

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E GESTÃO DE
POLÍTICAS PÚBLICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

FRED COSTA MILHOME

QUAL O PAPEL DOS BANCOS CENTRAIS NO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS? Uma síntese das opções levantadas para adaptação e mitigação com destaque para o canal do setor financeiro.

BRASÍLIA (DF)

2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E GESTÃO DE
POLÍTICAS PÚBLICAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

FRED COSTA MILHOME

**QUAL O PAPEL DOS BANCOS CENTRAIS NO COMBATE ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS?** Uma síntese das opções levantadas para adaptação e mitigação
com destaque para o canal do setor financeiro.

*Monografia apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel em
Ciências Econômicas pelo Departamento de
Economia da Universidade de Brasília – UnB*

*Orientador: Prof. Dr. Manoel Carlos de Castro
Pires*

BRASÍLIA (DF)

2024

FRED COSTA MILHOME

QUAL O PAPEL DOS BANCOS CENTRAIS NO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS? UMA SÍNTESE DAS OPÇÕES LEVANTADAS PARA ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO COM DESTAQUE PARA O CANAL DO SETOR FINANCEIRO

Monografia apresentada como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Ciências Econômicas pelo programa de Graduação em Ciências Econômicas da Universidade de Brasília.

Aprovada em 02 de fevereiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Manoel Carlos de Castro Pires
Universidade de Brasília (UnB)
Orientador

Professor Dr. Bernardo Pinheiro Machado Mueller
Universidade de Brasília (UnB)
Examinador

“Temos apenas um planeta. Esse fato limita radicalmente os tipos de riscos que são apropriados correr em larga escala”.

Joseph Norman, Rupert Read,
Yaneer Bar-Yam e Nassim Taleb

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Edinete e Ângelo, pelo amor e zelo que sempre tiveram comigo, pelo apoio incondicional, e pelas orações que nunca faltaram. A eles, devo tudo.

Ao meu irmão e à minha cunhada, Fernando e Jhéssyka, por serem uma grande inspiração em minha vida.

Aos meus amigos, Enzo, Marcos, Júlia M., Júlia P., Marina, Luiz, Gustavo, Gabriel e Mateus, dentre tantos outros que se mostraram grandes companheiros. À minha amiga Vívian em especial, que tem sido um exemplo de força imensurável.

Aos meus professores, com quem aprendi a ver o mundo e seus detalhes de tantas formas.

Por fim, à Universidade de Brasília, que tenho orgulho de ter como alma mater.

RESUMO

Este trabalho endereça a pergunta sobre qual o papel dos bancos centrais e de supervisores do sistema financeiro em relação à adaptação e a mitigação das mudanças climáticas. A partir da literatura sobre o assunto, foi exposto um arcabouço que traduz os riscos climáticos em riscos financeiros e econômicos fundamental para esse conjunto de formuladores de políticas, bem como cenários macroeconômicos para trajetórias de aquecimento estilizadas. Também foi possível destacar como características do setor financeiro são determinantes para a resiliência regional a choques climáticos. Por fim, foram encontrados diversos elementos que caracterizam o problema como formular políticas em um sistema adaptativo complexo. Ficou claro que os bancos centrais devem participar na coordenação dos esforços para melhorar a qualidade das informações disponíveis para toda a sociedade, mas que também podem ser decisivos para os esforços de mitigação ao adotar medidas mais ativas, posição defendida aqui.

Palavras-chave: 1. Bancos Centrais e Suas Políticas; 2. Aquecimento Global; 3. Análise Positiva de Formulação e Implementação de Políticas.

ABSTRACT

This work addresses the question of the role of central banks and financial system supervisors in relation to the adaptation and mitigation of climate change. Drawing from the literature on the subject, a framework was presented that translates climate risks into financial and economic risks, which is fundamental for this set of policymakers, as well as macroeconomic scenarios for stylized warming trajectories. It was also possible to highlight how some characteristics of the financial sector are crucial for regional resilience to climate shocks. Finally, several elements were identified that characterize the problem as policy formulation in an adaptive complex system. It became clear that central banks should play a role in coordinating efforts to improve the quality of information available to society, but they can also be pivotal in mitigation efforts by adopting more active measures, a position advocated here.

