

X Prêmio Serviço Florestal Brasileiro

9. Instrumentos econômicos e financeiros, com ênfase em pelo menos um dos seguintes tópicos: Programa de Regularização Ambiental (PRA); Cota de Reserva Ambiental (CRA); Pagamento por Serviços Ambientais (PSA); e Crédito Rural e Sistema Tributário.

Precificação de Ativos Florestais no Brasil: Evidência Macroeconômica,
Climática e Implicações para Políticas Públicas

Resumo

A ausência de preços observáveis para ativos florestais representa um desafio central para a formulação de políticas públicas no setor. Diferentemente de ativos tradicionais, cujos preços são determinados pelos mercados, ativos florestais não possuem um mecanismo de precificação bem estabelecido. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é construir um índice de precificação de ativos florestais que incorpore influências locais e internacionais, refletindo a dinâmica de fatores macroeconômicos, climáticos e de incerteza. Para isso, é proposto o Índice de Precificação de Ativos Florestais (IPAF), com abrangência nacional, construído a partir dos preços da madeira e do carbono. A dinâmica do IPAF é analisada por meio de um modelo Structural Vector Autoregressive (SVAR), utilizando dados mensais de dezembro de 2009 a dezembro de 2024. Os resultados indicam que choques macroeconômicos e climáticos exercem impactos significativos sobre o índice. Em particular, o aumento de 1°C na temperatura global está associado a uma redução de aproximadamente 8% do IPAF, enquanto o aumento de 1 ponto percentual na taxa de juros Selic implica uma queda de cerca de 10% em quatro meses. O estudo contribui ao propor um indicador nacional inédito e ao integrar múltiplas dimensões na análise da precificação de ativos florestais, permitindo direcionar o crédito rural, definir preços no Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e servir como *proxy* para o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE).

Palavras-Chave: Ativos florestais, Precificação, Políticas Públicas.

1. Introdução

As economias modernas se organizam pelo mecanismo do preço, que transmite informações para os agentes econômicos, indivíduos e empresas. Com base nessas informações, ações são tomadas com implicações sobre a sociedade, a economia e o meio ambiente. Na esfera pública, o governo pode elaborar políticas públicas com base nesses preços – e também alterando esses preços, caso seja necessário alterar os incentivos. Em uma palavra, preços coordenam decisões econômicas e a alocação de recursos. Todavia, na esfera ambiental, não é clara a formação de preços, principalmente no tocante a ativos florestais.

A ausência de indicadores de precificação de ativos florestais dificulta o gerenciamento de políticas públicas por parte do Sistema Florestal Brasileiro (SFB). Por exemplo, a concessão de crédito rural, o Pagamento de Serviços Ambientais (PSA) e um mercado de carbono teriam maior efetividade caso existisse um preço de ativos florestais guiando, direcionando e redirecionando os participantes dessas atividades. Daí a necessidade da construção de um indicador de precificação de ativos florestais.

A literatura tem caminhado para a estimação de ativos florestais, como os trabalhos de Yao e Mei (2015), para os Estados Unidos da América (EUA), e Gasparinetti et al. (2025), para o Brasil. Todavia, enquanto o primeiro trabalho utilizou 3 variáveis para representar ativos florestais (preço da terra, produtos florestais e produtos de madeira), sem agregá-los em um indicador nacional, o segundo calculou o preço do ativo florestal somente para uma área da floresta Amazônica, sem abrangência nacional.

Outra limitação da literatura é mostrar como os cenários macroeconômico, climático e geopolítico influenciam a precificação de ativos florestais. Alguns estudos relacionaram o preço de ativos com variáveis como desastres climáticos e choques de saúde (Mulungu e Manning, 2023; Kuuwill et al., 2025), mas falta uma análise sistemática incorporando fatores macroeconômicos e climáticos.

Desta forma, a proposta desse estudo é construir um indicador de precificação de ativos florestais para o Brasil. Posteriormente, capturar a influência de fatores macroeconômicos, climáticos e de incerteza sobre esse indicador.

Desta forma, o objetivo principal é construir o indicador de precificação de ativos florestais e mensurar a influência de fatores macroeconômicos, climáticos e de incerteza. Objetivos secundários são:

- i) estimar o impacto do aquecimento global sobre ativos florestais;

- ii) mensurar o impacto do desmatamento da floresta Amazônia sobre ativos florestais;
- iii) capturar a influência da política monetária do banco central sobre ativos florestais;
- iv) avaliar o efeito do câmbio sobre ativos florestais;
- v) estimar a influência da incerteza econômica e de tensões geopolíticas sobre ativos florestais.

O índice de precificação de ativos florestais (IPAF) é construído a partir de uma combinação dos preços da madeira e do carbono. A influência de fatores macroeconômicos, climáticos e de incerteza sobre os ativos florestais é mensurada pelo uso do modelo Structural Vector Autoregressive (SVAR) por meio de funções impulso resposta e decomposição da variância entre o período de dezembro de 2009 a dezembro de 2024 pelo *software* MATLAB. Utiliza-se a decomposição de Cholesky, a qual ordena as variáveis para aplicar choques no sistema. Diversos testes de robustez são implementados para testar a validade dos resultados, como a projeção local de Jordà (2005), defasagens alternativas e diferentes períodos de análise.

Este estudo contribui para a literatura em três dimensões principais:

- i) propõe um índice nacional de precificação de ativos florestais;
- ii) integra fatores macroeconômicos, climáticos e de incerteza em um único arcabouço empírico;
- iii) fornece evidência dinâmica inédita para o caso brasileiro.

A justificativa do estudo decorre da necessidade de criar um índice de precificação de ativos florestais para melhorar a formulação de políticas públicas no SFB, guiando decisões de contratos, rentabilidade econômica e a concessão de crédito rural. O índice criado incorpora fatores nacionais e globais, auxiliando o Brasil a ter um índice que acompanha tendências climáticas globais. Adicionalmente, visto que a economia global tem sofrido eventos geopolíticos importantes, como a eclosão de guerras, e enfrenta os efeitos da mudança climática, esses fatores podem afetar a precificação de ativos florestais. Para a correta mensuração de ativos florestais, torna-se necessário incorporar o efeito externo, advindo para além das fronteiras nacionais, e efeitos nacionais, como a influência macroeconômica. Assim, este estudo fornece um indicador de precificação de ativos florestais capaz de integrar fatores nacionais e internacionais, aumentando a precisão das políticas públicas do SFB e permitindo decisões mais eficientes em crédito rural, PSA e mercados de carbono.

O IPAF pode ser incorporado como variável de referência para definição de pagamentos, subsídios e instrumentos financeiros no setor florestal brasileiro.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta a revisão da literatura. A Seção 3 descreve os dados e a metodologia. A Seção 4 apresenta os resultados empíricos. A Seção 5 mostra as implicações práticas do estudo. A Seção 6 conclui a investigação.

2. Estudos sobre Ativos Florestais e Lacunas na Literatura

Chudy e Cubbage (2020) argumentam que ativos florestais estão se expandindo, servindo para a diversificação de investimentos e para proteção contra inflação. Neste sentido, ativos florestais estão sendo tratados similarmente a ativos financeiros.

No tocante à *hedge* para inflação, Washburn e Binkley (1993) obtiveram evidência de que o retorno financeiro de florestas tem sido superior à inflação nos EUA, servindo, portanto, como proteção ao poder de compra. Também para os EUA, Yao e Mei (2015) encontraram evidência de que o retorno de ativos florestais gera um excesso de retorno em comparação com ativos de baixo risco, embora esse retorno seja flutuante ao longo do tempo.

No Brasil, como nos EUA e em outros países, há evidência de crescente precificação de ativos florestais. Silva (2025) argumentou que gestoras de investimento em madeira têm contribuído para a atração de investimento nacional e estrangeiro no território brasileiro, processo que o estudo denotou de financeirização da terra.

Uma vertente da literatura analisa o impacto de choques sobre os preços de ativos florestais. Mulungu e Manning (2023) analisaram o impacto de choques climáticos e concluíram que ativos florestais são usados como proteção a esses choques. Kuuwill et al. (2025) analisou choques de saúde, Fuchs et al. (2022) se concentrou em choques de receita fiscal, Asada et al. (2023) verificou choques climáticos, e Antonarakis et al. (2022) mostrou o impacto de crises financeiras.

Esses trabalhos mostram diferentes choques impactando a precificação de ativos florestais. Todavia, há lacunas: i) ausência de análises mostrando o efeito da geopolítica sobre a precificação de ativos florestais, ii) similarmente ao ponto i), ausência de conexões entre a incerteza econômica e a precificação desses ativos, iii) ausência da incorporação sistemática da influência de fatores macroeconômicos na precificação, e iv) embora choques climáticos tenham sido analisados, talvez a principal métrica desse processo, a temperatura global, ainda não foi incorporada nesses estudos.

Nos últimos anos, a economia global sofreu choques geopolíticos, como a eclosão da pandemia Covid-19, a guerra da Ucrânia com a Rússia, a guerra comercial dos EUA com a China e recentemente a guerra entre os EUA, o Irã e Israel. Há trabalhos mostrando que eventos desse tipo, isto é, de teor geopolítico, impactam a precificação de ativos financeiros (Umar et al., 2022). Todavia, a literatura sobre ativos florestais tem ignorado a incorporação do risco geopolítico na precificação.

