = AK \quad (2.6)$$

onde A é uma constante positiva que reflete a produtividade do capital e K é o capital acumulado. Considerando a função de produção Cobb Douglas:

$$Y = AF(K, L) = AK^\alpha L^{1-\alpha} \rightarrow Y = F(K, AL) = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} \quad (2.7)$$

Supondo que o coeficiente de tecnologia seja proporcional ao capital per capita,

$$A = \rho \frac{K}{L} = \rho k \quad (2.8)$$

Substituindo essa relação na equação 2.7,

$$Y = K^\alpha (\rho \frac{K}{L} L)^{1-\alpha} = \rho^{1-\alpha} K \quad (2.9)$$

Dessa forma, fica apresentado o modelo no qual o produto é linear ao capital físico e a taxa de crescimento do produto é igual a taxa de crescimento do capital.

Fazendo uso da equação da acumulação de capital físico, sem crescimento populacional, utilizada no modelo de Solow

$$\dot{K} = sY - \delta K \quad (2.10)$$

Origina-se que os agentes econômicos renunciam ao consumo e investem o montante correspondente, ou seja, pouparam parte do produto, onde s é a taxa de investimento e δ é a taxa de depreciação são constantes. Substituindo pela nova função de produção

$$\begin{aligned} \dot{K} &= sAK - \delta K \\ \frac{\dot{K}}{K} &= sA - \delta \end{aligned} \quad (2.11)$$

A taxa de crescimento do produto real será dada por:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = sA - \delta \quad (2.12)$$

Dependendo da taxa de poupança (ou taxa de investimento) s , da produtividade marginal do capital A e da taxa de depreciação do capital δ . E, uma característica desse modelo é que

$$PMgK = \frac{\partial Y}{\partial K} = A \rightarrow PMgK = PMeK \quad (2.13)$$

A função de produção não apresenta rendimentos marginais decrescentes para o capital e, assim, o produto marginal e o produto médio do capital são constantes.

No modelo AK, o capital é entendido de forma mais ampla. O capital K , da função, configura capital físico com a inclusão do capital humano (conjunto de habilidades e os anos de instrução acadêmica para um trabalhador individual) e o parâmetro A é o estoque de conhecimento, uma constante.

A cada aumento do capital físico, ocorre também um aumento do capital humano, ou seja, investir em capital significa aumentos no capital físico e aumentos no capital humano., impedindo reduções dos rendimentos marginais de capitais. No modelo de crescimento endógeno não existe diferenças entre o curto e longo prazo: não há uma dinâmica de transição, a economia encontra-se sempre no longo prazo.

2.3.3 Modelo Autorregressivo de Defasagem Distribuída (ARDL)

O modelo ARDL (PESARAN; SHIN et al., 1995; PESARAN; SHIN; SMITH, 2001), estimado usando mínimos quadrados ordinários (OLS), é um modelo linear que compreende dois componentes principais: a parte autorregressiva (AR) e as defasagens distribuídas (DL) das variáveis independentes. Na parte AR, a variável dependente é considerada na forma defasada, enquanto na parte DL, as variáveis independentes são incluídas nos níveis e formas defasadas. O modelo está

interessado na relação de longo prazo independente das variáveis serem I(0), I(1) ou uma combinação de ambas. Isso ajuda a evitar os problemas de pré-teste associados à análise de cointegração padrão, que requer a classificação das variáveis em I(0) e I(1) como é o caso do modelo VAR. Um nível ótimo de defasagens pode ser determinado para cada uma das variáveis do modelo ARDL.

A equação genérica do modelo ARDL é dada por:

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j x_{t-j} + \sum_{k=0}^r \delta_k z_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

No qual y_t é a variável dependente no tempo t , x_t e z_t são as variáveis explicativas no tempo t , α é o intercepto, β_i são os coeficientes das defasagens da variável dependente y_t , γ_j são os coeficientes das defasagens da variável explicativa x_t , δ_k são os coeficientes das defasagens da variável explicativa z_t , ε_t é o erro (resíduo), p é a ordem da defasagem de y_t , q é a ordem da defasagem de x_t , e r é a ordem da defasagem de z_t .

A especificação do modelo ARDL para os dados utilizados nesse trabalho são:

$$TXPIB = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i \cdot TXPIB_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j TXDC_{t-j} + \sum_{k=0}^r \delta_k \cdot TXELCF_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.15)$$

No qual $TXPIB$ é a variável dependente no tempo t , $TXDC$ e $TXELCF$ são as variáveis explicativas no tempo t , α é o intercepto, β_i são os coeficientes das defasagens da variável dependente $TXPIB$, γ_j são os coeficientes das defasagens da variável explicativa $TXDC$, δ_k são os coeficientes das defasagens da variável explicativa $TXELCF$, ε_t é o erro (resíduo), p é a ordem da defasagem de $TXPIB$, q é a ordem da defasagem de $TXDC$, e r é a ordem da defasagem de $TXELCF$.

A relação de cointegração é analisada para determinar se há associação entre as variáveis num equilíbrio de longo prazo. Sendo assim, para o teste de cointegração entre as variáveis regressoras para o modelo ARDL é aplicado o *Bound test*, que analisa essa relação independente dos regressores serem puramente I(0), I(1) ou ambos.