Keywords: 1. Central Banks and Their Policies; 2. Global Warming; 3. Positive Analysis of Policy Formulation and Implementation

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Títulos Lastreados em Ativos
AFLOU	Uso da terra em Agricultura, Florestas e Outros Usos
CAPM	Modelo de Precificação de Ativos Financeiros
CDS	Swaps de crédito
GHGs	Gases do Efeito Estufa
GMT	Temperatura Média Global
IAMs	Modelos de Avaliação Integrada
ILS	Valores Mobiliários ligados a Seguros
IPCC	Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas
LATAM	América Latina
NDCs	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NGFS	Rede para um Sistema Financeiro mais Verde
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
QE	Flexibilização quantitativa

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 PROJEÇÃO DE CENÁRIOS E ARCABOUÇO TEÓRICO PARA A AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO SISTEMA FINANCEIRO SOB A LUZ DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	11
1.1 Projeção de Cenários Climáticos do <i>Network for Greening the Financial System (NGFS)</i>.....	11
1.2 Arcabouço de Avaliação de Riscos Financeiros Derivados das Mudanças Climáticas	25
2. MODIFICADORES DE RISCOS FINANCEIROS NO SISTEMA FINANCEIRO ...	37
2.1 Setor bancário	38
2.2 Setor de seguros e resseguros.....	43
2.3 Estágio de desenvolvimento do mercado de capitais	52
3 OPÇÕES DE ATUAÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA E FINANCEIRA SOB A PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE	60
3.1 Opções de política financeira	60
3.2 Opções de política monetária	66
3.3 O papel do formulador de políticas em um Sistema Adaptativo Complexo	73
CONCLUSÃO	79
APÊNDICE A: COMPARAÇÃO QUALITATIVA ENTRE AS ALTERNATIVAS NA OPERACIONALIZAÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

INTRODUÇÃO

O aquecimento global impõe desafios importantes para a sociedade no século XXI – e já é motivo de preocupação desde o fim do século XX. O sistema climático da e seus efeitos iterativos entre este e os sistemas políticos, econômicos, institucionais e financeiros, dificultam a clareza por parte dos diversos formuladores de políticas, dos quais justamente se espera que ajam para conter esse problema.

Pessoas nesses postos de tomada de decisão, devem, no mínimo, ter passado algum tempo se preocupando em entender esse fenômeno e o que esperar dele no futuro, e tentado decidir por esta ou aquela medida com base nas projeções de especialistas (que existem aos montes e que concordam: o aquecimento global precisa ser contido). Mas a respeito de pontos mais específicos, como será mostrado, nem sempre é possível estabelecer relações claras de causa e efeito num ambiente caracterizado por ser complexo.

Como um formulador de políticas ou ainda outras pessoas que precisem tomar decisões de longo prazo – quando a trajetória das mudanças climáticas e seus efeitos serão conhecidos – pode lidar com essa incerteza? No caso dos bancos centrais, podemos sequer dizer se essas instituições têm algum papel na adaptação para as mudanças climáticas? E na mitigação?

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é revisar a discussão a respeito desse tema sob a ótica das autoridades monetárias e dos supervisores do sistema financeiro.

Para tanto, no primeiro capítulo, é apresentado o que esses formuladores de política podem esperar para o futuro conforme trajetórias estilizadas de emissões, bem como entender de forma holística possíveis canais entre os sistemas natural, econômico e financeiro que podem delinear a situação e servir de ponto de partida para a formulação de políticas.

No segundo capítulo, aprofundando brevemente o escopo da análise no setor financeiro, é destacado como a configuração deste determina em parte a resiliência a choques climáticos de diferentes partes do planeta.

Por fim, no terceiro capítulo, são apresentadas propostas de políticas financeiras e monetárias discutidas na literatura, de forma a ter uma visão geral do que é possível para os bancos centrais, bem como pontos de dissenso a respeito disso. No fim do capítulo, é apresentada qual postura os bancos centrais podem ter ao se reconhecerem em meio a um sistema complexo.