Batabyal e Killins (2021) mostraram que a incerteza econômica impacta o retorno de ativos financeiros no Canadá. Assim como a economia global tem sofrido choques geopolíticos, a economia brasileira também tem testemunhado fortes oscilações, como o *impeachment* de Dilma Rousseff entre 2015 e 2016 e a crescente dívida pública acompanhada por juros ascendentes.

Embora alguns trabalhos tenham usado variáveis macroeconômicas para buscar relações com ativos florestais, como Antonarakis et al. (2022), falta um estudo sistemático que mensure o impacto da macroeconomia sobre essa precificação. Por exemplo, Vartanian (2012) e Soares et al. (2021) mostraram que a taxa de juros e a taxa de câmbio afetam o mercado de ações brasileiro. Como essas variáveis impactam a precificação de ativos florestais? Dado que tanto a taxa de juros Selic quanto a taxa cambial alteram a lucratividade de empresas e, portanto, a exploração de recursos naturais, o uso das florestas e as emissões de gás carbono, é provável que mudanças nessas taxas, isto é, no cenário macroeconômico, altere a precificação futura de ativos florestais.

Diversos trabalhos têm reportado que a mudança climática impacta o meio ambiente, a economia e a lucratividade de empresas (Tol, 2018; Bilal e Kanzig, 2026). Consequentemente, o uso de florestas e a precificação de seus ativos podem ser sensíveis ao aguçamento da mudança climática. Mulungu e Manning (2023) reforçam essa afirmação mostrando o impacto da mudança climática sobre ativos florestais. Todavia, a representação da mudança climática por meio da temperatura global, a que captura a temperatura dos oceanos, não foi usada nessa precificação.

Além dessas lacunas, uma das dificuldades na análise de ativos florestais é a precificação. Gasparinetti et al. (2025) mensuraram o valor das florestas públicas não destinadas (FPNDs) utilizando o valor presente líquido. Os autores mensuraram o valor de uso direto e indireto da terra e da floresta, incorporando atividades como a silvicultura e o sequestro de carbono.

O presente estudo estende a literatura ao propor um índice nacional de precificação de ativos florestais para o Brasil, superando limitações de escopo geográfico

e de mensuração observadas em estudos anteriores. Além disso, o trabalho avança ao integrar, de forma sistemática, fatores climáticos, macroeconômicos e de incerteza — dimensões frequentemente analisadas de maneira isolada. Ao incorporar a temperatura global como *proxy* central da mudança climática e incluir medidas de incerteza econômica e risco geopolítico, o estudo contribui para uma compreensão mais abrangente dos determinantes da precificação de ativos florestais.

3. Dados e Metodologia

3.1 Dados

A Tabela 1 apresenta as variáveis utilizadas no estudo. O Índice de precificação de ativos florestais (IPAF) consiste na ponderação do preço da madeira e do preço do carbono:

$$IPAF_t = \alpha P_{madeira_t} + (1 - \alpha) P_{carbono_t} \quad (1)$$

Essa formulação permite interpretar o IPAF como uma medida sintética do valor econômico de ativos florestais, combinando componentes do mercado de produtos florestais (madeira) e ambiental (carbono).

O preço da madeira ($P_{madeira_t}$, na Equação 1) é representado pelo índice de preços ao produtor da indústria de transformação de madeira, um índice de base 100 em dezembro de 2018 coletado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Esse indicador captura pressões de custo na indústria florestal, as dinâmicas de oferta e de demanda da madeira e a inflação setorial no uso da madeira como insumo produtivo. Desta forma, esse indicador é usado como *proxy* para o preço da madeira.

Tabela 1: Variáveis, Definições e Fontes

Variáveis	Definições	Fontes
<i>IPAF</i>	Índice de precificação de ativos florestais (100 = 2018M12)	IPEA e Investing.com
<i>desmat</i>	Desmatamento (focos ativos de queimadas)	INPE/Queimadas
<i>temp</i>	Anomalias na temperatura (em °C)	Berkeley Earth
<i>selic</i>	Taxa de juros Selic	IPEA, banco central
<i>cambio</i>	Taxa de câmbio (R\$/US\$)	IPEA, banco central
<i>GPR</i>	Índice de risco geopolítico	Caldara e Iacoviello (2022)
<i>inc</i>	Índice de incerteza econômica do Brasil	Economic Policy Uncertainty

Nota: Elaboração própria.

O preço do carbono (P_{carbono_t} , na Equação 1) é denotado pelo custo de emitir 1 tonelada de gás carbono (CO_2). Esse preço é gerado pelo EU ETS (Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia), o qual impõe limites para emissões a setores e indústrias e cobra pelas emissões por meio de licenças comercializáveis. A investing.com fornece os preços futuros de carbono. O preço do carbono foi transformado em um índice de base 100 em dezembro de 2018 para se adequar ao preço da madeira.

O Brasil não possui séries temporais extensas de preços de carbono. Desta forma, utiliza-se o preço do EU ETS como *proxy* internacional para o custo do carbono enfrentado por agentes econômicos, dada a natureza global das externalidades climáticas. A emissão de carbono se caracteriza por ser uma externalidade global e um bem público, isto é, não é precificada automaticamente pelo mercado e emissões de um país afetam todo o planeta.

Na Equação 1, o termo α é o peso dado a cada um dos preços na formação do IPAF. Na ausência de pesos observáveis para a importância relativa da madeira e do carbono na precificação de ativos florestais brasileiros, assume-se inicialmente ponderação igualitária ($\alpha = 1/2$), sendo posteriormente realizados testes de robustez com diferentes pesos (ver seção 4.2.6).

A Figura 1 apresenta o IPAF. Observa-se que o IPAF teve valores razoavelmente constantes entre 2010 e 2017. Todavia, desde 2018 o índice subiu de valor, atingindo e superando levemente o valor de 250 entre 2022 e 2023. O IPAF termina a série acima de 200 (a parte empírica analisa a possível quebra estrutural ocorrida após 2018).

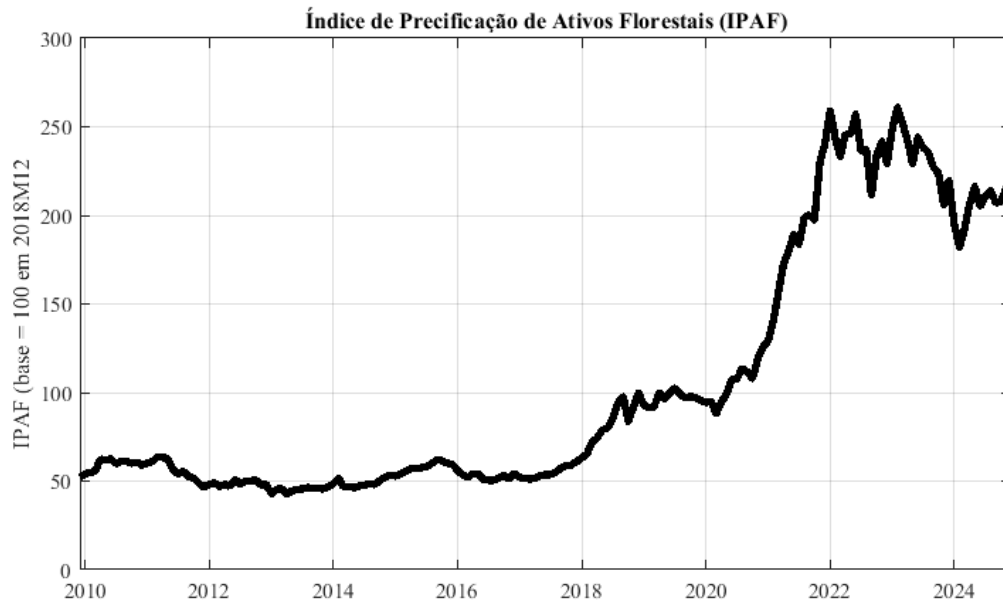


Figura 1: Série temporal do IPAF

Nota: Elaboração própria com dados descritos na Tabela 1.

As variáveis climáticas são representadas pelo desmatamento e pelas anomalias na temperatura. O desmatamento (*desmat*) é representado pelos focos ativos de queimadas na Amazônia Legal, impactando o bioma da Amazônia. Escolheu-se essa área e bioma pela importância da floresta Amazônica na mudança climática e para a precificação de ativos florestais do Brasil. Os dados foram coletados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Anomalias na temperatura (*temp*) representam desvios da temperatura, em graus Celsius, em relação ao cenário base (período de 1951 a 1980). Se após o período base há valores positivos para a temperatura, é indicativo de anomalias na temperatura, denotando um crescente aquecimento do planeta atípico para o período base. Utiliza-se uma medida de temperatura global e não local devido ao argumento de Bilal e Kanzig (2026), o qual mostraram que temperaturas globais capturam, além da temperatura da terra, a temperatura do oceano, melhorando as estimativas. Esse dado foi coletado do Berkeley Earth.

As variáveis macroeconômicas são representadas pela taxa de juros Selic (*selic*) e pela taxa de câmbio (*cambio*). A taxa de juros Selic é a taxa de juros de referência da economia brasileira, servindo de âncora para as demais taxas de juros.

A taxa de câmbio é a razão de reais por dólares, ou seja, é o preço relativo da moeda nacional. Além disso, em estudos macroeconômicos, a taxa de câmbio consegue

absorver efeitos de incerteza e de choques, funcionando como um termômetro da atividade econômica e das expectativas. As duas variáveis foram coletadas pelo IPEA e pelo banco central do Brasil.