O *Bound test* possui como hipótese nula a não cointegração. A análise do teste é baseada na comparação da estatística F com os valores críticos de I(0) e I(1). Se a estatística F for maior que o valor crítico de I(1), isso indica a presença de cointegração. Por outro lado, se a estatística F for inferior ao valor crítico de I(0), isso sugere a ausência de cointegração. Quando o valor de F está entre os valores críticos de I(0) e I(1), o teste resulta em uma resultado inconclusivo, o que pode exigir a utilização de outro teste ou a coleta de mais informações para uma análise mais precisa.

Quando há cointegração entre as variáveis é necessário utilizar o Modelo de Correção de Erros (ECM) [Pesaran et al (1996b)] derivado do modelo ARDL por meio de uma transformação linear simples, que integra ajustes de curto prazo com equilíbrio de longo prazo sem perder informações de longo prazo. O ECM utiliza a primeira diferença da variável dependente, regredida nas primeiras defasagens das variáveis dependentes e independentes. Os regressores restantes no modelo consistem nas defasagens das primeiras diferenças das variáveis dependentes e independentes.

A equação genérica do modelo ECM é dada por:

$$\Delta y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j \Delta x_{t-j} + \sum_{k=0}^r \delta_k \Delta z_{t-k} + \lambda \cdot ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

No qual Δy_t , Δx_t , e Δz_t denotam as variações (Eq. 2.4) das variáveis utilizadas no presente modelo. ECM_{t-1} é o termo de erro de cointegração (obtido do modelo ARDL original), e λ é o coeficiente de ajuste que indica a velocidade de ajuste à relação de longo prazo.

O termo de erro de cointegração mede a relação entre curto e longo prazo, deve ser estatisticamente significativo, com sinal negativo confirmado a relação de equilíbrio no longo prazo. Caso contrário, o modelo é explosivo e não há convergência.

A especificação do modelo ECM para os dados utilizados nesse trabalho são:

$$\begin{aligned} \Delta TXPIB = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta TXPIB_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j \Delta TXDC_{t-j} \\ + \sum_{k=0}^r \delta_k \Delta TXELCF_{t-k} + \lambda \cdot ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.17) \end{aligned}$$

No qual $\Delta TXPIB$, $\Delta TXDC$, e $\Delta TXELCF$ são as variações das variáveis, ECM_{t-1} é o termo de erro de cointegração (obtido do modelo ARDL original), e λ é o coeficiente de ajuste que indica a velocidade de ajuste à relação de longo prazo.

2.4 Resultados

Cabe destacar que o período analisado está entre janeiro de 2014 a dezembro de 2023 e abrange quase uma década, esta marcada por mudanças econômicas, choques exógenos e políticas públicas. Para descrever o comportamento estatístico das variáveis foram utilizados as estatísticas de de média, mediana, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão e medidas de assimetria e curtose.

A média do PIB (Tabela 2.2) ao longo do período de janeiro de 2014 a dezembro de 2023 é de 630.215 bilhões de reais. Observa-se que a mediana (Tabela 2.2) é ligeiramente inferior com 582.906 bilhões de reais, sugerindo uma leve assimetria na distribuição dos valores. Isso pode ser corroborado pela análise da assimetria (tabela 2.3), que indica se a distribuição tende a ser mais concentrada à direita ou à esquerda da média. Os valores mínimo e máximo (tabela 2.2) registrados foram de 450.359 e 950.501 bilhões de reais, respectivamente. O desvio padrão (tabela 2.2) de 141.979 bilhões de reais reflete a variabilidade do PIB per capita ao longo do tempo, sendo um indicador da estabilidade ou flutuação do produto per capita.

No caso da despesa corrente, a média é de 9,611e+09 (9,611 bilhões de reais), a mediana, com valor de 9,299e+09 (9,299 bilhões de reais), indica que metade dos valores registrados foi inferior a este ponto, o que pode ser interpretado como o valor central típico da despesa de custeio na educação. Os valores mínimo e máximo foram de 2,734e+09 (2,734 bilhões de reais) e 1,825e+10 (18,25 bilhões de reais), respectivamente. O desvio padrão, de 2.715 bilhões de reais, sugere que a despesa corrente foi mais ou menos estável durante o período.

Tabela 2.2: Medidas de Posição e Dispersão das variáveis

	PIB	Despesa Corrente	ELCF
Mínimo	450.359	2,734e+09	9.829.846
1º Quartil	521.146	8,074e+09	10.026.123
Mediana	582.906	9,299e+09	10.061.054
Média	630.215	9,611e+09	10.064.568
3º Quartil	726.181	1,108e+10	10.106.452
Máximo	950.501	1,825e+10	10.200.184
Desvio-padrão	141.979,7	2.715.241.472	68.991,7

