

Choques globais, fluxos de capital e câmbio no Brasil: um índice de vulnerabilidade multicritério - TOPSIS-CRITIC

Daiane Rodrigues dos Santos (UERJ) *daianesantoseco@gmail.com*

Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) *cfsg1@bol.com.br*

Solange Maria Fortuna Lucas (UFF) *solangefortunallucas@gmail.com*

André Vasconcellos (UERJ) *alrvasconcellos@gmail.com*

Resumo

A intensificação do processo de globalização financeira a partir dos anos 1990 ampliou o grau de integração entre mercados, possibilitando o acesso de investidores institucionais a economias antes consideradas periféricas ou de difícil inserção nos fluxos globais de capitais. O fenômeno resultou em uma crescente sensibilidade das economias emergentes às oscilações de variáveis econômicas globais, impactando de forma direta a dinâmica dos fluxos de capitais e a volatilidade das taxas de câmbio locais. O objetivo do presente artigo foi pesquisar a influência de variáveis econômicas globais sobre os fluxos de capital externo e a taxa de câmbio no Brasil no período de 1999 a 2023. A partir da abordagem metodológica TOPSIS examinaram-se os efeitos do índice de volatilidade global (VIX), do risco, dos preços internacionais de commodities e da taxa de juros norte-americana (Fed Funds Rate) sobre as entradas de Investimento Direto Estrangeiro (IDE) e o comportamento da taxa de câmbio nominal brasileira.

Palavras-Chaves: *Choques globais; índice de vulnerabilidade; Brasil; TOPSIS-CRITIC.*

1. Introdução

O comportamento dos fluxos de capitais em direção às economias emergentes tem refletido um padrão global marcadamente pró-cíclico, amplificando ciclos de expansão econômica e, por vezes, desencadeando movimentos especulativos que culminam em instabilidade financeira. A literatura empírica documentou que, no caso brasileiro, a dinâmica dos fluxos de capitais é predominantemente influenciada por fatores externos, notadamente a política monetária das economias centrais, condições de liquidez global e oscilações nos índices de volatilidade internacional, enquanto os determinantes domésticos desempenham papel secundário nesse processo (De Paula et al. 2013).

A crescente integração do Brasil aos mercados financeiros globais tem tornado a dinâmica cambial do país particularmente sensível a oscilações no cenário internacional, sendo a moeda doméstica influenciada por fatores como política monetária norte-americana, fluxos de capitais especulativos e choques de preços de commodities (Kaltenbrunner, 2011; Tabak, 2006). Destaca-se que, embora o Brasil tenha adotado o regime de câmbio flutuante desde 1999, o padrão observado nas últimas décadas mostrou que a autoridade monetária, por meio de operações de mercado e acúmulo de reservas, pode exercer papel ativo na mitigação de volatilidade e na preservação da estabilidade financeira (Gallagher e Magalhães, 2014).

O presente artigo tem como objetivo mensurar, de forma sistemática, a vulnerabilidade externa do Brasil e examinar a sensibilidade da taxa de câmbio e dos fluxos de capitais a choques globais de volatilidade e de condições financeiras. Para tanto, foi construído um Índice Mensal de Vulnerabilidade Externa baseado na Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS), que sintetiza múltiplos indicadores macrofinanceiros em uma medida única. Destaca-se que a amostra abrange o período de 2008 a 2025, capturando eventos globais relevantes como a crise financeira internacional (GFC), o taper tantrum de 2013 (Terhune, 2016), o colapso das commodities em 2014–2016 (Mares, 2020), a pandemia de COVID-19 e o ciclo de aperto monetário pós-pandêmico brasileiro (post-pandemic tightening), Perli e LeSueur, (2024).

O artigo organiza-se da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico; a Seção 3 descreve dados e metodologia aplicada; a Seção 4 apresenta os resultados (níveis, extremos, regimes e decomposições); e a Seção 5 traz as conclusões e direções para pesquisa futura.

2. Referencial Teórico

A literatura sobre fluxos de capitais, em especial, a América Latina tem enfatizado o papel predominante dos fatores externos, notadamente a política monetária das economias desenvolvidas e a liquidez global, na determinação da magnitude e direção desses fluxos. De Paula et al. (2013) destacaram que os fluxos de capitais para a região seguiram um padrão global fortemente pró-cíclico, tendendo a amplificar períodos de expansão econômica e a intensificar vulnerabilidades em contextos de crise. Os autores identificaram que, diante da crise financeira internacional de 2007–2008, os países latino-americanos enfrentaram retração nos investimentos estrangeiros, volatilidade cambial acentuada e queda nos preços das commodities, o que evidenciou a relevância das variáveis globais na dinâmica cambial e nos fluxos financeiros para países emergentes.

Athukorala e Rajapatirana (2003) pesquisaram que a entrada de capital nos países em desenvolvimento gera efeitos sobre a taxa de câmbio real, com padrões distintos entre economias da Ásia e da América Latina. Os autores analisaram dados de 15 países entre 1985 e 1999 e constataram que as economias latino-americanas experimentaram, de forma sistemática, maior valorização cambial associada às entradas líquidas de capital quando comparadas aos países asiáticos. No caso brasileiro, observou-se uma valorização real de aproximadamente 14,7% durante o episódio de influxo de capitais de 1992 a 1996, resultado inferior apenas ao da Argentina (43,5%).