As variáveis de incerteza incorporam o cenário internacional, pelo risco geopolítico (*GPR*), e nacional, pela incerteza econômica do Brasil (*inc*). As duas variáveis são construídas pelo mapeamento de palavras em jornais. O risco geopolítico mapeia palavras relacionadas à conflitos e tensões geopolíticos, ao passo que a incerteza econômica mapeia palavras relacionadas à incerteza na esfera econômica do Brasil. O aumento desses indicadores indica aumento na incerteza. O GPR foi coletado no trabalho de Caldara e Iacoviello (2022) e a incerteza econômica no Economic Policy Uncertainty.

Desta forma, o estudo utiliza fatores climáticos (temperatura e desmatamento), macroeconômicos (taxa de juros Selic e taxa cambial) e de incerteza (risco geopolítico e incerteza econômica) para detectar os motores que afetam a precificação de ativos florestais. Bin et al. (2003) mostraram a influência das taxas de juros e de câmbio sobre a precificação de ativos, Etwire et al. (2022) e Ahmed et al. (2025) obtiveram estimativas do impacto da mudança climática sobre ativos florestais e Bretschger e Soretz (2022) conectaram a influência da incerteza sobre ativos financeiros.

Todos esses dados são mensais. Dado que a série do preço da madeira, usada para construir o IPAF, se inicia em dezembro de 2009 e termina em dezembro de 2024, este será o período do estudo (2009M12-2024M12), totalizando em 181 observações por variável. A Tabela A, no apêndice, apresenta a análise descritiva das variáveis.

3.2 Metodologia

O método usado é o SVAR. Dado o objetivo de detectar as principais forças impactando a precificação de ativos florestais, o SVAR consegue mensurar efeitos de transbordamento (diferentes mercados afetando determinada variável) e de encadeamento (fornece uma explicação para os choques).

Outros modelos, como os dados em painel, o Autoregressive Distributed Lag (ARDL) e o Bayesian Vector Autoregressive (BVAR) com a identificação de choque *max-share* poderiam ter sido usados. Todavia, dados os objetivos de pesquisa, esses modelos podem apresentar limitações para atingir os objetivos.

O modelo de dados em painel fornece análise de causalidade, mas não implementa análises de efeitos de transbordamento e não realiza análises de encadeamento de variáveis. Ao passo que o BVAR com o *max-share* captura efeitos de transbordamento, a

identificação foca na construção de um choque específico, reduzindo a interpretação direta dos múltiplos determinantes do IPAF. Finalmente, o ARDL trata determinadas variáveis como exógenas, estratégia questionável em estudos macroeconômicos, quando a maior parte das variáveis são endógenas. Neste sentido, o SVAR consegue gerenciar essas limitações.

O uso do SVAR é tradicional em estudos que mensuram efeitos de transbordamento e de encadeamento das variáveis. Castelnuovo (2016) analisou choques monetários na Zona do Euro e mapeou as respostas da inflação e do produto. Esposito e Tedeschi (2025) mostraram o impacto de choques climáticos e de incerteza sobre a inflação. Wang e McPhail (2004) analisaram o impacto de choques de energia sobre o preço de *commodities*.

A motivação do uso do SVAR é apresentada pela Equação 2, a qual denota um modelo VAR defasado em p períodos:

$$Y_t = \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + u \quad (2)$$

Na Equação 2, Y_t é o vetor das variáveis endógenas no período t ; Y_{t-1} é o vetor das variáveis endógenas defasado em 1 período; β_1 é o coeficiente do vetor das variáveis defasado em 1 período; $\beta_2 Y_{t-2}$ representam o coeficiente e o vetor de variáveis defasado em 2 períodos; $\beta_p Y_{t-p}$ representam a defasagem do modelo até o período p ; u_t é o termo de inovações.

O objetivo é identificar o vetor de choque estrutural ε_t :

$$u_t = A\varepsilon_t \quad (3)$$

Todavia, a forma reduzida do modelo nos fornece apenas o vetor u_t .

Desta forma, diferentes identificações de choque são usadas para obter a matriz A .

Neste estudo, utiliza-se a decomposição de Cholesky, que consiste em ordenar as variáveis para que elas gerem uma reação em cadeia a choques implementados.

A premissa da identificação de Cholesky se passa pelo ordenamento seguindo o grau de exogeneidade das variáveis. O ordenamento utilizado é o seguinte:

$$SVAR = (temp_t, GPR_t, inc_t, selic_t, cambio_t, desmat_t, IPAF_t) \quad (4)$$

O raciocínio da Equação 4 é que variações na temperatura global ($temp_t$) não são afetadas pelas variáveis do modelo. Entretanto, mudanças na temperatura global afetam o cenário internacional, capturado pelo risco geopolítico (GPR_t). As mudanças no cenário internacional impactam as expectativas dos indivíduos do Brasil, influenciando a incerteza econômica (inc_t). Subsequentemente, o banco central brasileiro pode reagir a essas flutuações, alterando a taxa de juros Selic ($selic_t$). Como a taxa de câmbio ($cambio_t$) é vulnerável tanto a mudanças externas quanto internas, ela se altera devido a esse cenário de flutuações. O desmatamento da floresta Amazônica ($desmat_t$) é sensível a essas mudanças, especialmente por conta da taxa de juros Selic e da taxa de câmbio, as quais afetam a lucratividade da exploração de recursos naturais. Finalmente, o IPAF responde a essas forças¹.

Embora a identificação por Cholesky imponha restrições contemporâneas, ela fornece uma estrutura transparente e amplamente utilizada para interpretar relações dinâmicas entre variáveis macroeconômicas, climáticas e de incerteza.

A parte empírica utiliza duas ferramentas para a análise. A primeira é a função impulso resposta (FIR). A FIR consiste na aplicação de choques sobre as variáveis da Equação 4 e na apresentação das respostas do IPAF. Desta forma, simulam-se choques estruturais no sistema e verifica-se como o IPAF responde a elas. Em todos os casos, observa-se a resposta em porcentagem do IPAF. As FIR possuem intervalo de confiança de 68% construído por bootstrap.

A segunda ferramenta é a forecast error variance decomposition (FEVD) ou simplesmente decomposição da variância. A decomposição da variância mostrará o quanto da variação do IPAF decorre da influência das demais variáveis, permitindo a mensuração da influência de choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza.

Devido à definição das variáveis e aos choques implementados, todas as variáveis são usadas em logaritmo, exceto a taxa de juros Selic e a temperatura global. A defasagem (lags) do modelo é 2, escolhida pelos critérios de informação de Akaike (AIC), Schwarz (SC), Hannan-Qinn (HQ), Final Prediction Error (FPE) e Likelihood Ratio Test (LR).

¹ Ordenações alternativas foram testadas, sem alteração qualitativa dos resultados. Os resultados completos estão disponíveis mediante solicitação.

Esses critérios indicaram de 1 a 8 lags. Por parcimônia, foi escolhido 2 lags. Todavia, como é mostrado na parte empírica, os resultados não são sensíveis aos lags.

Além da especificação descrita nesta seção, vários testes de robustez são implementados. Utiliza-se a projeção local de Jordà (2005) para mitigar especificações incorretas do modelo, altera-se o período analisado por conta de eventos como a Covid-19 e a guerra da Ucrânia com a Rússia, testa-se o modelo usando 4, 6 e 12 *lags* e possíveis quebras estruturais e raiz unitária são acomodadas. Todos esses testes funcionam para mostrar a resiliência dos resultados e a confiabilidade no uso do IPAF em políticas florestais.

4. Quais Fatores Influenciam a Precificação de Ativos Florestais?

4.1 Resultados

A Figura 2 apresenta choques climáticos (temperatura e desmatamento), macroeconômicos (taxas de juros Selic e câmbio) e de incerteza (risco geopolítico e incerteza econômica). Em todos os casos, a figura mostra como o IPAF responde a esses choques. Os choques foram normalizados de forma a representar variações economicamente interpretáveis: 1°C para temperatura, 1 ponto percentual para a taxa de juros e 1% para as demais variáveis. No tocante à temperatura, simula-se o aumento de 1°C (como se o planeta ficasse mais quente em 1 grau Célsius); no tocante à taxa de juros Selic, simula-se um aumento de 1 ponto percentual (como se o banco central subisse a taxa de juros, por exemplo, de 15% para 16%). Nos demais casos, os choques são de aumentos de 1%.

As estimativas são válidas estatisticamente somente quando as bandas de confiança estão no mesmo quadrante. Caso contrário, nada se pode afirmar sobre as estimativas.

A Figura 2 mostra que o IPAF se reduz entre 5 a 10% em virtude do aumento da temperatura em 1°C. Em particular, o IPAF decresce em 8% em 4 meses. O aumento do risco geopolítico não teve resultado estatisticamente válido. O aumento da incerteza econômica reduz o IPAF somente no primeiro mês, perdendo efeito logo em seguida.

Os choques macroeconômicos são mais expressivos: o aumento da taxa de juros Selic em 1 ponto percentual corresponde à queda do IPAF em 10% em 4 meses, se elevando em 20% em 8 meses, e se acumulando em aproximadamente 30% em um ano. Note que o IPAF leva 4 meses para reagir às mudanças na taxa de juros Selic, denotando um tempo de ajuste de ativos florestais às mudanças monetárias.

O choque cambial, ou seja, a depreciação cambial em 1% corresponde ao aumento do IPAF em aproximadamente 0.7%. O aumento do desmatamento em 1% é relacionado com a queda do IPAF em aproximadamente 0.01%.