1 PROJEÇÃO DE CENÁRIOS E ARCABOUÇO TEÓRICO PARA A AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO SISTEMA FINANCEIRO SOB A LUZ DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nesse capítulo, será apresentado o arcabouço teórico usado hoje pelo NGFS para definir cenários de referência para autoridades monetárias, indicando as principais consequências de cada trajetória de aumento de temperatura global e emissões antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GHGs). Em seguida, apresentamos o arcabouço que baseia tanto a modelagem feita pelo NGFS e a avaliação de riscos climáticos no sistema financeiro em geral, e que explica como os riscos climáticos se materializam em riscos financeiros tradicionais, além de incluir exemplos para esses canais de transmissão. Esse arcabouço também é usado como base para estudos realizados por outras instituições supranacionais e autoridades monetárias, bem como instituições financeiras, por isso sua importância especial.

1.1 Projeção de Cenários Climáticos do *Network for Greening the Financial System (NGFS)*

Criada em 2017, O NGFS (Rede para um Sistema Financeiro mais Verde) é uma rede de bancos centrais e outros supervisores do sistema financeiros com o objetivo de "compartilhar melhores práticas, contribuir com o desenvolvimento do gerenciamento de riscos ambientais e ligados ao clima no setor financeiro e mobilizar este de forma dar suporte à transição para uma economia sustentável" (NGFS, 2023a). Portanto, constitui o principal esforço de adaptação do sistema financeiro a essa mudança estrutural.

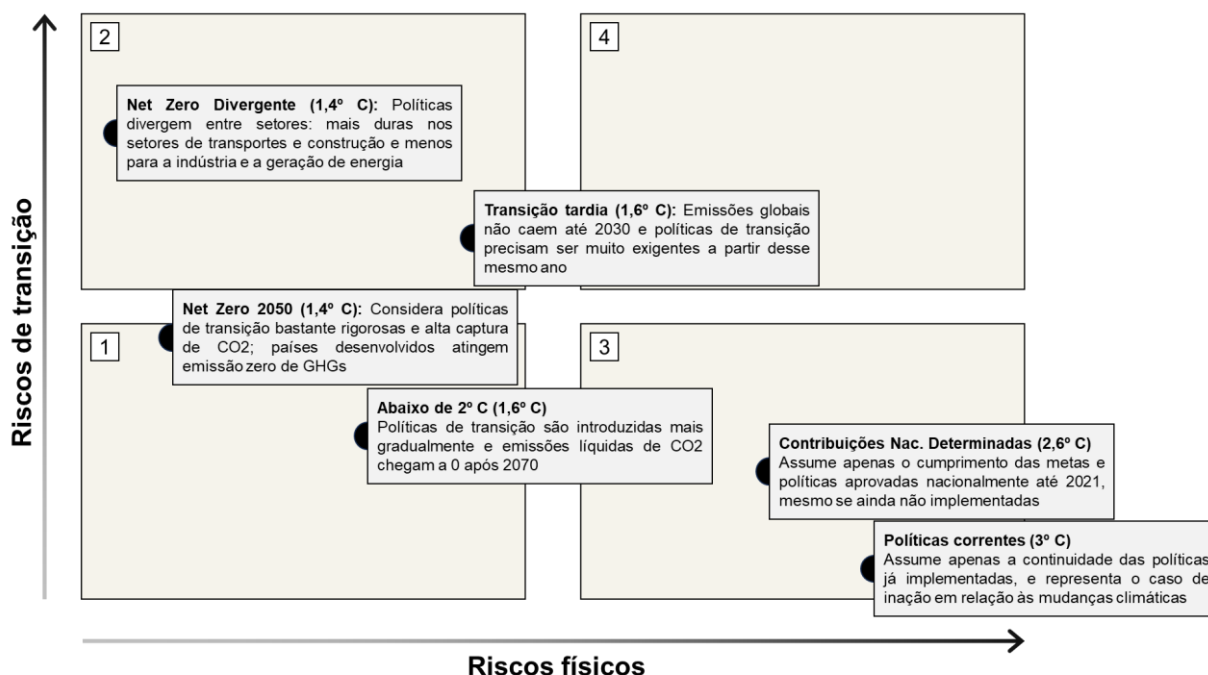
Atualmente, o fórum se organiza em quatro linhas de trabalho, dentre as quais estão a de "Desenho e análise de cenários: promove o desenvolvimento de análises e cenários entre os membros do fórum para uso dos membros e da comunidade financeira" (NGFS, 2023b), e em especial desenvolve os Cenários Climáticos NGFS aqui apresentado, que tem o objetivo de ajudar bancos centrais a explorar os possíveis impactos das mudanças climáticas na economia e no sistema financeiro, e preparar o sistema financeiro para choques que podem se materializar a partir dos desdobramentos das mudanças climáticas. Um detalhe extremamente importante em NGFS (2022a) é que tais cenários são apenas selecionados a fim de cobrir um