Embora a literatura teórica sugira diversos canais pelos quais os fluxos de capitais estrangeiros podem afetar o investimento doméstico, como redução do custo de capital, aumento da liquidez e melhora na governança corporativa, por exemplo, as evidências empíricas permanecem ambíguas. No contexto brasileiro, Colombo et al. (2019) apresentam um modelo VARX com dados mensais de 1996 a 2015 para estimar os efeitos dos fluxos de investimento estrangeiro em ações (EFPI) sobre a formação bruta de capital fixo. Os autores identificaram que, no período anterior à crise financeira global de 2008, choques positivos nos fluxos de portfólio em ações exerceram impacto positivo e estatisticamente significativo sobre o crescimento do investimento agregado. No entanto, após a crise, a relação entre EFPI e investimento doméstico se tornou fraca ou inexistente, sugerindo que fatores como o intervencionismo estatal, a deterioração institucional e o aumento do risco político comprometeram a capacidade dos fluxos estrangeiros de impulsionar a atividade real. Essa dualidade temporal ilustra como choques externos interagem com características estruturais da economia e com o ambiente institucional doméstico, afetando os mecanismos de transmissão do capital internacional.

A literatura recente tem apontado limitações nas explicações baseadas apenas em variáveis macroeconômicas tradicionais para a dinâmica cambial, especialmente nos curto e médio prazos. Nesse contexto, fluxos internacionais de capitais passaram a ser reconhecidos como determinantes adicionais relevantes. Evidências empíricas mostram que diferentes tipos de fluxos possuem efeitos distintos sobre a taxa de câmbio: Sun e An (2011) identificaram que investimentos em portfólio e investimento direto estrangeiro afetam de forma significativa moedas não-reserva, enquanto para o dólar norte-americano o principal canal segue sendo a taxa de juros relativa. Resultados semelhantes foram obtidos por Jongwanich e Kohpaiboon (2013) em um painel de economias asiáticas, indicando que portfólio e empréstimos bancários geram apreciação mais rápida da taxa real do que o IDE, cujo impacto tende a ser defasado.

Adicionalmente, a expansão de operações de fusões e aquisições no IDE aproximou seu comportamento de fluxos especulativos, intensificando efeitos sobre setores não transacionáveis e a valorização da moeda. Por fim, o papel de variáveis globais de risco também tem sido estudado por meio da volatilidade implícita, como mostram Shaikh e Padhi (2013), que observaram que choques macroeconômicos nos Estados Unidos afetam a percepção de risco na Índia, com respostas assimétricas: anúncios negativos elevam mais fortemente o índice de volatilidade do que anúncios positivos o reduzem.

Lacoviello e Navarro (2019) pesquisaram os efeitos de transbordamento das elevações das taxas de juro dos Estados Unidos sobre a atividade econômica de um amplo painel de 50 economias, sendo 25 avançadas e 25 emergentes. Os autores buscaram identificar a relevância relativa dos canais de câmbio, comércio e financeiros como mecanismos de transmissão internacional da política monetária norte-americana. Para isso, utilizaram dados trimestrais do PIB no período de 1965:T1 a 2016:T2, totalizando aproximadamente 10.000 observações, e aplicaram o método de projeções locais proposto por Jordà (2005), o que possibilitou captar heterogeneidades temporais e interseccionais ligadas ao regime cambial, grau de abertura comercial e vulnerabilidade externa das economias analisadas. A identificação dos choques monetários foi realizada por meio de regressões da taxa dos fundos federais em relação a um conjunto de variáveis de controlo para a estimação dos efeitos externos da política monetária dos EUA. Os autores encontram que os efeitos de aumentos nas taxas de juros dos EUA sobre as economias estrangeiras são substanciais e heterogêneos. De acordo com os autores, um aumento de 100 pontos-base nas taxas de juros dos EUA, induzido pela política monetária, resulta em uma redução do Produto Interno Bruto (PIB) em economias avançadas em cerca de 0,5% após três anos, e em economias emergentes em aproximadamente 0,8% após quatro anos. Essas magnitudes são comparáveis ao efeito doméstico, que reduz o PIB dos EUA em cerca de 0,7% após dois anos. Yilmaz e Çetiner (2017) investigaram, para a Turquia entre 2011 e 2016, as relações de curto e longo prazo entre CDS soberano, déficit em conta corrente e taxa de câmbio. Utilizando VAR e SVAR, os autores mostraram que choques nos spreads de CDS são explicados pelas variáveis externas e cambiais, mas seus efeitos se dissipam em cerca de dez meses. Liu et al. (2025) analisaram o impacto das tensões comerciais EUA–China sobre fluxos de IDE em 14 economias emergentes entre 1993 e 2022. Os resultados mostraram que crescimento econômico e estabilidade cambial atraem IDE, enquanto riscos geopolíticos e fragilidades regulatórias o desestimulam. O estudo concluiu que tensões sino-americanas

reconfiguram cadeias globais ao deslocar investimentos para países com maior previsibilidade macroeconômica.

De forma convergente, esses trabalhos apontam a vulnerabilidade de economias emergentes a choques externos, em especial de política monetária dos EUA, com efeitos transmitidos via câmbio, fluxos de capitais e prêmios de risco. Há consenso sobre o efeito contracionista de juros mais altos nos EUA, bem como sobre o papel simultâneo de fatores globais e domésticos na atração de capitais e no desempenho macroeconômico.

3 Metodologia – Apoio Multicritério à Decisão (AMD) aplicado a Regimes Macroeconômicos

A metodologia desta pesquisa caracteriza-se por uma abordagem quantitativa e analítica, estruturada em um modelo de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). O desenho metodológico foi concebido para capturar a dinâmica da vulnerabilidade externa da economia brasileira frente a choques financeiros, operando em duas etapas sequenciais. Na primeira fase, constrói-se um índice mensal de vulnerabilidade externa por meio do método TOPSIS, utilizando esquemas de ponderação data-driven (CRITIC e Entropia de Shannon) para sintetizar múltiplos indicadores (como VIX, câmbio, risco-país, reservas e commodities). Na segunda fase, aplica-se o algoritmo de agrupamento k-means sobre os escores contínuos obtidos no TOPSIS, com o objetivo de segmentar a série temporal e identificar empiricamente os diferentes regimes macroeconômicos, a saber: grupos homogêneos de risco.