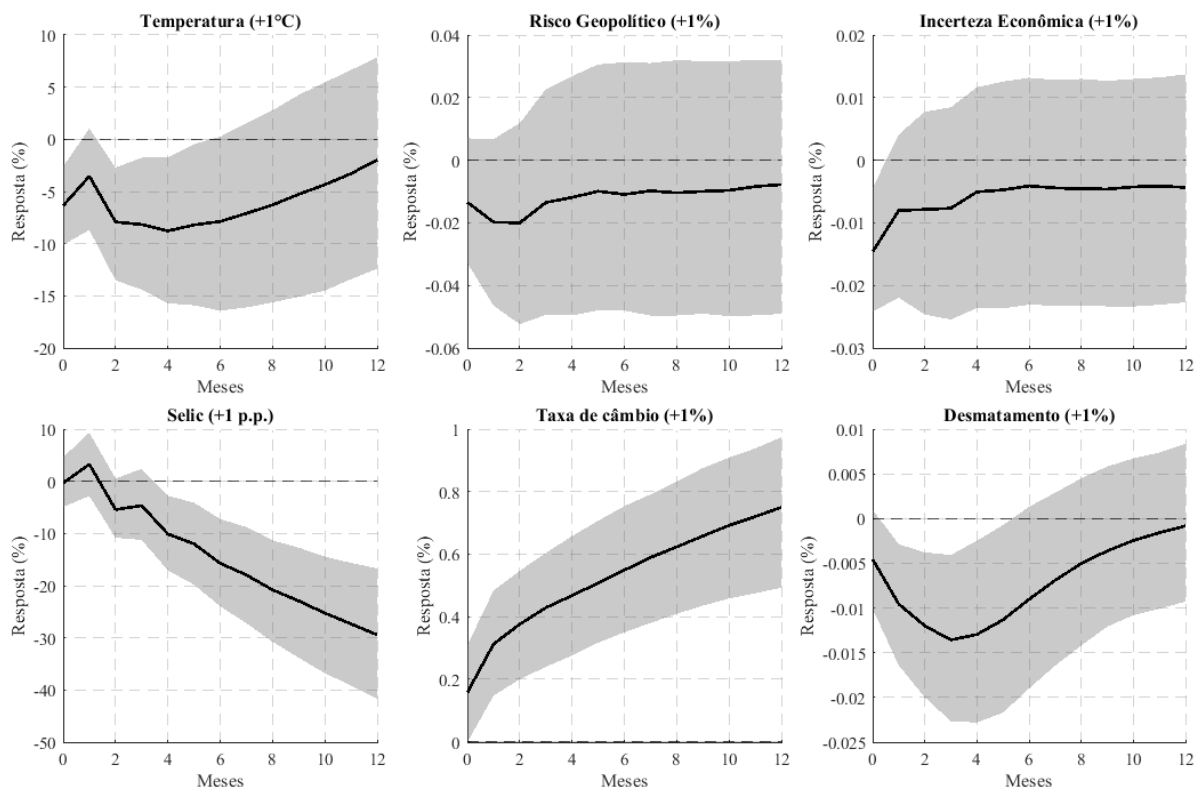


Figura 2: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF.

Nota: Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha sólida preta é a estimativa média e a banda cinza é o intervalo de confiança de 68%. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

A Tabela 2 mostra a decomposição da variância do IPAF para todos os choques do modelo. A ideia é mensurar a influência de cada choque sobre a variação do IPAF. Neste sentido, essa tabela captura os principais elementos gerando flutuações nos preços de ativos florestais.

Tabela 2: Decomposição da variância do IPAF

Períodos	Temperatura	Risco Geopolítico	Incerteza Econômica	Taxa de juros Selic	Taxa de câmbio	Desmatamento	IPAF
1 mês	1.46 [0.25, 3.84]	0.26 [0.04, 1.68]	1.28 [0.20, 3.47]	0 [0.02, 1.07]	1.15 [0.13, 4.13]	0.33 [0.05, 1.92]	95.51 [88.13, 95.66]
12 meses	2.85 [0.80, 8.00]	0.28 [0.35, 4.25]	0.35 [0.34, 4.23]	6.05 [2.58, 15.34]	14.06 [6.25, 24.30]	1.8 [0.70, 5.72]	74.61 [51.85, 74.16]

Nota: A coluna “Períodos” mostra as estimativas no mês 1 e no mês 12. As demais colunas mostram a influência da respectiva variável sobre o IPAF, em valores percentuais. Em colchetes são os intervalos de confiança.

Nesse tipo de análise, o interesse repousa no último período, quando os choques concretizaram os seus efeitos. Portanto, observando o período 12, vê-se que as anomalias na temperatura são responsáveis por 2.8% da variação do IPAF; o risco geopolítico por 0.2%; a incerteza econômica por 0.3%; a taxa de juros Selic por 6%; a taxa de câmbio por 14%; o desmatamento por 1.8%. O próprio IPAF também explica parte de sua variação (em 74.6%), dado que seus valores passados ajudam a entender valores futuros (termo denotado de persistência temporal em séries temporais). A Tabela 2 confirma a influência de choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza sobre o IPAF observada na Figura 2, variando apenas o grau da importância de cada choque.

A discussão de resultados ocorrerá por blocos. Iniciando por choques climáticos, observou-se que o IPAF se reduziu tanto para aumentos nas anomalias na temperatura quanto para aumentos no desmatamento. Nos dois casos, há o progresso e a piora da mudança climática (e possivelmente maior frequência de desastres climáticos). Possivelmente há deterioração da qualidade das florestas e de seus produtos, perda de infraestrutura e redução do capital de empresas, reduzindo a produtividade e a produção da economia.

Bansal et al. (2016), Lee et al. (2022) e Attílio et al. (2026) mostraram que choques climáticos geram respostas heterogêneas em grupos de países. Um dos fatores determinantes é a geografia. Por exemplo, há evidência de que países considerados “quentes” (em termos de temperaturas médias) sofrem efeitos prejudiciais em choques climáticos. Esse pode ser o caso do Brasil, um país tropical.

Uma observação importante é que o choque de temperatura gera queda mais acentuada do IPAF do que o choque de desmatamento. Essa diferença confirma o

argumento de Bilal e Kanzig (2026) de que medidas de temperatura global captam melhor o efeito da mudança climática, pois incorporam as temperaturas dos oceanos, que são responsáveis por vários desastres climáticos.

Khurshid et al. (2024) mostrou que a incerteza afeta os preços de energia e de recursos naturais. As estimativas da Figura 2 e da Tabela 2 mostram que o efeito da incerteza tanto econômica quanto global (pelo risco geopolítico) não parece conduzir a precificação de ativos florestais do Brasil. Mesmo na decomposição da variância, na Tabela 2, as estimativas foram baixas se comparadas com os demais choques.

Por outro lado, os principais motores de precificação de ativos florestais são os choques macroeconômicos. O aumento da taxa de juros Selic pode significar a desaceleração da atividade econômica, com queda da demanda por consumo, piora no otimismo com o futuro (impactando negativamente o investimento presente e futuro), aumento do custo de financiamento e a queda do valor presente de ativos florestais. Todos esses fatores ajudam a explicar a queda do IPAF para choques monetários.

No tocante à taxa cambial, o Brasil é um grande exportador de *commodities*. Portanto, sua produção e exportação de *commodities* são sensíveis a mudanças no câmbio. A depreciação cambial facilita e incentiva o aumento de atividades de exploração, pois aumenta a lucratividade do setor de *commodities*. Consequentemente, o IPAF incorporaria esse efeito expansionista por meio de seu aumento ao longo do tempo.

Bolkesjø e Buongiorno (2006) apontaram que choques cambiais afetam tanto as exportações quanto as importações de produtos florestais. Scrimgeour (2014) simulou choques monetários e encontrou evidência de que preços de *commodities* decrescem. Esses trabalhos reforçam a influência de choques macroeconômicos na dinâmica de preços de ativos florestais.

Os resultados mostraram que os principais motores nas flutuações dos preços de ativos florestais brasileiros são macroeconômicos. Em segundo lugar, choques climáticos geram mudanças na precificação de ativos florestais, principalmente choques globais, como a temperatura. As estimativas fornecem baixa evidência de que choques de incerteza são relevantes para a precificação de ativos florestais. Uma explicação é que o possível efeito da incerteza foi incorporado pelos fatores macroeconômicos, a taxa de juros Selic e a taxa de câmbio. Finalmente, observando a Tabela 2, em 12 meses, a junção dos fatores macroeconômicos explica 20% da variação dos preços de ativos florestais.

Esses resultados possuem implicações diretas para a formulação de políticas públicas. A evidência de que choques macroeconômicos são os principais determinantes

da precificação de ativos florestais sugere que políticas monetárias e cambiais afetam indiretamente o uso e a conservação das florestas no Brasil. Nesse sentido, decisões do Banco Central podem influenciar não apenas a atividade econômica agregada, mas também o valor econômico dos ativos florestais, impactando incentivos para preservação ou exploração.

Adicionalmente, a relevância de fatores climáticos, como a temperatura global, indica que o avanço da mudança climática tende a reduzir o valor econômico das florestas, reforçando a necessidade de políticas ambientais coordenadas com instrumentos macroeconômicos. Dessa forma, a precificação de ativos florestais não deve ser tratada isoladamente, mas sim como parte de um sistema integrado que envolve política monetária, política cambial e políticas ambientais.

4.2 Testes de Robustez do Modelo

As próximas subseções testam os principais resultados. A consistência dos resultados sob múltiplas especificações reforça a confiabilidade do IPAF como instrumento potencial para formulação de políticas públicas no setor florestal.