intervalo amplo de trajetórias plausíveis do aquecimento global, e não as mais prováveis ou desejáveis.

Os Cenários Climáticos NGFS foram produzidos utilizando modelos computacionais "capazes de combinar os sistemas macroeconômico, de Agricultura e de Uso da Terra (AFLOU), de energia, e climáticos em uma perspectiva numérica que permita a análise de dinâmicas complexas e não lineares internamente e entre esses componentes." (NGFS, 2022b). Tais modelos tentam abarcar diversas características desses sistemas de maneira simplificada, como segmentar as regiões, e assumir alguns elementos como exógenos a partir de outras projeções, o que pode exigir revisões dessas premissas conforme tais expectativas se desfaçam. Em NGFS (2022a), versão mais recente dos cenários, os custos de capital para a geração solar fotovoltaica precisaram ser atualizados para incorporar a queda de preços mais acelerada que o previsto anteriormente, bem como novos compromissos assumidos pelos governos desde a implementação anterior.

A partir de três modelos computacionais, denominados Modelos de Avaliação Integrada (Integrated Assessment Models), já estabelecidos na literatura como os principais modelos para estudos sobre mitigação das mudanças climáticas (NGFS, 2022b, p. 8), são derivadas variáveis como preços de carbono, uso de energia e AFLOU, capturando principalmente os riscos de transição em diferentes trajetórias de política climática seguidas pelos países. Como mencionado anteriormente, o NGFS escolheu as trajetórias plausíveis de políticas de transição, e para cada uma foram estabelecidas as trajetórias de temperatura associadas. Na Figura 1, é apresentado um esquema relativo dos seis cenários, que permite posicioná-los ordinalmente em relação ao nível de riscos físicos e de transição. Os nomes adotados para os cenários serão usados ao longo do restante desse texto.

Figura 1.1 – Esquema relativo dos Cenários NGFS



Fonte – Adaptado de NGFS (2022a)

O quadro é dividido em 4 quadrantes com a finalidade de classificar os cenários em três grupos, que exibem características similares entre si nas projeções. O quadrante 1 é o de trajetórias ordenadas, no sentido de promover uma transição capaz de conter as mudanças climáticas de forma satisfatória, sem com que as políticas de transição e mudanças tecnológicas provoquem um grande nível de riscos de transição. Já as trajetórias caóticas no quadrante 2 atingem resultados semelhantes àquelas do quadrante 1 do ponto de vista climático, mas causam aumento significativo dos riscos de transição, principalmente pela tempestividade e forma como as políticas de transição são introduzidas. Por fim, no quadrante 3, de maiores temperaturas, pouco é feito para conter a emissão de gases do efeito estufa, o que aumenta consideravelmente o nível de riscos físicos. Não há nenhum cenário que represente um alto nível de ambos os riscos, que ocuparia o quadrante 4.

A visualização da Figura 1.1 é apropriada para uma visão geral dos cenários da perspectiva do planeta, mas pode ser insuficiente caso seja necessário comparar os cenários a nível regional. Como veremos adiante através das projeções macroeconômicas, alguns cenários podem afetar as economias de forma bastante

diferenciada entre elas - algumas até mesmo podem estar indiferentes entre os cenários Políticas correntes e Net Zero 2050.