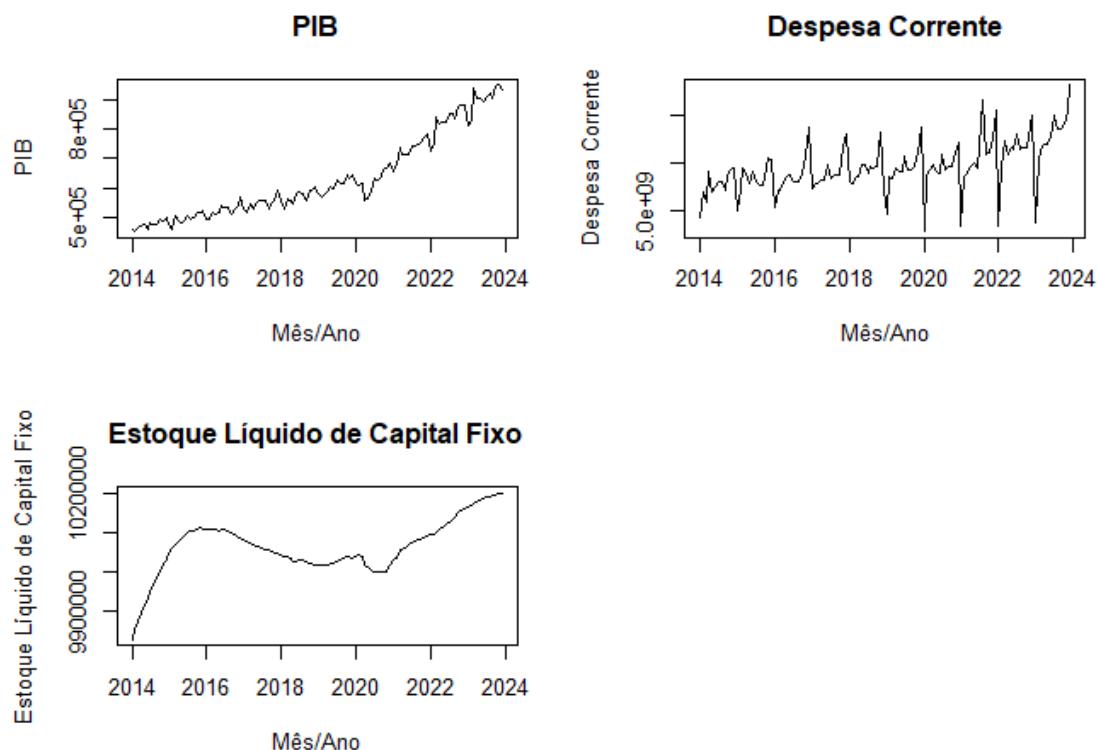
Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2.3: Medidas de Forma das variáveis

	PIB	Despesa Corrente	ELCF
Assimetria	0,834658	0,3066688	-0,4962342
Curtose	2,469087	3,851829	4,278879

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2.5: Séries Temporais



Fonte: Elaborado pelos autores.

O estoque líquido de capital físico apresentou uma média de 9.829 bilhões de reais, mostrando o valor médio de investimentos em infraestrutura e ativos fixos. A mediana, de 10.061 bilhões de reais, sugere que metade dos valores de investimento em capital físico estiveram abaixo desse valor, servindo como uma medida central da distribuição. Os valores mínimo e máximo para o estoque líquido de capital físico, foram de 9.829 bilhões de reais e 10.200 bilhões de reais, respectivamente e o desvio padrão de 68.991 bilhões de reais reflete a variabilidade desse investimento ao longo do tempo, o que pode ser interpretado como um indicador de estabilidade ou instabilidade nos aportes em capital físico.

2.4.1 Teste da Raiz Unitária

A análise de testes de raiz unitária é utilizada na compreensão do comportamento das séries temporais, especialmente em aplicações econômicas (vide (PHILLIPS; XIAO, 1998), (HLOUSKOVA; WAGNER, 2006) e (CAVALIERE; TAYLOR, 2007)). Esses testes são projetados para verificar se uma série temporal é estacionária ou não estacionária.

A estacionaridade é caracterizada por retornar um valor médio constante ao longo do tempo e com variância independente do tempo ((ENGLE; BOLLERSLEV, 1986)), enquanto uma série não estacionária exibe tendência de crescimento ou declínio sem retornar a um valor fixo, o que pode implicar um comportamento de *random walk*. Vale destacar que a não estacionariedade pode levar a resultados espúrios em análises econômicas, logo, identificar corretamente essa característica torna-se importante no processo de modelagem. O teste também averigua se as taxas de variação utilizadas no modelo são integradas de ordem zero ou um que é o requerido pelo modelo ARDL.

A Tabela 2.4 apresenta os resultados obtidos a partir de três métodos amplamente utilizados: o teste de Augmented Dickey-Fuller (ADF), o teste de Phillips-Perron (PP) e o teste Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin(KPSS). Esses testes foram aplicados às seguintes séries temporais: (i) PIB, (ii) TXPIB, (iii) DC, (iv) TXDC, (v) ELCF (estoque de capital físico) e (vi) TXELCF. Como pode ser visto, os resultados para a série PIB sugerem não estacionariedade nos testes ADF e PP, uma vez que os valores estatísticos (1,654 e 0,884, respectivamente) não ultrapassam os valores críticos em níveis convencionais.

O teste KPSS fornece um valor de 2,593, superior ao limite crítico de 1% (0,739), rejeitando a hipótese nula de estacionariedade. Portanto, conclui-se que a série PIB é não estacionária. Para a série TXPIB, os testes ADF e PP apresentam valores estatísticos de -2,4286 e -2,8995, que não permitem rejeitar a hipótese nula de raiz unitária ao nível de 5% (-2,88). O teste KPSS fornece um valor de 0,8594, acima do limite crítico de 5% (0,463), confirmando a rejeição da hipótese nula de estacionariedade. Assim, a série TXPIB também é considerada não estacionária. Por sua vez a série DC apresenta resultados semelhantes. Os valores estatísticos dos testes ADF (-1,943) e PP (-7,2106) não permitem rejeitar a hipótese de raiz unitária ao nível de 5%. Já o valor do teste KPSS (1,7049) ultrapassa o limite crítico, rejeitando a hipótese nula de estacionariedade. Portanto, a série DC (despesa corrente) também é não estacionária.