4.2.1 Projeção Local

Diferentemente do modelo SVAR, a projeção local estima uma regressão separada para cada horizonte temporal. No caso do SVAR, os choques geram respostas obtidas pela extrapolação dinâmica do modelo estimado. Na projeção local, por sua vez, ao se estimar uma equação para cada horizonte, reduz-se a sensibilidade a possíveis erros decorrentes de especificações inadequadas (Jordà, 2005).

A projeção local é apresentada na Equação 5 abaixo:

$$y_{t+h} = \alpha_h + \beta_h \text{choque}_t + \gamma_h X_t + \varepsilon_{t+h} \quad (5)$$

Na Equação 5, y_{t+h} é a variável de interesse estimada h períodos à frente; α_h é a constante no período h ; choque_t é o choque estrutural recuperado do modelo SVAR; β_h é a função impulso resposta estimada no período h ; $\gamma_h X_t$ são os controles estimados (variável de interesse defasada); ε_{t+h} são os resíduos do modelo.

A Figura 3 replica os resultados anteriores com a adição dos resultados da projeção local (linha tracejada vermelha e banda vermelha). Observa-se que os resultados pouco se alteram ao utilizar a projeção local. O IPAF se reduz ao aumento da temperatura em

1°C, ao aumento da taxa de juros Selic em 1 ponto percentual, ao aumento do desmatamento em 1% e se eleva com a depreciação cambial de 1% tanto no SVAR quanto na projeção local. As diferenças decorrem na intensidade da resposta.

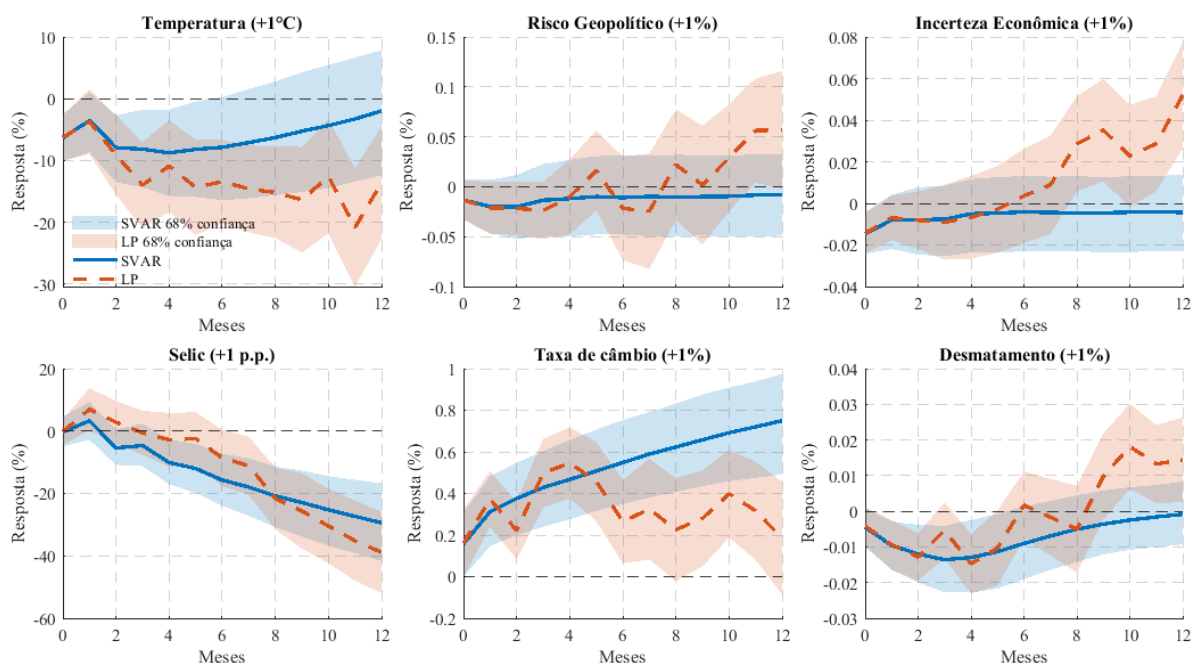


Figura 3: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF (projeção local)

Nota: Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha azul sólida (estimativa média) e banda azul (intervalo de confiança) correspondem ao modelo SVAR enquanto a linha vermelha pontilhada (estimativa média) e a banda vermelha (intervalo de confiança) correspondem à projeção local. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

As estimativas se distinguem em relação aos índices de incerteza. Na projeção local, tanto o risco geopolítico quanto a incerteza econômica elevam o valor do IPAF nos meses finais, ao passo que no SVAR os resultados não são estatisticamente significativos.

No geral, todavia, os principais resultados se mantiveram, mostrando pouca evidência de especificação incorreta do modelo.

Isso indica que os efeitos estimados não dependem da estrutura dinâmica imposta pelo SVAR, aumentando a credibilidade do IPAF como ferramenta empírica para análise de políticas.

4.2.2 Período Antes da Covid-19

A eclosão da pandemia em janeiro de 2020 pode afetar os resultados por conta das distorções que ela gerou. Para testar essa hipótese, estima-se o modelo antes da Covid-19. Desta forma, o período usado é 2009M12-2019M12. O ponto negativo dessa estratégia é a perda de observações (perde-se 60 observações ao excluir 5 anos da amostra), que pode comprometer os resultados. A Figura 4 apresenta os resultados para o modelo antes da Covid-19.

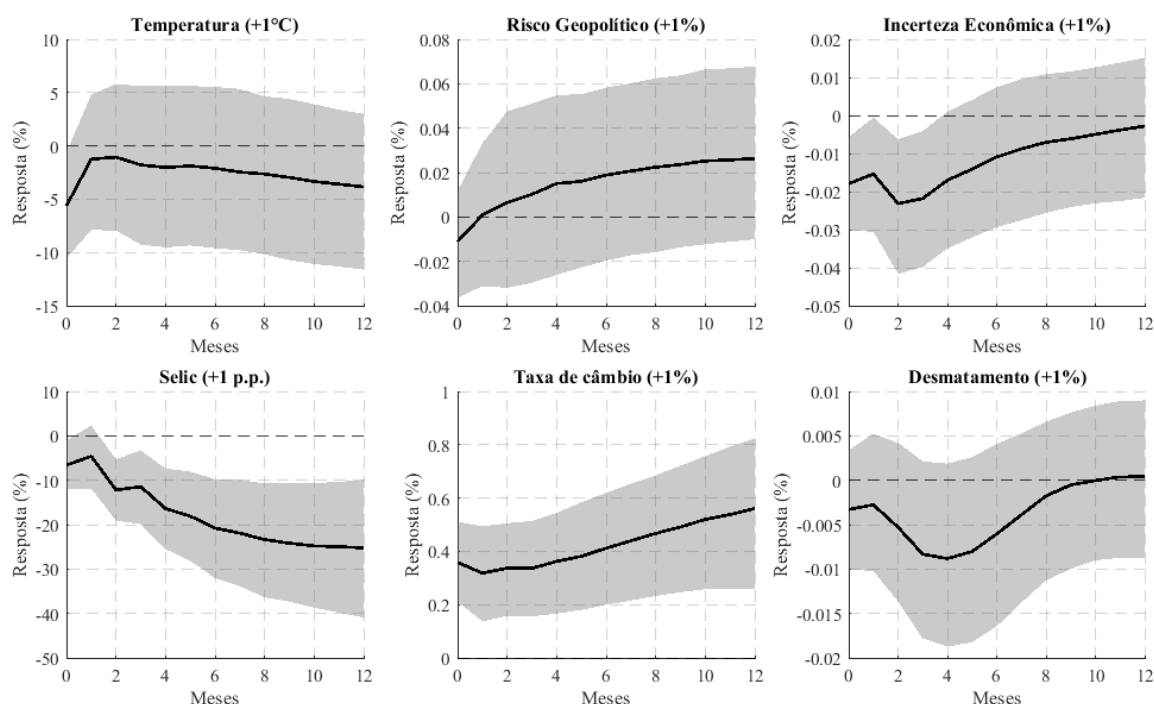


Figura 4: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF (antes da Covid-19 – período 2009M12-2019M12)

Nota: Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha sólida preta é a estimativa média e a banda cinza é o intervalo de confiança de 68%. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

Os choques macroeconômicos ficaram inalterados, com tanto a taxa de juros Selic quanto a taxa cambial afetando o IPAF a valores próximos do modelo base. Os choques climáticos (temperatura e desmatamento) geram a queda do IPAF, como observado

anteriormente. Todavia esses choques se tornaram estatisticamente não significativos. Os choques de incerteza seguiram o que vem sendo retratado: baixa influência sobre o IPAF.

Desta forma, há fraca evidência de que a Covid-19 altera os principais resultados. Isso sugere que os determinantes da precificação de ativos florestais são estruturais e não dependem de choques extraordinários, como a pandemia.

4.2.3 Período Antes da Guerra Ucrânia-Rússia

Similar ao cuidado realizado para a Covid-19, a eclosão da guerra entre a Ucrânia e a Rússia pode ter gerado mudanças nas séries temporais, afetando os resultados. Testa-se essa possibilidade ao restringir o período estimado para 2009M12-2022M1. Como o conflito se iniciou em fevereiro de 2022, estima-se o modelo até janeiro de 2022. A Figura 5 apresenta os resultados.