As premissas dos cenários podem ser sintetizadas em cinco classes de premissas-chave, consistindo em "objetivo de temperatura a longo prazo, objetivos de emissões de GHGs, políticas de curto prazo (premissa de reação das políticas), coordenação política em geral e disponibilidade tecnológica" (NGFS, 2022b, p. 17, tradução nossa).

Os objetivos de temperatura estão em linha com a principal fonte de pesquisa sobre a mitigação e adaptação para as mudanças climáticas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), sediado pela ONU e que constitui a principal autoridade em pesquisa sobre o aquecimento global. Periodicamente, o painel produz Relatórios de Avaliação que oferecem uma visão abrangente sobre o consenso científico a respeito do tema a governos e a comunidade em geral (IPCC, 2023), que serviram de referência para a elaboração dos cenários NGFS:

- Os cenários Net Zero Divergente e Net Zero 2050 correspondem à classe de cenários C1 do Relatório de Avaliação 6 (AR6), mais recente, de trajetórias de aquecimento limitadas a 1,5°C com pouco ou nenhum *overshoot* (isto é, sem ultrapassar e retornar a esse limite), com nível de confiança de 50%. Na seção seguinte, veremos como o risco de *overshoot* da temperatura também é fonte de riscos para o sistema financeiro.
- O cenário Abaixo de 2°C corresponde à classe C3a (IPCC, 2023, p. 22), de trajetórias limitadas a 2°C com nível de confiança de 67%.
- Por fim, o cenário Transição tardia corresponde à classe C4, de trajetórias limitadas de trajetórias limitadas a 2°C com nível de confiança de 50%.

Os cenários de maiores temperaturas não estão associados a alguma meta de aquecimento global máximo em particular por serem a extrapolação de temperatura estimada através dos modelos físicos. Vale notar que o baixo nível de confiança observado nas projeções do IPCC reflete o altíssimo nível de complexidade do sistema climático, gerando grande incerteza quanto a dimensão do impacto dos cenários projetados. O AR6 também inclui projeções extremas que vão até um

aumento de temperatura de 4°C (Cenários C6 a C8), e que os exercícios do NGFS não cobrem explicitamente - possivelmente pelo critério de plausibilidade já mencionado.

O cenário de Transição tardia se difere dos demais principalmente na trajetória de preços de carbono (que reflete a reação das políticas), seguindo os preços do cenário políticas correntes mas incorporando um choque correspondente à transição acelerada a partir de 2030; além disso, o cenário Net Zero Divergente se difere dos demais considerando preços de carbono três vezes maiores nos setores de transportes e construção em relação aos demais, "ilustrando os riscos adicionais e custos de descoordenação" (NGFS, 2022b, p.17). Outro ponto de diferenciação e que causa a maior divergência regional nos esforços realizados é que esse cenário considera que países que já têm objetivos de alcançar Net Zero em algum momento continuam com esse objetivo, mas ele não é imposto aos demais.

Entre os três modelos de projeção, cada um escolheu seu próprio conjunto de parâmetros para as premissas de disponibilidade tecnológica, tais como uso de energias renováveis e nuclear, captura e armazenamento de carbono e AFLOU, mas uma premissa em particular, de disponibilidade de sequestro de carbono, têm "um efeito particularmente profundo sobre as trajetórias de mitigação, dado que maior disponibilidade possibilita uma transição mais gradual do uso de combustível líquido para vários setores e finalidades" (NGFS, 2022b, p. 18, tradução nossa). Os cenários são limitados através de restrições impostas ao modelo tais como máximos de áreas disponíveis para florestação e de potencial de bioenergia, a depender do ano. Os cenários de transição ordenada assumem restrições mais fracas em comparação com os cenários caóticos e os de maiores temperaturas. Abaixo, vemos um quadro que sumariza as premissas entre os modelos, bem como apresenta a perspectiva do NGFS quanto ao risco macrofinanceiro diretamente causado (quanto mais vermelho, mais severo).