Os problemas de decisão raramente são baseados em critérios únicos. Geralmente incorporam uma variedade de critérios, muitas vezes contraditórios. Em muitas situações práticas, as alternativas devem ser classificadas de acordo com critérios de preferência múltiplos e conflitantes. Tal intervenção no processo de tomada de decisão poderá ocorrer, e o conjunto de critérios pode incluir critérios quantitativos e qualitativos. Os métodos são necessários para apoiar a evolução do processo (Silva et al, 2018). Métodos de tomada de decisão multicritério tem sido aplicados na seleção de carteiras devido à possibilidade de considerar diversos critérios e alternativas. A seleção de ativos envolve alta complexidade na tomada de decisão porque diversos critérios podem ser levados em consideração (Maêda et al., 2021 e Silva et al., 2023)

3.1. Agrupamento por k-means:

O algoritmo k-means busca particionar as observações em k grupos, minimizando a variância intra-cluster (1):

$$\min \sum_{j=1}^k \sum_{\{x_i \in C_j\}} ||x_i - \mu_j||^2 \quad (1)$$

Em que μ_j é o centróide do cluster j, e x_i representa os vetores de indicadores econômicos por período. Foram utilizados dados de volatilidade cambial, fluxos de capitais, nível de reservas internacionais, risco-país e preços de commodities.

3.2. Ordenação por TOPSIS:

O método TOPSIS ordena as alternativas com base em sua distância relativa a uma solução ideal, melhor situação possível (positive ideal solution - PIS) e anti-ideal, pior cenário (negative ideal solution - NIS). Segundo o TOPSIS, a melhor alternativa seria aquela que estivesse mais próxima de PIS e a mais distante de NIS. PIS é aquela que maximiza os critérios de benefícios e minimiza os critérios de custos; em outras palavras, maximiza os critérios de benefícios e minimiza os critérios de custos. A PIS é composta por todos os melhores valores alcançáveis a partir dos critérios de benefícios; e a NIS consiste em todos os piores valores alcançáveis a partir dos critérios de custo (maiores valores de custo) e os menores valores nos critérios de benefícios, a fim de classificar um conjunto finito de alternativas (Silva et al., 2018).

Os passos do método são:

1-Normalização da matriz de decisão (2):

$$r_{\{ij\}} = \frac{x_{\{ij\}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{\{ij\}}^2}} \quad (2)$$

2-Multiplicação por pesos atribuídos a cada critério (3):

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (3)$$

3 - Determinação da solução ideal (A+) e NIS (A-) (4):

$$A^+ = \{\max(v_{ij})\}, \quad A^- = \{\min(v_{ij})\} \quad (4)$$

4-Cálculo das distâncias euclidianas (5):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - A_j^+)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (5)$$

5 -Índice de proximidade ao PIS (6):

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (6)$$

Valores de S_i mais próximos de 1 indicam menor vulnerabilidade

Destaca-se que o Brasil pode ser afetado por fatores globais de modo linear ou não linear ao longo do tempo. O impacto dos choques externos pode variar conforme o contexto, períodos de tranquilidade global x períodos de turbulência. O objetivo foi pesquisar se fatores como VIX, taxa de juros dos EUA, CDS e preços de commodities podem afetar os fluxos de capital e o câmbio de modo mais intenso ou mais fraco, dependendo do regime.

4. Resultados e Discussão

4.1 Base de dados

A construção do modelo empírico fundamentou-se na utilização de variáveis dependentes e teve como objetivo capturar diferentes dimensões da dinâmica financeira brasileira: a taxa de câmbio nominal (BRL/USD) e o IDE. Os dados foram obtidos junto ao Banco Central do Brasil, a partir dos sistemas SGS e dos relatórios do Setor Externo, que asseguram cobertura temporal e consistência metodológica adequadas para análises de longo prazo (Banco Central do Brasil, 2024) (Tabela 1).

Tabela 1 – Variáveis a serem consideradas nos modelos

Categoria	Variável	Observação
Dependente	Taxa de câmbio nominal (BRL/USD) (Modelo 1)	Principal variável de interesse; modelada condicionalmente aos regimes e aos choques.

	Investimento Direto Estrangeiro (IDP) (Modelo 2)	Pode ser usada como variável dependente alternativa ou adicional em sistemas multivariados.
Independente	Índice de Volatilidade VIX	Choques nessas variáveis podem desencadear mudanças de regime.
	CDS Brasil 10 anos (EMBI+)	Representa risco-país, relevante para identificar transições entre regimes.
	Preços de <i>Commodities</i>	Afeta tanto fluxos cambiais quanto comportamento de regime.
	Taxa de juros dos EUA	Alterações podem influenciar transições de regime macroeconômico.
	Reservas internacionais	Indicador de resiliência externa; usualmente inserida como controle.
	Termos de troca	Afeta competitividade externa; controle para efeitos macroeconômicos globais.
	PIB	Captura efeitos de ciclo econômico; pode ser exógeno (controle) ou endógeno.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta as séries e as estatísticas descritivas das variáveis que serão modeladas no presente artigo. Observa-se que a taxa de juros dos EUA e o índice de volatilidade VIX exibiram as maiores dispersões, refletidas nos desvios-padrão de 0,235 e 0,242, respectivamente, sugerindo elevada variabilidade no período analisado. O CDS Brasil 10 anos apresentou média positiva (0,0154) e amplitude considerável, indicando períodos de elevação expressiva do risco-país.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas

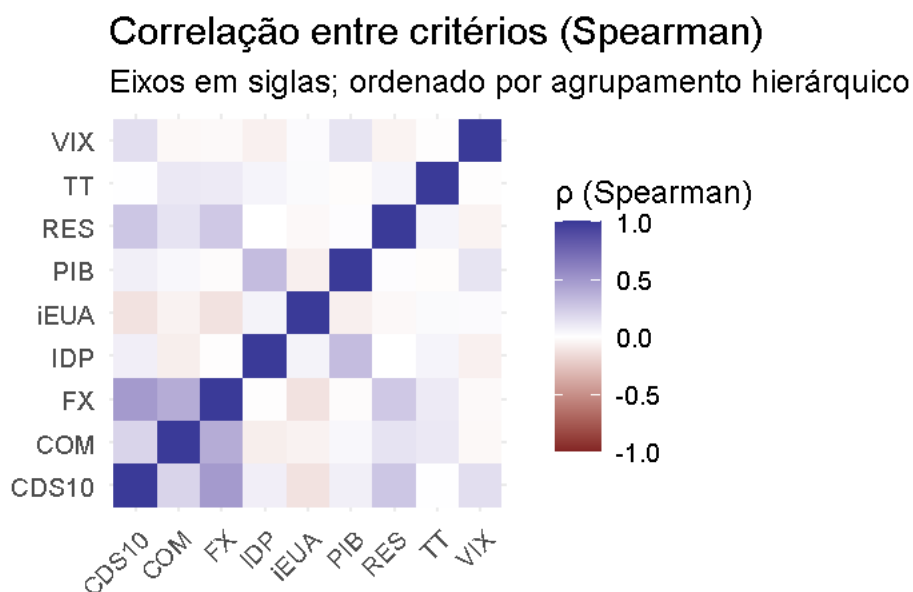
Variável	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
CDS Brasil 10 anos	0,0154	-0,0103	0,157	-0,27	1,44
PIB	0,00748	0,00533	0,0376	-0,0989	0,129
Preços de <i>Commodities</i>	0,00054	0,00257	0,0466	-0,182	0,179
Reservas internacionais	0,00267	0,00293	0,0163	-0,0917	0,0531
Taxa de câmbio	0,007	0,00484	0,0388	-0,087	0,208
Taxa de juros dos EUA	0,0332	0	0,235	-0,923	1,5

Termos de troca	0,000654	-0,000088	0,0239	-0,0758	0,104
Índice de Volatilidade VIX	0,0185	-0,0175	0,242	-0,359	1,94

Fonte: Elaboração própria.

O PIB e a taxa de câmbio registraram médias próximas de zero, compatíveis com séries em variação percentual ou log-retornos, enquanto os preços de commodities e os termos de troca apresentaram oscilações relativamente moderadas. As reservas internacionais mostraram baixa volatilidade, coerente com o comportamento estável dessa variável no horizonte considerado. Como pode ser visto na Figura 1, os indicadores de risco e condições financeiras (CDS10, VIX, FX, iEUA) apresentam co-movimentos positivos entre si, caracterizando uma dinâmica de episódios de aversão ao risco.

Figura 1 - Correlação de Spearman entre os critérios (variáveis) selecionados



Fonte: Elaboração própria.

Do outro lado, os amortecedores e fundamentos reais (RES, TT, COM, IDP, PIB) também tendem a se associar positivamente, sugerindo que períodos de termos de troca favoráveis, preços de commodities elevados, maior atividade e entrada de IED ocorrem conjuntamente com a acumulação de reservas. As correlações entre blocos são, em geral, moderadas e de sinal oposto, o que é coerente com a construção do índice de vulnerabilidade externa proposto no presente estudo. Destaca-se que a predominância de correlações moderadas é desejável do

ponto de vista multicritério, pois indica que cada variável agrega informação própria, reduzindo o risco de colinearidade excessiva e justificando sua inclusão como critério.

Destaca-se que a abordagem multicritério baseada no método TOPSIS, complementada pela classificação k-means (Daniati e Utama, 2029) permite explorar diferentes dimensões da vulnerabilidade externa da economia brasileira sob uma perspectiva quantitativa e qualitativa. Os resultados da abordagem multicritério serão apresentados na seção a seguir.

4.2. Abordagem multicritério

O TOPSIS sintetiza um conjunto amplo de indicadores financeiros e reais em um único índice mensal de vulnerabilidade externa, usando todas as séries disponíveis (exceto a inflação, retirada), com a orientação custo/benefício definida para cada critério conforme a Tabela 3 (p.ex., custo: câmbio, VIX, CDS e juros dos EUA; benefício: IDP, reservas, preços de commodities, termos de troca, PIB).