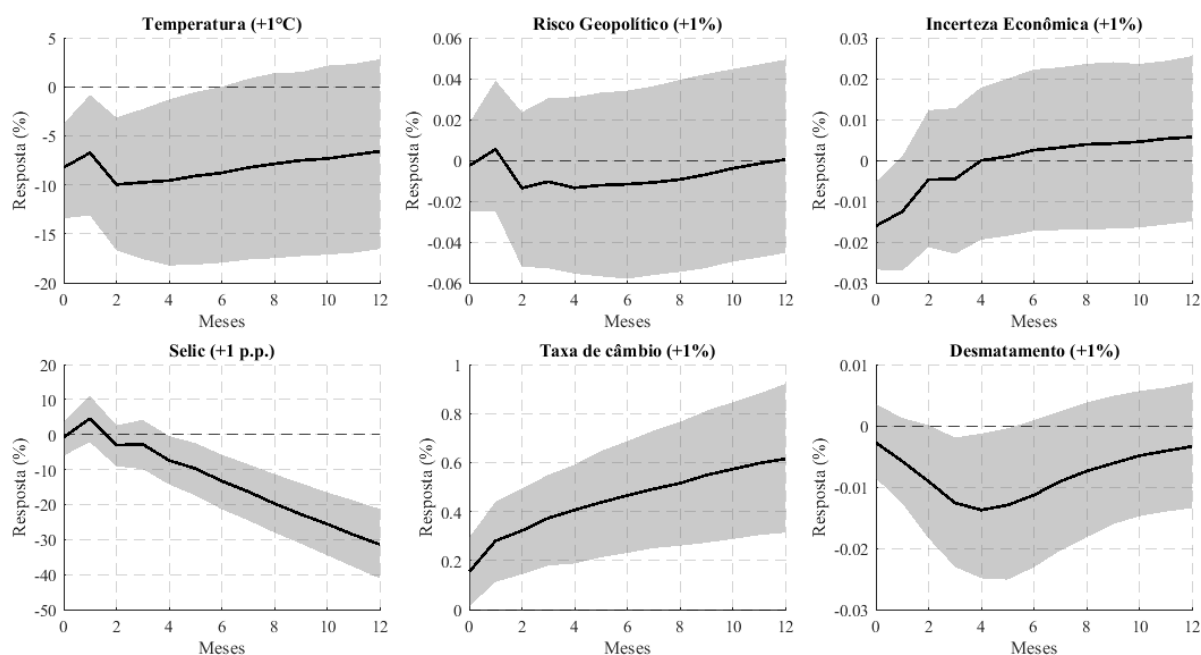


Figura 5: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF (antes da guerra Ucrânia-Rússia – período 2009M12-2022M1)

Nota: Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha sólida preta é a estimativa média e a banda cinza é o intervalo de confiança de 68%. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

As estimativas confirmam os resultados obtidos anteriormente. Ao contrário da Figura 4, que analisou o período prévio à Covid-19, os choques climáticos (temperatura e desmatamento) geram a queda do IPAF, com valores estatisticamente significativos. Isso reforça a explicação de que a falta de validade estatística a esses choques na Figura 4 se deve, provavelmente, à perda de observações pela restrição do período.

4.2.4 Utilizando Defasagens Alternativas

O número de defasagens (*lags*) pode alterar os resultados. A Figura 6 testa os resultados usando as defasagens de 4, 6 e 12 períodos. Na figura, a primeira parte mostra as respostas do IPAF no modelo com 4 *lags* (colunas mostram os choques e as respostas do IPAF). No segundo painel, observa-se o modelo com 6 *lags*. Na parte final da figura, o modelo com 12 *lags* é apresentado. O lado negativo de aumentar os *lags* é a perda de graus de informação, o que pode tornar o modelo mais instável.

No geral, os resultados pouco se alteraram. Mas há diferenças importantes. Por exemplo, o choque de 1°C gera uma queda maior do IPAF conforme os *lags* aumentam (no modelo com 12 *lags*, o IPAF cai entre 10 a 20%). Possivelmente choques de temperatura são melhor capturados usando defasagens mais longas, dado que o impacto ambiental e econômico de um planeta mais quente não é imediato, toma-se tempo.

Os choques macroeconômicos e de incerteza mostram poucas diferenças. Uma observação é em relação ao choque da taxa de juros Selic, o qual ainda reduz o IPAF, mas a redução toma mais períodos para se concretizar. Uma explicação é que o uso de *lags* longos pode não capturar as dinâmicas de curto prazo da taxa de juros.

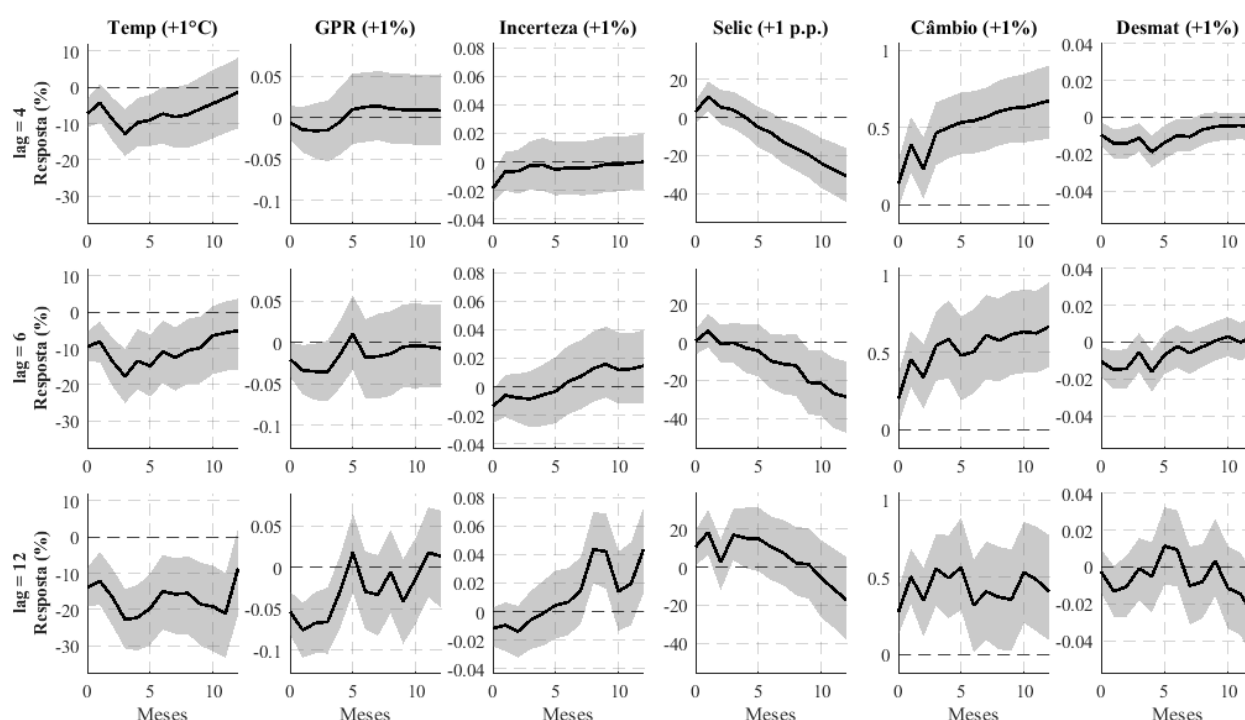


Figura 6: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF (utilizando defasagens de 4, 6 e 12 períodos)

Nota: A figura é dividida em 3 painéis. O primeiro painel estima o modelo usando 4 defasagens (*lags*). As colunas mostram as respostas do IPAF para cada choque nessa configuração. No segundo painel, é apresentado o modelo com 6 *lags*. No terceiro painel, o modelo com 12 *lags*. Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha sólida preta é a estimativa média e a banda cinza é o intervalo de confiança de 68%. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

Como esperado, o modelo com 12 *lags* é mais instável. Todavia, os resultados ainda se mantém. Adicionalmente, o uso de 12 *lags* acomoda o problema de autocorrelação serial em séries temporais, quando os resíduos do modelo se correlacionam com resíduos de períodos passados, prejudicando as estimações. Há pouca evidência de que a autocorrelação serial esteja afetando os resultados, dado a manutenção dos principais resultados.

Essa seção indica que os efeitos estimados são estáveis no tempo e não dependem da escolha de defasagens, reforçando a robustez das conclusões para uso aplicado do IPAF.

4.2.5 Alterando o IPAF

Como observado na Figura 1, o IPAF tem aumentado nos últimos anos, o que pode afetar os resultados. Para eliminar essa possibilidade, utiliza-se o IPAF em log-diferenças. Desta forma, o IPAF não mais tem tendência crescente nos anos finais. Replica-se o modelo base com essa alteração. Todavia, há uma observação importante na leitura dos resultados. As respostas do IPAF em log-diferenças não mais mostram alterações no seu *nível*. Elas mostram a sua *taxa de crescimento*. A Figura 7 apresenta os resultados.