Tabela 1.1 - Sumário das premissas dos cenários NGFS

Categoria	Cenário	Ambição política	Reação das políticas	Mudança tecnológica	Uso de remoção de dióxido de carbono	Variação regional de políticas
Ordenados	Net Zero 2050	1,4°C	Imediata e gradual	Rápida	Médio a alto	Média
	Abaixo de 2°C	1,6°C	Imediata e gradual	Moderada	Médio a alto	Baixa
Caóticos	Net Zero Divergente	1,4°C	Imediata, mas divergente entre setores	Rápida	Baixo a médio	Média
	Transição tardia	1,6°C	Atrasada (2030)	Lenta e depois rápida	Baixo a médio	Alta
Maiores temperaturas	Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)	2,6°C	NDCs	Lenta	Baixo a médio	Média
	Políticas correntes	3°C+	Nenhuma	Lenta	Baixo	Baixa

Fonte – Adaptado de NGFS (2022b)

Além disso, para cada trajetória de política e o respectivo aumento de Temperatura Global Média (GMT), outros modelos cobrem o lado físico e crônico das mudanças climáticas, trazendo dados de perda de produtividade dos países (NGFS, 2022b, p. 11). Somente na última versão dos modelos, terceira iteração dos Cenários, dados históricos de eventos agudos extraídos da base EM-DAT foram usados para incorporar o impacto de catástrofes naturais sobre o Produto Interno Bruto dos países usando simulações de Montecarlo, sabendo da natureza "irregular e altamente disruptiva dos impactos econômicos de eventos extremos" (NGFS, 2022b, p. 45, tradução nossa), e geram intervalos de confiança para perdas de produto dos países. Isso representa um avanço em relação às iterações anteriores, mas mostra a dificuldade de incorporar esse tipo de risco em projeções: o impacto em outras variáveis macrofinanceiras não é modelado nessa análise (NGFS, 2022a, p. 18).

Quanto aos Modelos de Avaliação Integrada (IAMs), as variáveis são classificadas como exógenas, semi-endógenas ou endógenas. As principais variáveis exógenas são premissas de desenvolvimento, tais como população e demanda por energia e alimentos, derivadas do cenário SSP2, um conjunto de cenários socioeconômicos também desenvolvidos no contexto dos Relatório de Avaliação 6 do IPCC, descrito como o "meio do caminho", onde o mundo segue:

[...] uma trajetória na qual as tendências sociais, econômicas e tecnológicas não se desviam muito dos padrões históricos. O desenvolvimento e o crescimento da renda seguem desiguais, com alguns países fazendo progresso relativamente bom enquanto outros quebram negativamente as expectativas. [...] instituições globais e nacionais trabalham, mas fazem progresso lento em alcançar as ODSs, incluindo melhorar condições de educação, água potável e assistência médica. O desenvolvimento tecnológico segue rápido, mas sem rupturas fundamentais". [...] O crescimento populacional global é moderado e se nivela na segunda metade do século XXI com o fim da transição demográfica, ainda que investimentos em educação não são suficientes para acelerar a transição para baixas taxas de fertilidade em países de baixa renda [...]. Esse crescimento, além da desigualdade de renda que persiste ou melhora vagarosamente, da estratificação societal e da coesão social limitada, se mantêm como desafios à redução da vulnerabilidade a mudanças sociais e ambientais e restringe avanços significativos no desenvolvimento sustentável. (O'Neill et al, 2015 apud Fricko et al, 2016, p. 2).

As variáveis semi-endógenas são descritas da seguinte forma:

são majoritariamente determinadas pelas premissas ou módulos de demanda associados, e incluem, por exemplo, PIB (que é calibrado de acordo com uma projeção externa, porém muda endogenamente como resultado de mudanças em, por exemplo, custos do sistema elétrico) ou custos de capital para