Tabela 3 - Orientação dos critérios no índice de vulnerabilidade externa (TOPSIS): benefício/custo e justificativa econômica (Brasil)

Critério	Entra como	Intuição econômica p/ Brasil
Taxa de câmbio	Custo	Real mais fraco (↑ câmbio / depreciação) tende a elevar inflação, prêmio de risco e vulnerabilidade externa.
Investimentos diretos no país – IDP	Benefício	Mais IED é financiamento estável de longo prazo; reduz necessidade de capitais voláteis.
Reservas internacionais	Benefício	Amortecedor de choques externos; aumenta capacidade de intervenção e reduz risco de crise cambial.
Índice de Volatilidade VIX	Custo	“Risk-off” global; encarece financiamento, pressiona moedas emergentes, reduz fluxos.
CDS Brasil 10 anos	Custo	Maior CDS = maior prêmio de risco soberano = piores condições financeiras.
Preços de Commodities	Benefício	Brasil é exportador líquido; preços mais altos melhoram termos de troca, balança e receitas. (Se usar variações negativas/positivas, ver nota abaixo.)
Taxa de juros dos EUA	Custo	Juros mais altos nos EUA atraem capital para lá, fortalecem USD e apertam condições financeiras nos emergentes.
Termos de troca	Benefício	Melhora de preços de exportação vs importação eleva renda real e alivia contas externas.

PIB	Benefício	Atividade mais forte tende a reduzir risco-país e melhorar arrecadação/confiança. (Há nuances com conta corrente, mas o efeito usual na vulnerabilidade é benéfico.)
-----	-----------	--

Fonte: Elaboração própria.

As séries são normalizadas por min-max para $[0,1]$ e, para critérios de custo, aplica-se a transformação $1-x$, de modo que o espaço final seja todo de benefício. Os pesos são estimados de forma data-driven (método CRITIC como base; com análises de sensibilidade via Entropia e combinação híbrida), evitando sobrevalorar variáveis muito correlacionadas. Definidos os ideais no espaço de benefício ($A^+ = \text{máximo}$ e $A^- = \text{mínimo}$ por critério), calculam-se as distâncias euclidianas d_i^+ e d_i^- . Em seguida, aplica-se k-means aos escores para segmentar os períodos em grupos homogêneos de risco.

A ponderação dos critérios foi estimada por dois métodos clássicos de AMD: entropia de Shannon e CRITIC. Considere a matriz de dados já normalizada no espaço de benefício, $X = [x_{ij}]$ com $i = 1, \dots, m$ observações (meses) e $j = 1, \dots, q$ critérios. No método da entropia, definem-se as proporções $p_{ij} = \sum_{i=1}^m x_{ij}$ a entropia de cada critério $E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$, com $k = \frac{1}{\ln m}$, o grau de diversificação $d_j = 1 - E_j$ e os pesos normalizados $w_j^{(ent)} = \frac{d_j}{\sum_{l=1}^q d_l}$. Já o método CRITIC - CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (vide Alinezhad e Khalili, 2019) combina a dispersão s_j (desvio-padrão do critério j) com o conflito informacional via correlações r_{jk} , por meio de $C_j = s_j \sum_{k=1}^q (1 - |r_{jk}|)$, $w_j^{(crit)} = \frac{C_j}{\sum_{l=1}^q C_l}$. Aplicados às nossas séries, os vetores de pesos estimados foram: $w^{(et)}$ 0.0588, 0.3757, 0.0292, 0.0232, 0.1002, 0.0450, 0.0471, 0.1395 e 0.1813 e $w^{(ci)}$ 0.1080, 0.1473, 0.1017, 0.0747, 0.1063, 0.0882, 0.0975, 0.1268 e 0.1496. Na ordem dos critérios (Taxa de câmbio, IDP, Reservas, VIX, CDS, Preços de Commodities, Juros EUA, Termos de troca, PIB). Destaca-se que enquanto a entropia privilegia critérios com maior informação idiossincrática na amostra, o CRITIC distribui os pesos de forma mais equilibrada ao penalizar redundâncias induzidas por altas correlações entre variáveis.

O índice mensal de vulnerabilidade externa foi construído via TOPSIS (Tabela 4), em que valores mais elevados do escore indicam menor vulnerabilidade. A ordenação dos períodos decorre de $C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$ de modo que $rank = 1$ identifica o mês mais resiliente. A

apresentação empírica contempla estatísticas descritivas do índice, a identificação dos episódios extremos (decis/tercis inferiores e superiores) e a segmentação temporal por agrupamento k-means sobre os escores, produzindo regimes homogêneos de risco.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas do índice de vulnerabilidade externa (TOPSIS)

Observações (n)	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	máximo
201	0.444	0.0709	0.281	0.396	0.432	0.484	0.693

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos 201 meses da amostra, o índice de vulnerabilidade externa (TOPSIS) apresentou média = 0,444 (dp = 0,071), mediana = 0,432, e varia no intervalo [0,281; 0,693], vide Tabela 4. O intervalo interquartil é 0,088 ($P_{25} = 0,396$, $P_{75} = 0,484$), indicando dispersão moderada em torno do centro. Como valores mais elevados do escore indicam menor vulnerabilidade, os resultados sugerem, em média, um nível de risco externo contido, com episódios de maior resiliência próximos de 0,693 e períodos de estresse em torno de 0,281. Destaca-se que essas estatísticas subsidiaram a classificação dos meses em faixas e a comparação dos regimes identificados por métodos de agrupamento ao longo do tempo.

A Tabela 5 reporta os dez meses mais resilientes (Top 10) e os dez mais vulneráveis (Bottom 10) segundo o índice TOPSIS, no qual valores mais altos do escore indicam menor vulnerabilidade e, portanto, rank=1 corresponde ao mês mais robusto. Observa-se que os episódios de baixa vulnerabilidade apresentam escores entre 0,583 e 0,693, ao passo que os episódios de alta vulnerabilidade situam-se entre 0,281 e 0,351. Esse contraste quantifica, de forma sintética, a dispersão entre períodos de condições externas favoráveis e momentos de estresse, servindo de base para (i) análises correlatas por critérios (VIX, câmbio, CDS, reservas, por exemplo), (ii) segmentações em regimes via k-means e (iii) discussões sobre a robustez do ranking sob diferentes esquemas de ponderação (Entropia, CRITIC).