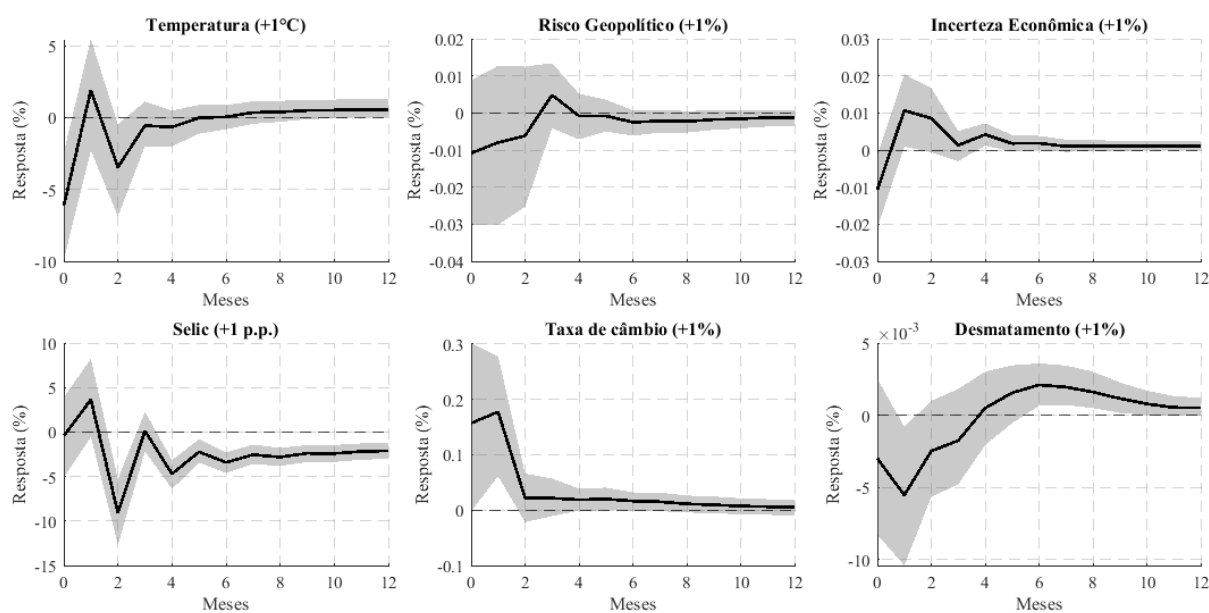


Figura 7: Choques macroeconômicos, climáticos e de incerteza e respostas do IPAF (IPAF em log-diferenças)

Nota: Cada gráfico mostra o choque aplicado sobre a variável descrita em negrito. O risco geopolítico, a incerteza econômica, a taxa de câmbio e o desmatamento sofreram choques de 1%, enquanto as anomalias na temperatura sofreram um choque de 1°C e a taxa de juros Selic sofreu um choque de 1 ponto percentual. Todos os gráficos mostram como o IPAF reage a esses choques, em porcentagem. A linha sólida preta é a estimativa média e a banda cinza é o intervalo de confiança de 68%. As respostas do IPAF aos choques são verificadas ao longo de 12 meses (eixo horizontal).

Apesar da mudança no IPAF, as direções de suas respostas se mantiveram. Essas estimativas sugerem que os resultados não são sensíveis ao IPAF usado em nível e tampouco ao seu recente aumento.

4.2.6 Testes Adicionais

Outros testes foram usados, como usando todas as variáveis em log-diferenças e utilizando outras abordagens, como o BVAR e o Proxy-SVAR. Os resultados se mantiveram. Em particular, quando o modelo é totalmente em log-diferenças, o tempo de resposta do IPAF (agora em taxa de crescimento) se reduz para poucos meses. Todavia, como afirmado ao longo do texto, usar o IPAF em taxas altera a sua interpretação.

Alterou-se a construção do IPAF utilizando variados pesos. Por exemplo, 30%-70%, ou seja, 30% para o preço da madeira e 70% para o preço do carbono. Foram testadas as seguintes ponderações: 10%-90%, 20%-80%, 30%-70%, 40%-60%, 60%-40%, 70%-30%, 80%-20% e 90%-10%. Os resultados não são sensíveis a essas ponderações alternativas.

Finalmente, diferentes ordenações das variáveis foram usadas para testar os resultados (ver Equação 4). Os principais resultados não se alteraram a diferentes ordens de variáveis para a decomposição de Cholesky.

Em conjunto, os testes de robustez indicam que os resultados são altamente estáveis a diferentes especificações, períodos amostrais e metodologias econométricas. Essa consistência reforça a confiabilidade do IPAF como medida sintética da precificação de ativos florestais no Brasil e sugere que os principais determinantes identificados representam forças estruturais. Dessa forma, o IPAF apresenta potencial para ser utilizado como instrumento de apoio à formulação e avaliação de políticas públicas no setor florestal, incluindo mecanismos de crédito, PSA e mercados de carbono.

Os resultados não são exibidos devido às restrições de espaço, mas estão disponíveis sob solicitação.

5. Implicações para Políticas Públicas e Precificação de Ativos Florestais

Os resultados deste estudo revelam que a precificação de ativos florestais no Brasil é fortemente determinada por fatores macroeconômicos e climáticos, o que implica que políticas econômicas e ambientais exercem papel direto na valorização ou deterioração do capital natural.

A principal influência sobre o IPAF advém de fatores macroeconômicos. O aumento da taxa de juros Selic, isto é, uma política monetária contracionista do banco central reduz o valor do IPAF. Isso implica que políticas monetárias contracionistas podem reduzir o valor econômico das florestas, exigindo compensações via instrumentos como PSA ou crédito subsidiado.

O aumento da taxa de câmbio (sua depreciação) se associa com o aumento do IPAF. Desta forma, choques externos (como pandemias e guerras) que possam gerar a depreciação cambial colocam pressões sobre ativos florestais nacionais. Em outras palavras, políticas florestais devem considerar a influência do cenário externo, como o IPAF automaticamente realiza.

O segundo fator que impacta a precificação de ativos florestais são choques climáticos. Tanto o aumento da temperatura global quanto a expansão do desmatamento reduzem o IPAF, ilustrando a degradação das florestas e elevando os riscos climáticos e financeiros. Embora a medida tradicional do produto interno bruto (PIB) não penalize o país pela degradação de suas florestas, o IPAF captura a perda de valor das florestas e do meio ambiente brasileiro com a sua queda frente a choques climáticos.

Os resultados identificaram os principais determinantes estruturais da precificação de ativos florestais no Brasil. Esses determinantes guardam implicações práticas para o Sistema Florestal Brasileiro (SFB).

A primeira implicação é a criação do IPAF. O IPAF reúne componentes produtivos (preço da madeira) e ambientais (preço do carbono). O IPAF poderá ser usado na formulação, monitoramento e avaliação de políticas públicas voltadas ao setor florestal. Adicionalmente, com o conhecimento da influência tanto da macroeconomia quanto de choques climáticos sobre os preços de ativos florestais, futuras avaliações de rentabilidade econômica poderão acomodar a influência desses fatores para melhorar a precisão de indicadores e avaliações.

A segunda implicação é para as concessões florestais. O IPAF pode ser usado juntamente com outros indicadores para complementar a definição de valores de outorga e para a mensuração da rentabilidade econômica das áreas concedidas. Visto que as condições firmadas durante o estabelecimento de contratos se alteram constantemente (condições macroeconômicas e ambientais), e com o conhecimento de que os ambiente macroeconômico e ambiental irão também se alterar, o IPAF auxilia a acomodar essas mudanças visto que o indicador é sensível a esses fatores. Desta forma, ao englobar o IPAF em concessões florestais, reduz-se o risco entre as partes pública e privada.

A terceira implicação concerne a programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). O IPAF pode contribuir com a definição de valores de compensação mais alinhados às condições de mercado, dado que o IPAF, como afirmado, incorpora e é sensível a choques macroeconômicos. Além disso, o IPAF permite que as políticas do PSA não somente reflitam custos locais, mas também dinâmicas globais de preservação

do planeta, visto que o IPAF incorpora o preço global do carbono, alinhando a modelagem de pagamento do PSA às condições globais de preservação.

A quarta implicação é em relação ao crédito rural e ao financiamento de atividades florestais. Como mostrado, a taxa de juros Selic tem papel central nas oscilações do IPAF. Desta forma, o uso do IPAF permite incorporar esse efeito macroeconômico no crédito, automaticamente associando essas políticas com o ciclo econômico brasileiro, reduzindo, portanto, possíveis assimetrias de incentivo entre o programa e a realidade econômica vigente. Por exemplo, em conjunturas nas quais a taxa de juros Selic é elevada, o subsídio ao crédito rural, principalmente para pequenos produtores, pode ser elevado para que o impacto negativo do ciclo econômico seja mitigado. Em outras palavras, o IPAF pode ser usado como uma bússola para guiar a distribuição de crédito rural subsidiado. Adicionalmente, o IPAF coloca a política nacional de crédito rural em alinhamento com as condições ambientais globais, visto que o IPAF reflete o preço global do carbono.

Finalmente, a última implicação é relativa à precificação do carbono. Dado que o IPAF incorpora o preço global do carbono, o IPAF permite aproximar a realidade brasileira da conjuntura internacional e das tendências globais. O IPAF pode auxiliar na construção de instrumentos econômicos no âmbito do SBCE na medida em que o IPAF reflete o efeito das condições ambientais sobre ativos florestais. Dado que as emissões de gás carbono não respeitam fronteiras nacionais, o esforço de reduzi-las, como argumentando na COP30 no Brasil, deve ser global e coordenado. O IPAF é um passo nessa direção, dado que ele agrega informações climáticas globais (preço do carbono) com dinâmicas nacionais. Outro argumento nesta direção é que o Brasil acomoda a maior parte da floresta Amazônica, bioma relevante para a mudança climática. Em outras palavras, o que ocorre na Amazônia, a nível de desmatamento, tem implicações globais, e não apenas locais. O IPAF incorpora esse efeito.