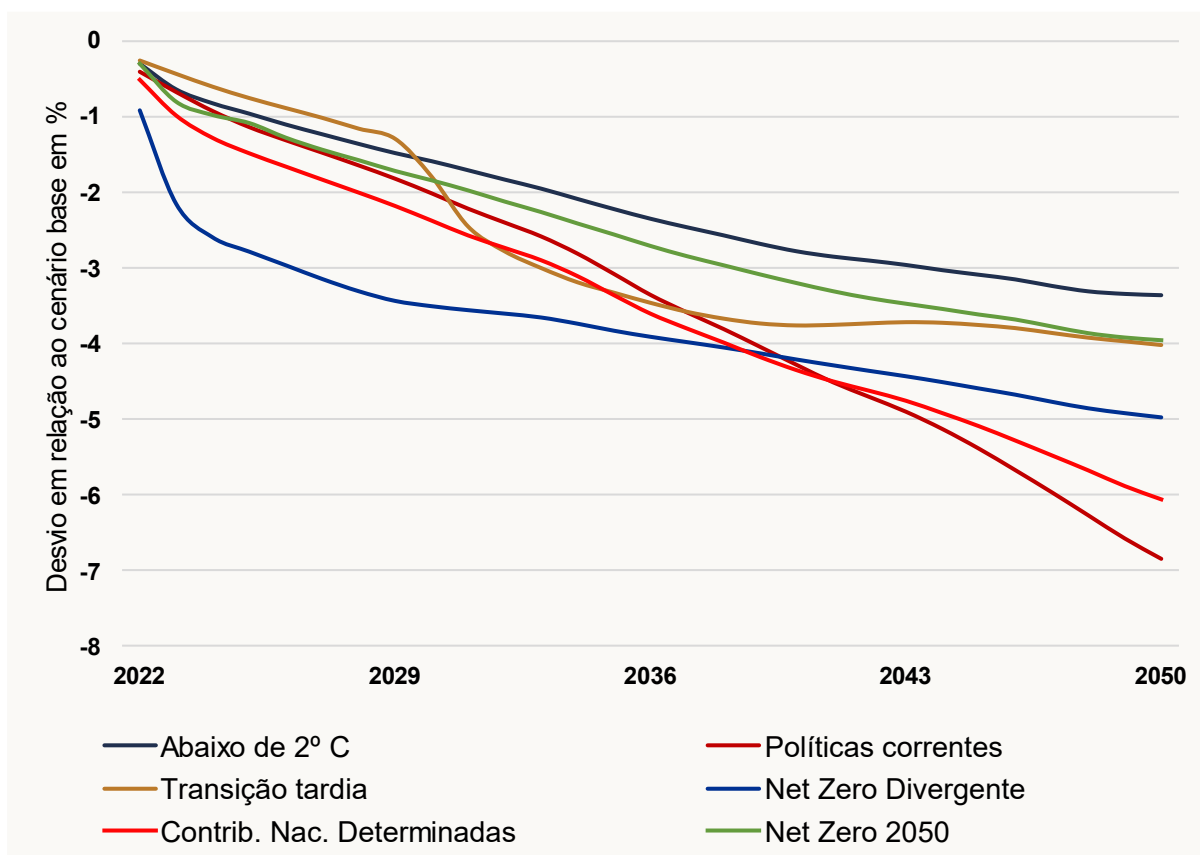
tecnologias de energia [...] que são dados exógenos para o modelo e não mudam de acordo com os resultados no modelo, mas variam dependendo do cenário e são calibrados de acordo com premissas de desenvolvimento tecnológico (NGFS, 2022b, p. 20).

Finalmente, tanto as projeções de variáveis econômicas dos IAMs (inclusive de Produto a longo prazo) e dos modelos de impactos físicos podem ser utilizadas como premissas para estimar as trajetórias de variáveis macroeconômicas como produto, inflação, produtividade, preços de ativos incluindo residências, taxas de juros e de câmbio, dentre outras, o que é feito através do NiGEM, um modelo de equilíbrio geral escolhido pela instituição por ser considerado

"[...] o principal modelo macroeconômico global, usado por ambos os formuladores de políticas e organizações do setor privado ao redor do mundo para projeções econômicas, construção de cenários e testes de estresse. Consiste em modelos individuais de países para as maiores economias, que estão interconectados através do comércio de bens e serviços e mercados de capitais integrados" (NGFS, 2022b, p. 37, tradução nossa).