Tabela 2.4: Testes de raiz unitária

	ADF	PP	KPSS
<i>PIB</i>	1.654	0.884	2.593**
<i>TXPIB</i>	-2.4286	-2.8995	0.8594**
<i>DC</i>	-1.943	-7.2106	1.7049**
<i>TXDC</i>	-4.4792**	-10.6368**	0.183
<i>ELCP</i>	-1.4981	-3.0004	0.8217**
<i>TXELCP</i>	-3.1564**	-3.4418**	0.3896

Hipótese Nula: Possui raiz unitária (ADF e PP); Hipótese Nula: Estacionariedade (KPSS); Valores Críticos do testes ADF: 1% (-3.46), 5%(-2.88); Valores Críticos do testes PP: 1% (-3.49), 5%(-2.88); Valores Críticos do teste KPSS: 1% (0.739), 5%(0.463); ()(**) denota rejeição da hipótese nula a 1% (5%) de significância estatística*

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com as estatísticas apresentadas na Tabela 2.4, para a série TXDC, os valores estatísticos dos testes ADF (-4,4792) e PP (-10,6368) são significativamente menores que os valores críticos em qualquer nível convencional de significância. Isso permite rejeitar a hipótese nula de raiz unitária. O teste KPSS apresenta um valor de 0,183, inferior ao limite crítico de 5% (0,463), aceitando a hipótese de estacionariedade. Assim, a série TXDC é estacionária. No caso da série ELCP, os valores dos testes ADF (-1,4981) e PP (-3,0004) indicam que não é possível rejeitar a hipótese nula de raiz unitária ao nível de 5%. O valor do teste KPSS (0,8217) é superior ao limite

crítico de 5%, rejeitando a hipótese nula de estacionariedade. Conclui-se, portanto, que a série ELCP é não estacionária. Por fim, para a série TXELCP, os testes ADF (-3,1564) e PP (-3,4418) apresentam valores estatísticos que permitem rejeitar a hipótese de raiz unitária ao nível de 5% (-2,88). O teste KPSS fornece um valor de 0,3896, abaixo do limite crítico de 5%, aceitando a hipótese de estacionariedade. Assim, a série TXELCP é estacionária.

Dessa forma, os resultados mostram que as séries TXDC e TXELCP são estacionárias, enquanto as séries PIB, TXPIB, DC (despesa corrente) e ELCP apresentam comportamento não estacionário. Essas conclusões são consistentes com as características econômicas das variáveis analisadas, onde séries de taxas de variação tendem a ser estacionárias, enquanto séries de níveis frequentemente exibem tendências de longo prazo associadas ao crescimento econômico.

Tabela 2.5: Testes de raiz unitária para variáveis diferenciadas

	ADF	PP	KPSS
ΔPIB	-7.8165**	-15.4798**	0.2853
$\Delta TXPIB$	-5.9339**	-11.6896**	0.0522
$\Delta ELCF$	-3.0205**	-3.5964**	0.4412

Hipótese Nula: Possui raiz unitária (ADF e PP); Hipótese Nula: Estacionariedade (KPSS); Valores Críticos do testes ADF: 1% (-3.46), 5%(-2.88); Valores Críticos do testes PP: 1% (-3.49), 5%(-2.88); Valores Críticos do teste KPSS: 1% (0.739), 5%(0.463)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 2.5 apresenta os resultados dos testes de raiz unitária aplicados às variáveis diferenciadas ΔPIB (primeira diferença do PIB), $\Delta TXPIB$ (primeira diferença da taxa de variação do PIB) e $\Delta ELCF$ (primeira diferença do estoque líquido de capital fixo). Os testes utilizados foram o Dickey-Fuller Aumentado (ADF), o Phillips-Perron (PP) e o KPSS, permitindo avaliar a estacionariedade das séries após a diferenciação.

Os resultados mostram que, para a série ΔPIB , os valores estatísticos dos testes ADF (-7,8165) e PP (-15,4798) são significativamente menores que os valores críticos em todos os níveis convencionais de significância, rejeitando assim a hipótese nula de raiz unitária. O teste KPSS confirma essa conclusão, apresentando um valor estatístico de 0,0536, inferior ao valor crítico de 5% (0,463), o que permite aceitar a hipótese nula de estacionariedade. Dessa forma, conclui-se que a série ΔPIB é estacionária. Para a série $\Delta TXPIB$, os resultados são mistos. O teste ADF (5,9339) não rejeita a hipótese nula de raiz unitária, indicando que a série não é estacionária. No entanto, o teste PP (-11,6896) apresenta um valor estatístico significativamente menor que os valores críticos ao nível de 1%, rejeitando a hipótese nula de raiz unitária e sugerindo estacionariedade.