Ao agregar efeitos macroeconômicos e climáticos, o IPAF auxilia o SFB a construir políticas mais alinhadas com a economia local e com as tendências globais do planeta. O IPAF é um passo na direção de conciliar e construir políticas coordenadas com os desafios que a mudança climática irá impor ao país. O IPAF se apresenta como uma ferramenta estratégica para integrar políticas econômica, ambiental e climática no Brasil, contribuindo para uma gestão mais eficiente e coordenada do setor florestal diante dos desafios da mudança climática. O IPAF pode ser incorporado como variável de referência em contratos, fórmulas de subsídio, critérios de elegibilidade e mecanismos de ajuste automático em políticas públicas.

Dessa forma, o IPAF não apenas mensura o valor econômico das florestas, mas também oferece um instrumento concreto para integrar política macroeconômica, política ambiental e política climática no Brasil. Sua utilização pode contribuir para uma gestão mais eficiente, adaptativa e coordenada do setor florestal, especialmente diante dos crescentes desafios impostos pela mudança climática.

6. Conclusão

Este estudo teve como objetivo construir um índice de precificação de ativos florestais, identificar seus principais determinantes e derivar implicações práticas para a formulação de políticas públicas no Brasil. Para isso, foi proposto o IPAF, que integra preços da madeira e do carbono, conciliando dimensões produtivas e ambientais em um único indicador sensível a dinâmicas nacionais e globais.

Os resultados mostram que a precificação de ativos florestais no Brasil é fortemente influenciada por fatores macroeconômicos, seguidos por fatores climáticos, enquanto a incerteza exerce papel secundário. Essa evidência indica que políticas monetárias e cambiais não apenas afetam a atividade econômica, mas também impactam diretamente o valor econômico das florestas, enquanto o avanço da mudança climática tende a reduzir esse valor ao longo do tempo.

Nesse contexto, o IPAF se apresenta como um instrumento operacional para a formulação, monitoramento e avaliação de políticas públicas no setor florestal. Sua aplicação pode aumentar a eficiência de instrumentos como crédito rural, programas de PSA e o SBCE, ao alinhar decisões domésticas com condições macroeconômicas e tendências ambientais globais.

À medida que os efeitos da mudança climática se intensificam, a necessidade de instrumentos que integrem economia e meio ambiente torna-se cada vez mais evidente. O IPAF contribui para essa agenda ao fornecer uma medida sintética capaz de capturar a interação entre fatores econômicos, ambientais e climáticos, oferecendo suporte à construção de políticas mais coordenadas, adaptativas e eficazes.

Em síntese, este estudo demonstra que a precificação de ativos florestais não pode ser dissociada da macroeconomia e da dinâmica climática global. Ao propor um indicador inédito e aplicável, o trabalho avança na integração entre teoria e prática e oferece uma ferramenta concreta para orientar decisões públicas e privadas. Em última instância, a adequada precificação dos ativos florestais constitui um elemento central para a

preservação do capital natural brasileiro e para a contribuição do país no enfrentamento dos desafios climáticos globais.

Referências

Ahmed, N., Khan, N. A., Ober, J., & Huai, J. (2025). Quantifying China's ecological assets: A carbon-based assessment of climate change and land use change effects using generalized additive models. *Sustainable Futures*, 10, 101350.

Antonarakis, A. S., Pacca, L., & Antoniadis, A. (2022). The effect of financial crises on deforestation: A global and regional panel data analysis. *Sustainability Science*, 17(3), 1037-1057.

Asada, R., Hurmekoski, E., Hoeben, A. D., Patacca, M., Stern, T., & Toppinen, A. (2023). Resilient forest-based value chains? Econometric analysis of roundwood prices in five European countries in the era of natural disturbances. *Forest Policy and Economics*, 153, 102975.

Atílio, L. A., Escaleras, M., & Faria, J. R. (2026). The Impact of Temperature Anomalies on Industrial Production. *Climate*.

Bansal, R., Kiku, D., & Ochoa, M. (2016). *Price of long-run temperature shifts in capital markets* (No. w22529). National Bureau of Economic Research.

Batabyal, S., & Killins, R. (2021). Economic policy uncertainty and stock market returns: Evidence from Canada. *The Journal of Economic Asymmetries*, 24, e00215.

Bilal, A., & Känzig, D. R. (2026). The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global Versus Local Temperature. *The Quarterly Journal of Economics*, qjag011.

Bin, F. S., Morris, G. B., & Chen, D. H. (2003). Effects of exchange-rate and interest-rate risk on ADR pricing behavior. *The North American Journal of Economics and Finance*, 14(2), 241-262.

Bolkesjø, T. F., & Buongiorno, J. (2006). Short-and long-run exchange rate effects on forest product trade: evidence from panel data. *Journal of Forest Economics*, 11(4), 205-221.

Bretschger, L., & Soretz, S. (2022). Stranded assets: How policy uncertainty affects capital, growth, and the environment. *Environmental and Resource Economics*, 83(2), 261-288.

Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American economic review*, 112(4), 1194-1225.

Castelnuovo, E. (2016). Monetary policy shocks and Cholesky VARs: an assessment for the Euro area. *Empirical Economics*, 50(2), 383-414.

Chudy, R. P., & Cubbage, F. W. (2020). Research trends: Forest investments as a financial asset class. *Forest policy and economics*, 119, 102273.

Esposito, L., & Tedeschi, M. (2025). Does climate and economic uncertainties influence inflation? Evidence from a comparative study between US and Euro Area. *Eurasian Economic Review*, 1-23.

Etwire, P. M., Koomson, I., & Martey, E. (2022). Impact of climate change adaptation on farm productivity and household welfare. *Climatic Change*, 170(1), 11.

Fuchs, J. M., Bodelschwingh, H. V., Lange, A., Paul, C., & Husmann, K. (2022). Quantifying the consequences of disturbances on wood revenues with Impulse Response Functions. *Forest Policy and Economics*, 140, 102738.

Gasparinetti, P., Bakker, L., Araújo, V., & Lentini, M. (2025). VALORAÇÃO DE ATIVOS AMBIENTAIS DE FLORESTAS PÚBLICAS NÃO DESTINADAS NO SUL DO AMAZONAS. TimberFlow. Imaflora. Link de acesso: https://admin.imaflora.org/public/media/biblioteca/boletim_timberflow_18_fevereiro_ajuste_110225.pdf.

Jordà, Ò. (2005). Estimation and inference of impulse responses by local projections. *American economic review*, 95(1), 161-182.

Khurshid, A., Khan, K., Rauf, A., & Cifuentes-Faura, J. (2024). Effect of geopolitical risk on resources prices in the global and Russian-Ukrainian context: A novel Bayesian structural model. *Resources Policy*, 88, 104536.

Kuuwill, A., Kimengsi, J. N., & Giessen, L. (2025). Change in Formal and Informal Forest Management Institutions Induced by Health Shocks—A Global Systematic Review. *Environmental Management*, 75(12), 3565-3585.

Lee, S. O., Mark, N. C., Nauerz, J., Rawls, J., & Wei, Z. (2022). Global temperature shocks and real exchange rates. *Journal of Climate Finance*, 1, 100004.

Mulungu, K., & Manning, D. T. (2023). Impact of weather shocks on food security: how effective are forests as natural insurance?. *The Journal of Development Studies*, 59(11), 1760-1779.

Scrimgeour, D. (2015). Commodity price responses to monetary policy surprises. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(1), 88-102.

Silva, M. L. D. (2025). *Capital financeiro e agricultura: a influência dos investimentos em florestas plantadas no território brasileiro* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Soares, L. W. V., Firme, V. D. A. C., & de Lima Júnior, L. A. (2021). O impacto da política monetária no mercado de ações brasileiro. *Brazilian Review of Finance*, 19(1), 70-96.

Tol, R. S. (2018). The economic impacts of climate change. *Review of environmental economics and policy*, 12, 1-35.

Umar, Z., Bossman, A., Choi, S. Y., & Teplova, T. (2022). Does geopolitical risk matter for global asset returns? Evidence from quantile-on-quantile regression. *Finance Research Letters*, 48, 102991.

Vartanian, P. R. (2012). Impactos do índice Dow Jones, commodities e câmbio sobre o Ibovespa: uma análise do efeito contágio. *Revista de Administração Contemporânea*, 16, 608-627.

Wang, S. L., & McPhail, L. (2014). Impacts of energy shocks on US agricultural productivity growth and commodity prices—A structural VAR analysis. *Energy Economics*, 46, 435-444.

Washburn, C. L., & Binkley, C. S. (1993). Do forest assets hedge inflation?. *Land Economics*, 215-224.

Yao, W., & Mei, B. (2015). Assessing forestry-related assets with the intertemporal capital asset pricing model. *Forest Policy and Economics*, 50, 192-199.

Apêndice

Tabela A: Análise descritiva

Variáveis	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
<i>IPAF</i>	104.68	71.24	260.90	42.56
<i>desmat</i>	7838.08	9911.50	45018.00	271.00
<i>temp</i>	0.89	0.22	1.48	0.44
<i>selic</i>	0.75	0.27	1.22	0.13
<i>cambio</i>	3.56	1.37	6.10	1.56
<i>GPR</i>	100.87	30.79	318.95	58.42
<i>inc</i>	191.01	97.29	676.96	22.30

Nota: Máximo é o valor máximo da variável; Mínimo é o valor mínimo da variável. Elaboração própria com dados da pesquisa.