Tabela 5 - Episódios extremos do índice TOPSIS: Top 10 (10 mais resilientes) e Bottom 10 (10 mais vulneráveis).

TIM	Data	TOPSIS score	TOPSIS rank
Top 10	01/12/2009	0.693	1
Top 10	01/02/2022	0.684	2
Top 10	01/03/2012	0.679	3
Top 10	01/03/2009	0.645	4
Top 10	01/12/2010	0.612	5
Top 10	01/03/2013	0.608	6
Top 10	01/07/2010	0.608	7
Top 10	01/12/2008	0.604	8
Top 10	01/12/2016	0.589	9

Top 10	01/05/2010	0.583	10
Bottom 10	01/01/2009	0.281	201
Bottom 10	01/01/2016	0.299	200
Bottom 10	01/01/2015	0.303	199
Bottom 10	01/08/2015	0.321	198
Bottom 10	01/11/2008	0.321	197
Bottom 10	01/04/2021	0.348	196
Bottom 10	01/01/2011	0.349	195
Bottom 10	01/04/2020	0.350	194
Bottom 10	01/01/2010	0.351	193
Bottom 10	01/04/2012	0.351	192

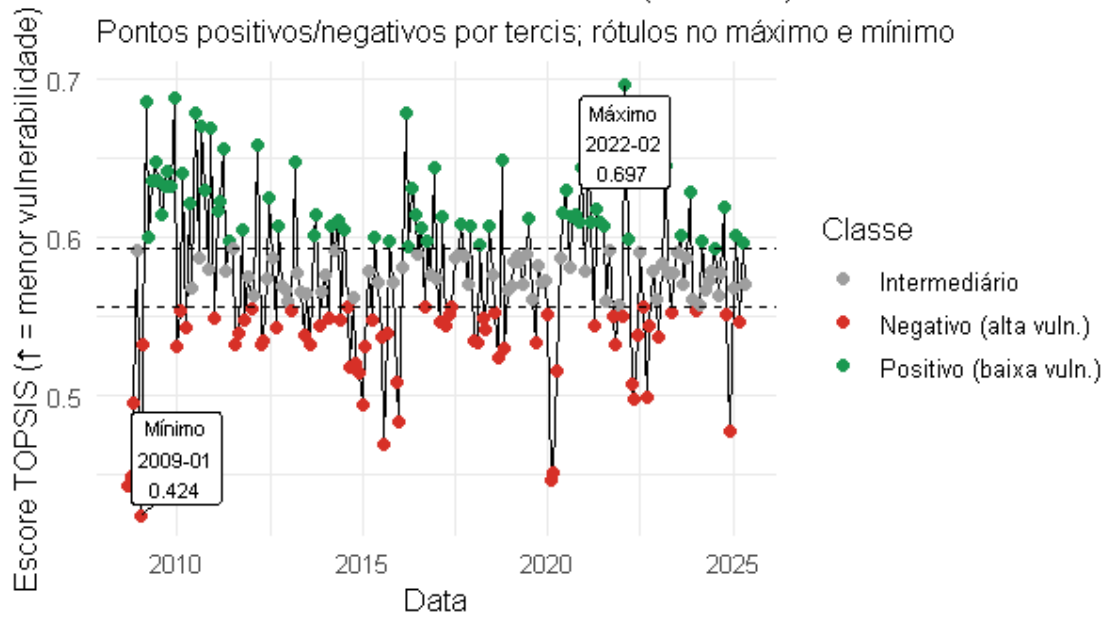
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 apresenta a série mensal do Índice de Vulnerabilidade Externa (TOPSIS) para o Brasil (elevação do escore = menor vulnerabilidade). A linha pontilhada indica a média do período. Os pontos são classificados por tercís: verde (tercil superior, baixa vulnerabilidade), vermelho (tercil inferior, alta vulnerabilidade) e cinza (intermediário). Os rótulos assinalam os extremos da amostra: máximo em 2022-02 (escore 0,697) e mínimo em 2009-01 (escore 0,424). O índice foi construído pelo método TOPSIS a partir de nove critérios macrofinanceiros (taxa de câmbio, IDP, reservas internacionais, VIX, CDS, preços de commodities, juros dos EUA, termos de troca e PIB). Todas as séries foram normalizadas via min–max e reorientadas como “benefício”; os pesos foram estimados pelo método CRITIC, que pondera maior variabilidade e menor redundância informacional entre critérios. O escore mensal resulta de $C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$, em que $d_i^+ + d_i^-$ são as distâncias euclidianas ponderadas ao ideal positivo e negativo. O gráfico evidencia fases de maior resiliência (pontos verdes concentrados, como em 2010–2013 e em 2022) e episódios de maior fragilidade (pontos vermelhos, 2008–2009, por exemplo, e janelas associadas a choques domésticos e globais), oferecendo leitura visual imediata dos ciclos de risco externo.

Figura 2 - Índice de Vulnerabilidade Externa (TOPSIS). Evolução mensal, classificação por tercís e marcação dos extremos (máx./mín.)