O teste KPSS, por sua vez, apresenta um valor estatístico de 0,0522, bem abaixo do limite crítico de 5% (0,463), aceitando a hipótese nula de estacionariedade. Essa divergência entre os testes ADF e PP sugere que a série $\Delta TXPIB$ deve ser interpretada com cautela, embora os testes PP e KPSS indiquem estacionariedade. Por fim, a série $\Delta ELCF$ apresenta resultados consistentes entre os testes PP e KPSS. O valor do teste PP (-3,5964) é significativamente menor que o valor crítico de 5% (-2,88), rejeitando a hipótese nula de raiz unitária. Já o teste ADF (-3,0205) está próximo, mas não suficientemente abaixo do valor crítico, não rejeitando a hipótese nula ao nível de 5%. O teste KPSS apresenta um valor estatístico de 0,4412, inferior ao limite crítico de 5%, aceitando a hipótese nula de estacionariedade. Assim, a série $\Delta ELCF$ é considerada estacionária após a diferenciação.

De modo geral, os resultados indicam que a série ΔPIB é robustamente estacionária, enquanto a série $\Delta ELCF$ apresenta estacionariedade com pequenas ressalvas no ADF. A série $\Delta TXPIB$ sugere

estacionariedade com base nos testes PP e KPSS, embora o ADF não forneça a mesma evidência. Essas conclusões destacam a eficácia da diferenciação para tornar as séries estacionárias, garantindo maior robustez na modelagem econômétrica subsequente.

2.4.2 Aplicação do Modelo de Autorregressão com Defasagens Distribuídas

O modelo ARDL foi estimado para analisar a relação entre o TXPIB (variável dependente), TXDP e a TXELCF. O modelo foi selecionado com base no critério AIC⁴, utilizando uma amostra composta por 108 observações mensais. A Tabela 6 apresenta o resultado dos 5 melhores modelos de acordo com o AIC do modelo. Portanto, o ARDL (1,0,1) é o melhor modelo de acordo com esse critério.

Tabela 2.6: Especificação ARDL

	TXPIB	TXDC	TXELCF	AIC
1	1	0	1	-465.6356
2	1	1	1	-464.2333
3	2	0	1	-460.6080
4	1	0	2	-460.5684
5	2	1	1	-459.1384

Fonte: Elaborado pelos autores.

O teste de cointegração foi utilizado para identificar se os modelos de longo e curto prazo devem ser especificados ou apenas o último. Para tal foi realizado o *Bound Test*, com hipótese nula de que não há cointegração. A Tabela 7 apresenta os resultados baseados em valores assintóticos para uma amostra de 1000 observações. A estatística F obtida é 10.19162. Esse valor é superior aos valores críticos de I(1) em todos os níveis de significância considerados (10%, 5%, 2,5% e 1%), rejeita-se a hipótese nula, ou seja, há evidências da existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas. Portanto, modelos de longo e curto prazo podem ser estimados.

Tabela 2.7: ARDL Bound Test

Teste	Valor	Nível de Significância	I(0)	I(1)
F-statistic	10.19162	10%	2.63	3.35
k	2	5%	3.1	3.87
		2.5%	3.55	4.38
		1%	4.13	5.00

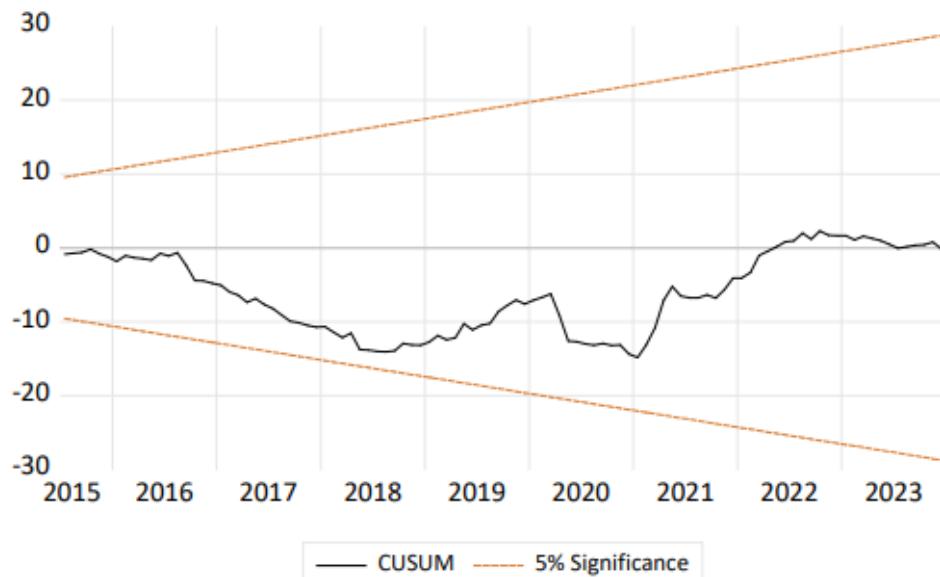
Fonte: Elaborado pelos autores.

A estabilidade do modelo é avaliada através do *cumulative sum of recursive (CUSUM) test*. Os testes são baseados nos resíduos das estimativas recursivas, a hipótese nula é a distribuição

⁴O AIC (Critério de Informação de Akaike) é uma medida usada para avaliar a qualidade de um modelo estatístico, sendo assim pode ser usada para seleção e comparação dos modelos. O melhor modelo, de acordo com o AIC, é aquele que tem o menor valor de AIC. O AIC penaliza modelos mais complexos (com mais parâmetros), mas também considera o ajuste do modelo aos dados.

CUSUM é distribuída simetricamente em torno de zero. A hipótese nula não é rejeitada quando o gráfico está dentro do intervalo de confiança. As figuras 6 e 7 apresentam o gráfico para o modelo, quando observado o CUSUM o resultado está dentro do intervalo de confiança, já no gráfico CUSUMSQ o período de 2019 e inicio de 2020 aparecem fora do intervalo, indicando certa instabilidade possivelmente atrelado a uma quebra estrutural.

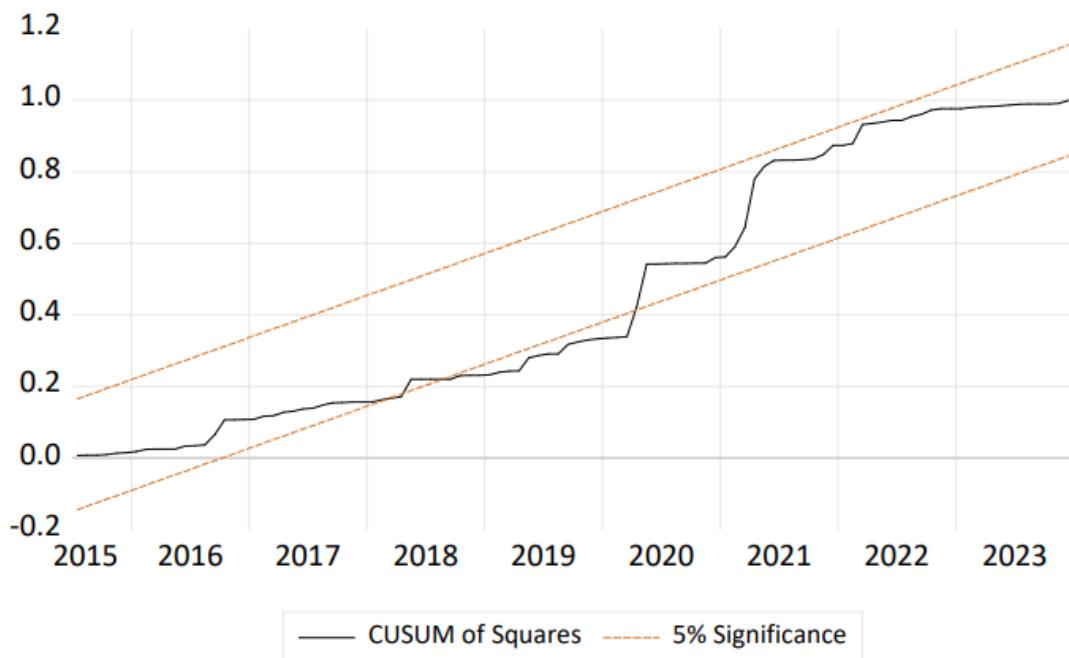
Figura 2.6: Estabilidade do modelo pelo Teste CUSUM - Teste de soma cumulativa



Fonte: EViews 12

Os resultados principais do modelo ARDL estão descritos na Tabela 8, contendo um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0.7923, ou seja, aproximadamente 79,23 percentuais da variação do PIB é explicada pelo modelo. Além disso, apresenta um erro padrão residual de 0.0266, sugerindo boa precisão do modelo. A estatística F é igual a 97.25 ($p < 0.001$), indicando que o modelo é estatisticamente significativo como um todo.

Figura 2.7: Estabilidade do modelo pelo Teste CUSUMSQ - Teste de Soma Cumulativa dos Quadrados



Fonte: EViews 12

Com relação aos coeficientes estimados, o estoque líquido de capital físico tem um impacto positivo significativo no curto prazo (26.4692), reforçando que investimentos em infraestrutura e bens de capital são determinantes para o crescimento econômico imediato. No entanto, a defasagem do estoque de capital físico ($L(ELCF, 1)$) apresenta um coeficiente negativo significativo (-24.7186), sugerindo que, ao longo do tempo, o capital acumulado pode perder eficiência devido à depreciação ou ineficiências no uso do capital. As despesas correntes têm um impacto positivo marginalmente significativo (0.0286), indicando que esses gastos podem contribuir para o crescimento econômico no curto prazo, mas de forma limitada. Por outro lado, o coeficiente de persistência do PIB ($L(pib, 1)$), igual a 0.6322, reflete alta inércia do PIB, sugerindo que o desempenho econômico atual está fortemente relacionado ao desempenho passado.

No longo prazo, há um ajuste capturado pela defasagem ($L(ELCF, 1)$), indicando que o capital acumulado pode perder eficiência com o tempo devido à depreciação. As despesas correntes, embora marginalmente significativas, sugerem que aumentos nesses gastos podem contribuir para o crescimento econômico no curto prazo, possivelmente por meio de efeitos na demanda agregada. O coeficiente de 0.6322 para $L(pib, 1)$ reflete a alta inércia do PIB, ou seja, o desempenho em um período está fortemente relacionado ao período anterior.

Como já foi confirmada a cointegração entre as variáveis pelo *Bound test*, o modelo de Correção de Erro (ECM) é necessário para capturar a relação de curto e longo prazo entre o TXPIB (flutuações econômicas mensais do PI), o TXDC (mudanças nas despesas correntes) e o TXELCF (acúmulo líquido dos fluxos de formação bruta de capital fixo).