Índice de Vulnerabilidade Externa (TOPSIS)

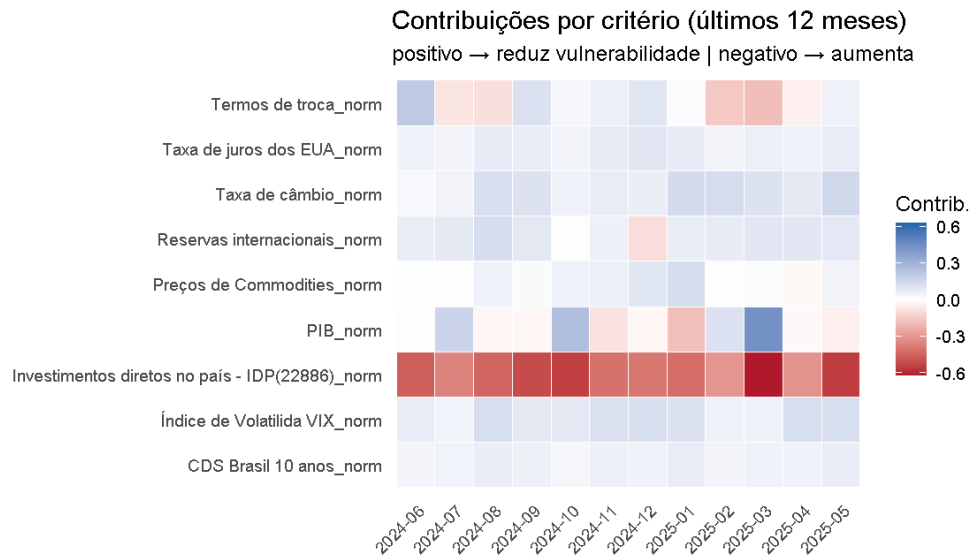
Pontos positivos/negativos por tercis; rótulos no máximo e mínimo



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3, em formato de heatmap, mostra a contribuição mensal de cada critério (últimos 12 meses) para o escore TOPSIS ao longo de toda a amostra. A escala cromática é interpretada da seguinte forma: tons azuis denotam contribuição positiva, ao passo que tons vermelhos indicam contribuição negativa. Como pode ser visto, os Investimentos Diretos no País (IDP) exibem contribuição sistematicamente negativa ao longo da maior parte do período. As demais variáveis revelam padrões alternantes: fatores reais – como PIB, termos de troca, reservas e preços de commodities, ora amortecem, ora pressionam a vulnerabilidade, ao passo que variáveis financeiras e de risco, VIX, CDS soberano, taxa de câmbio e juros dos EUA, tendem a produzir episódios de contribuição negativa concentrados em janelas de estresse na amostra modelada.

Figura 3 - Contribuições dos critérios ao índice (últimos 12 meses)



Fonte: Elaboração própria.

Por construção, as contribuições mensais se compensam (soma aproximada a zero). Observa-se que o IDP tem exercido impacto sistematicamente negativo, reduzindo o índice. Em sentido oposto, o PIB registrou episódios de contribuição positiva recente, refletindo maior tração doméstica. Termos de troca oscilaram entre suporte e aperto, conforme preços internacionais, enquanto reservas e commodities mostraram contribuições moderadas, atuando como amortecedores. Já VIX, CDS e, em menor grau, câmbio e juros dos EUA exibiram contribuições discretas, porém frequentemente negativas, compatíveis com condições financeiras globais mais restritivas (elevação de juros nos EUA, dólar mais forte, maior volatilidade e spreads soberanos mais altos).

Os diagnósticos de adequação indicam que a combinação de critérios é estatisticamente defensável no período analisado. O teste de Bartlett rejeita matriz identidade e o KMO (0,563) situa-se em patamar aceitável; o número de condição ($\kappa=0,45$) afasta colinearidade severa. A consistência interna moderada (alfa=0,426; ômega=0,574) confirma a natureza multidimensional do índice, coerente com uma medida multicritério. A PCA mostra que câmbio, CDS, commodities e reservas carregam positivamente na primeira componente, enquanto juros dos EUA carregam negativamente, alinhando-se à literatura sobre aperto monetário e ciclo financeiro global. Reservas aparecem como variável amortecedora, conforme evidências de crises anteriores.

A análise leave-one-out reforçou a validade incremental: a exclusão do IDP reduz substancialmente a correlação com o escore completo e altera o ranking, ao passo que a retirada das demais variáveis preserva alta correlação ($\rho \geq 0,99$) e sobreposição quase total do Top-10,

sugerindo redundância parcial entre indicadores financeiros e robustez do ranking. Assim, justifica-se manter todos os critérios, reconhecendo o IDP como variável estrutural e o bloco financeiro como modulador das condições de mercado.

5. Considerações Finais

Os resultados confirmam evidências da literatura sobre a pró-ciclicidade dos fluxos, a primazia dos fatores externos e a sensibilidade cambial a choques globais. Encontrou-se que a vulnerabilidade externa brasileira é fortemente condicionada por variáveis financeiras internacionais, enquanto fatores domésticos atuam majoritariamente como amortecedores. O índice mensal sintetizado via TOPSIS mostrou-se útil para classificar períodos de maior e menor resiliência, com média de 0,444 e distribuição relativamente equilibrada por tercís, evidenciando alternância cíclica entre regimes de risco. Os extremos foram compatíveis com eventos globais conhecidos, como o afrouxamento monetário pós-2008, a crise de 2015–16 e os efeitos da guerra na Ucrânia sobre termos de troca em 2022.

As análises estruturais indicaram que o Investimento Direto no País desempenhou papel central, e que câmbio, CDS, VIX e juros dos EUA modulam o índice com sinais previstos pela literatura. A PCA e as correlações corroboraram a consistência da construção, enquanto análises de robustez mostraram estabilidade do índice à retirada de variáveis, exceto o IDP. Do ponto de vista de política econômica, os achados reforçam a importância de preservar liquidez externa e sustentar fluxos estáveis de IDE. Como limitações, destacam-se o KMO moderado, a baixa consistência interna típica de construtos multicritério e a sensibilidade a escolhas de normalização. Pesquisas futuras podem incorporar pesos dinâmicos, nowcasting, validações out-of-sample e métodos multicritério complementares (como TOPSIS-2N/2NE e modelos não compensatórios).