Esse modelo permite avaliar como as variáveis respondem a choques no curto prazo e a velocidade de convergência para o equilíbrio de longo prazo. Os resultados principais do modelo ECM apresentado são apresentados na Tabela 9, sendo R^2 igual a 0.324, ou seja, aproximadamente 32,4 percentuais da variação do PIB é explicada pelo modelo, e um erro padrão residual de 0.0266,

Tabela 2.8: Resultados da Estimação do Modelo ARDL

Variável	Estimativa	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Intercepto	0.025959	0.004943	5.252	8.25e-07 ***
L(TXPIB, 1)	0.632173	0.058653	10.778	<2e-16 ***
TXDC	0.028595	0.014582	1.961	0.0526 .
TXELCF	26.469223	4.449636	5.949	3.83e-08***
L(TXELCF, 1)	-24.718550	4.151002	-5.955	3.72e-08***

Erro padrão residual: 0.0266 com 102 graus de liberdade. R²: 0.7293, R² ajustado: 0.7841. Estatística F: 97.25 com 4 e 102 graus de liberdade, p-valor: 2.2e-16

Fonte: Elaborado pelos autores.

que indica boa precisão nas previsões. A estatística F é igual a 12.22 (p < 0.001), confirmando que o modelo é globalmente significativo.

No curto prazo, o coeficiente de L(pib, 1) (CointEq(-1)) é -0.3678, negativo e altamente significativo (p<0.001). Isso indica que, após um choque, 36,78 percentuais do desvio do equilíbrio de longo prazo é corrigido em cada período (mensal). A velocidade de ajuste é moderada, sugerindo que o sistema retorna ao equilíbrio de forma consistente, mas não instantaneamente. A variação contemporânea do estoque de capital físico d(ELCF) apresenta um impacto positivo significativo (26.4692), indicando que aumentos no capital físico geram crescimento econômico imediato e relevante. As despesas correntes possuem impacto positivo (0.0286), mas com significância marginal (p = 0.0526). Isso sugere que o efeito positivo é pequeno e dependente de outras condições.

Com relação aos impactos de longo prazo, o coeficiente de L(ELCF, 1), igual a 1.7507, mostra que o estoque acumulado de capital físico tem um impacto positivo e significativo no longo prazo. Esse resultado reflete o papel central do capital físico como motor do crescimento sustentável. O modelo ECM fornece insights sobre a dinâmica econômica entre as variáveis analisadas. No curto prazo, o estoque líquido de capital físico é o principal determinante do crescimento, com um efeito substancial no PIB. Isso reforça a importância de investimentos contínuos em infraestrutura e bens de capital. As despesas correntes têm um impacto positivo, mas o efeito é limitado e marginalmente significativo. Isso sugere que, no curto prazo, esses gastos podem contribuir para o crescimento, mas não são determinantes.

Dessa forma, o modelo ECM ajustado fornece uma compreensão clara da interação entre o PIB, as despesas correntes e o estoque de capital físico. O termo de correção de erro confirma que há uma relação estável de longo prazo entre as variáveis. No curto e longo prazo, o estoque de capital físico é o principal motor do crescimento econômico, enquanto as despesas correntes têm um impacto mais limitado e circunstancial. A economia corrige desvios do equilíbrio de forma consistente, mas moderada, com 36,78 percentuais de correção por período.

Resíduos

A análise de resíduos é necessária para verificar a confiabilidade dos resultados estimados pelo modelo. Os testes realizados foram Breusch-Godfrey para correlação serial, Studentized Breusch-Pagan Test para homocedasticidade e Shapiro-Wilk *Normality Test* afim de verificar a adequação dos pressupostos do modelo linear - ausência de autocorrelação, homocedasticidade e normalidade dos resíduos. A Tabela 10 apresenta o resumo dos resultados e a hipótese nula referente a cada teste. O teste Breusch-Godfrey apresentou um valor-p igual a 0.7566, indicando ausência de autocorrelação serial nos resíduos. O teste Breusch-Pagan apresentou um valor-p igual

Tabela 2.9: Resultados da Estimação do Modelo ECM

Variável	Estimativa	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Intercepto	0.025959	0.004943	5.252	8.25e-07 ***
L(TXPIB, 1)	-0.367827	0.058653	-6.271	8.73e-09 ***
TXDC	0.028595	0.014582	1.961	0.05261 .
L(TXELCF, 1)	1.750673	0.544298	3.216	0.00174 **
d(TXELCF)	26.469223	4.449636	5.949	3.83e-08***

Erro padrão residual: 0.0266 com 102 graus de liberdade. R² múltiplo: 0.324, R² ajustado: 0.2975. Estatística F: 12.22 com 4 e 102 graus de liberdade, p-valor: 3.733e-08

Fonte: Elaborado pelos autores.

a 0.7577, sugerindo homocedasticidade, ou seja, variância constante dos resíduos. Por fim, o teste Shapiro-Wilk apresentou um valor-p igual a 0.6119, confirmando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Portanto, os resultados são consistentes com um modelo robusto.

Tabela 2.10: Testes Diagnósticos de Resíduos do Modelo ARDL

Teste	p-valor	Hipótese Nula
Breusch-Godfrey	0.7566	Não há autocorrelação serial nos resíduos
Studentized Breusch-Pagan Test	0.7577	Os resíduos são homocedásticos
Shapiro-Wilk Normality Test	0.6119	Os resíduos seguem uma distribuição normal

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.5 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo investigar, através dos pressupostos de endogeneidade do capital humano no Modelo AK, utilizando a metodologia do Modelo Autorregressivo de Defasagens Distribuídas (ARDL), as relações dinâmicas entre capital humano e crescimento econômico no período de 2014 a 2023.

A importância do tema está relacionada ao entendimento da relevância do investimento em educação para o crescimento de um país. Dessa forma, compreender como essa dinâmica ocorre justifica a necessidade de investimentos em educação, especialmente em países emergentes que possuem altas taxas de produtividade, dada a escassez de capital.

No curto prazo, os resultados do modelo ARDL indicam que o efeito do ELCF (estoque de capital físico) é significativo e positivo, com coeficiente estimado de 26,4692. Isso reforça a importância dos investimentos em infraestrutura e na capacidade produtiva para impulsionar a atividade econômica. Já as despesas correntes apresentam um efeito positivo, porém marginalmente significativo (p-valor = 0,0526), sugerindo o impacto sobre o crescimento econômico depende de outros fatores.

Por outro lado, no longo prazo, o modelo ECM revelou que o estoque acumulado de capital fixo (L(ELCF, 1)) é o principal determinante do crescimento, com coeficiente positivo e significativo de 1,7507. Esse resultado destaca o papel central do capital físico no desenvolvimento sustentável. O

termo de correção de erro, com coeficiente de -0,3678, indica que cerca de 36,78% dos desequilíbrios de curto prazo são corrigidos em cada período, o que demonstra uma velocidade moderada de ajuste ao equilíbrio de longo prazo.

Os testes de diagnóstico indicaram que o modelo estimado possui especificação adequada, com resíduos normais, homocedásticos e sem correlação serial, reforçando a robustez dos resultados obtidos. A validação da cointegração entre as variáveis evidencia a importância de analisar as relações dinâmicas entre capital físico e crescimento econômico, considerando tanto os efeitos de curto prazo quanto os ajustes necessários para a consolidação de trajetórias sustentáveis no longo prazo.

O uso do modelo ARDL mostrou-se particularmente eficiente ao capturar as interações entre variáveis com diferentes níveis de integração e ao permitir a diferenciação clara entre os efeitos de curto e longo prazo. Essa abordagem metodológica é especialmente relevante para economias em desenvolvimento, como o Brasil, onde a instabilidade macroeconômica e a volatilidade da curva de juros podem dificultar a análise de relações dinâmicas.

Os resultados apresentados neste estudo reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas ao estímulo de investimentos produtivos, com foco no capital físico, para sustentar o crescimento econômico e promover o equilíbrio de longo prazo. A análise realizada por meio do modelo ARDL demonstrou que o estoque líquido de capital físico (ELCF) exerce um papel central no impulso ao PIB, tanto em efeitos contemporâneos quanto nas interações de longo prazo.

A despesa corrente, utilizado como *proxy* para o investimento em capital humano, embora de menor impacto relativo, também se mostra relevante como elemento de estímulo ao crescimento econômico, ainda que os efeitos sejam mais limitados. Esse resultado pode ser compreendido a partir de algumas características intrínsecas ao investimento em capital humano e às especificidades do contexto brasileiro.

Primeiro, o efeito do investimento em educação geralmente ocorre no longo prazo e pode não ser imediatamente perceptível nos dados econômicos, especialmente em períodos de curto a médio prazo como o analisado neste estudo. A literatura aponta como os efeitos do aumento nos gastos em educação podem ser mais evidentes no longo prazo, uma vez que a efetividade dos investimentos depende de outros fatores, como a qualidade do ensino e a formação prática dos estudantes. Portanto, a educação, por si só, pode não ter um efeito imediato sobre o crescimento econômico, sendo necessário um ambiente institucional e político favorável à melhoria contínua da qualidade educacional.

Segundo, apesar dos esforços de investimento, o Brasil ainda enfrenta lacunas estruturais, como baixa qualidade do ensino básico e médio e dificuldade de integração do sistema educacional às demandas do mercado de trabalho. Dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (INEP) indicam que, apesar dos altos investimentos públicos, as taxas de desempenho em avaliações internacionais, como o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), continuam abaixo da média dos países da OCDE, evidenciando falhas na aplicação dos recursos em áreas essenciais, como formação de professores e infraestrutura educacional. Isso reduz a capacidade do investimento em educação de gerar retornos imediatos em termos de crescimento econômico.

Por último, como evidência a literatura, a medição de capital humano é um desafio e não há um consenso em qual seria a *proxy* ideal, uma vez que variáveis como gastos em educação, taxas de matrícula ou anos de estudo não capturam plenamente a complexidade desse conceito, que envolve também habilidades adquiridas, qualidade do ensino e aprendizado efetivo.

Para discussões futuras cabe aplicar um modelo com incorporação de variáveis adicionais, como taxas de juros, inflação, indicadores de produtividade, para ampliar a compreensão das dinâmicas de crescimento econômico no Brasil e também outras variáveis de controle como número de

matriculados por ensino médio, dados de gastos em saúde, pois como a literatura aponta, não existe uma *proxy* específica para capital humano (DIMOV; SHEPHERD, 2005; PENNINGS et al., 1998; WÖSSMANN, 2003), mas sim diversas tentativas de captar da melhor forma dos componentes.