REFERÊNCIAS

- ALINEZHAD, A.; KHALILI, J. CRITIC method. In: *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADm)*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 199-203.
- AMUDHA, M.; RAMACHANDRAN, M.; SARAVANAN, V.; ANUSUYA, P.; GAYATHRI, R. A study on TOPSIS MCDM techniques and its application. *Data Analytics and Artificial Intelligence*, v. 1, n. 1, p. 09–14, 2021.
- ATHUKORALA, P. C.; RAJAPATIRANA, S. Capital inflows and the real exchange rate: A comparative study of Asia and Latin America. *World Economy*, v. 26, n. 4, p. 613–637, 2003.
- BOEHM, C. E.; KRONER, T. N. Os EUA, as notícias econômicas e o ciclo financeiro global. *Revista de Estudos Econômicos*, rda020, 2025.
- COLOMBO, J. A.; LONCAN, T. R.; CALDEIRA, J. F. Do foreign portfolio capital flows affect domestic investment? Evidence from Brazil. *International Journal of Finance & Economics*, v. 24, n. 2, p. 855–883, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ijfe.1695>.
- DANIATI, E.; UTAMA, H. Clustering K-means for criteria weighting with improvement result of alternative decisions using SAW and TOPSIS. In: *2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*. IEEE, 2019. p. 73-78.
- DE PAULA, L. F.; FERRARI-FILHO, F.; GOMES, A. M. Capital flows, international imbalances and economic policies in Latin America. In: ARESTIS, P.; SAWYER, M. (Eds.). *Economic Policies, Governance and the New Economics*. Palgrave Macmillan, 2013. p. 209–248.
- FRANKEL, J.; SARAVELOS, G. Indicadores antecedentes podem avaliar a vulnerabilidade dos países? Evidências da crise financeira global de 2008–2009. *Journal of International Economics*, v. 87, n. 2, p. 216–231, 2012.
- GALLAGHER, K. P.; MAGALHÃES PRATES, D. Financialization and the resource curse: The challenge of exchange rate management in Brazil. *Brazilian Journal of Political Economy*, 2014.
- JONGWANICH, J.; KOHPAIBOON, A. Capital flows and real exchange rates in emerging Asian countries. *Journal of Asian Economics*, v. 24, n. 2, p. 138–146, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2012.10.006>.
- JORDÀ, Ò. (2005). Estimation and inference of impulse responses by local projections. *American economic review*, 95(1), 161-182. DOI: 10.1257/0002828053828518.
- KALTENBRUNNER, A. Currency internationalisation and exchange rate dynamics in emerging markets: A Post Keynesian analysis of Brazil. 2011. Tese (Doutorado) – SOAS, University of London, Londres, 2011.
- LIU, L.; GOZGOR, G.; MAHALIK, M. K.; PAL, S. The impact of the US-China tensions on FDI dynamics in emerging economies. *Finance Research Letters*, v. 78, 107255, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107255>.
- MAÊDA, S. M. L.; GOMES, C. F. S.; COSTA JUNIOR, C. L.; LIMA JUNIOR, F. R. Investments in times of pandemics: An approach by the SAPEVO-M-NC method. In: CARVALHO, J. P. et al. (Eds.). *Modern Management Based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems III*. IOS Press, 2021. p. 161–168. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/FAIA210244>.
- MARES, D. R. Achieving Sustainable and Inclusive Economic Growth in Latin America: National Development During The Commodity Boom. *Revista Neiba, Cadernos Argentina Brasil*, e51159, 2020.



OKUMURA, S.; SUZUKI, Y.; TAKEUCHI, I. Quick sensitivity analysis for incremental data modification and its application to leave-one-out CV in linear classification problems. In: Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, 2015. p. 885–894.

PERLI, R.; LESUEUR, E. The effects of the post-COVID inflation and the Federal Reserve’s policy tightening response on financial markets. In: Monetary Policy Responses To the Post-Pandemic Inflation. Centre for Economic Policy Research, Paris, 2024. p. 347–368.

SILVA, M. C.; GOMES, C. F. S.; COSTA JUNIOR, C. L. A hybrid multicriteria methodology Topsis-Macbeth-2n applied in the ordering of technology transfer offices. Pesquisa Operacional, v. 38, n. 3, p. 435–456, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.03.0413>.

SILVA, N. F.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S.; ANDRADE, L. P. An integrated CRITIC and Grey Relational Analysis approach for investment portfolio selection. Decision Analytics Journal, v. 8, 100285, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100285>.

SUN, W.; AN, L. Dynamics of floating exchange rate: How important are capital flows relative to macroeconomic fundamentals? Journal of Economics and Finance, v. 35, n. 4, p. 456–472, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12197-009-9103-5>.

TABAK, B. M. The dynamic relationship between stock prices and exchange rates: Evidence for Brazil. International Journal of Theoretical and Applied Finance, v. 9, n. 8, p. 1377–1396, 2006.

TERHUNE, C. L. The Taper Tantrum of 2013: Momentum-Driven or a Return to Fundamentals? Finance Undergraduate Honors Theses, 2016. Disponível em: <https://scholarworks.uark.edu/finnuht/26>.

YILMAZ, A.; ÇETINER, Ö. Risk in Turkish economy: The linkage between credit default swap (CDS), current account deficit and exchange rate. In: Uluslararası Sosyal Araştırmalar Kongresi (USAK’17) International Social Research Congress. İstanbul, Turquia, 2017.