Como dito anteriormente, o modelo é utilizado para gerar projeções para diversas regiões e países das principais variáveis macroeconômicas, a fim de orientar tomadores de decisão quanto ao impacto macroeconômico dos riscos climáticos. Na Figura 1.2, apresentamos a trajetória global do produto em cada cenário (considerando apenas riscos de transição e riscos físicos crônicos) para a economia global.

Figura 1.2 – Projeção do desvio do Produto Interno Bruto mundial em relação ao cenário base nos seis cenários NGFS, em %



Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

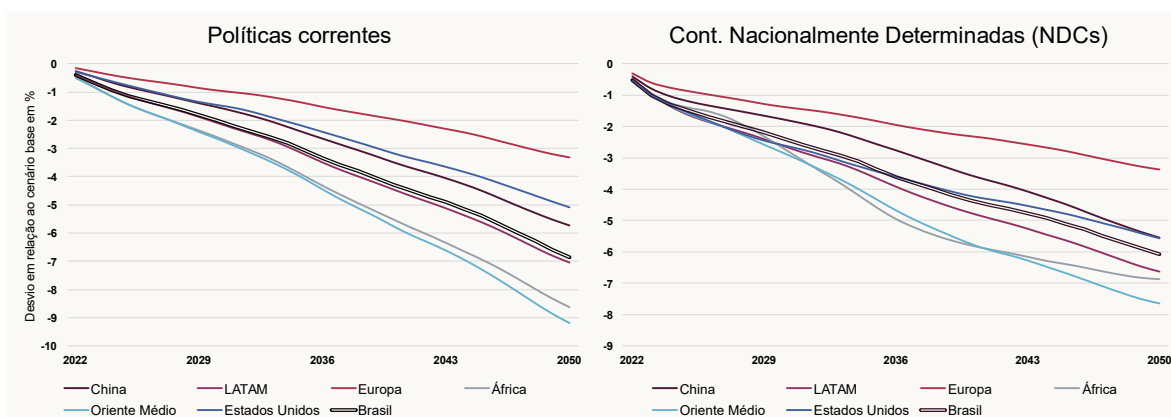
Vemos aqui que as trajetórias de produto atingem resultados bem próximos de acordo com os quadrantes de cenários apresentados anteriormente. Em comparação com os demais cenários, as trajetórias caóticas refletem os riscos de transição causando rápidas quedas de produto: no cenário Net Zero Divergente, o desvio de produto aumenta em 2,5% apenas no quinquênio 2023-2027, e no cenário Transição tardia, aumenta em 1,9% no quinquênio 2030-2034. Nenhuma outra trajetória exhibe esse comportamento volátil: são suaves, inclusive as do quadrante 3, de maiores temperaturas, ainda que a longo prazo sejam as piores do ponto de vista de perda de produto.

Quanto às trajetórias de maiores temperaturas, estas definitivamente levam às piores perdas de produto, principalmente pelos persistentes aumentos dos riscos físicos e queda de produtividade projetados nesses cenários. Além disso, é notável que mesmo as políticas com as quais os países se comprometeram até 2021 são

pouco efetivas em conter a perda de produto. Diferentemente das demais trajetórias, a perda de produto não se estabiliza, configurando mais um imperativo para a transição para uma economia de baixa ou nenhuma emissão de GHGs.

Enquanto a trajetória global de produto já oferece um argumento para um comprometimento maior com políticas de transição rigorosas e imediatas a fim de fazer uma transição ordenada e efetiva, do ponto de vista de cada país pode ser que nem todos tenham incentivos a optar por esse caminho. As projeções do NiGEM também mostram as trajetórias de alguns países e regiões selecionados, bem como avaliam outras variáveis macroeconômicas relevantes para a adoção de políticas. Na Figura 1.3, são apresentadas as trajetórias de desvio do produto por região nos cenários de Políticas correntes e de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).

Figura 1.3 – Projeção do desvio do Produto Interno Bruto em relação ao cenário base de regiões selecionadas nos cenários de maiores temperaturas, em %

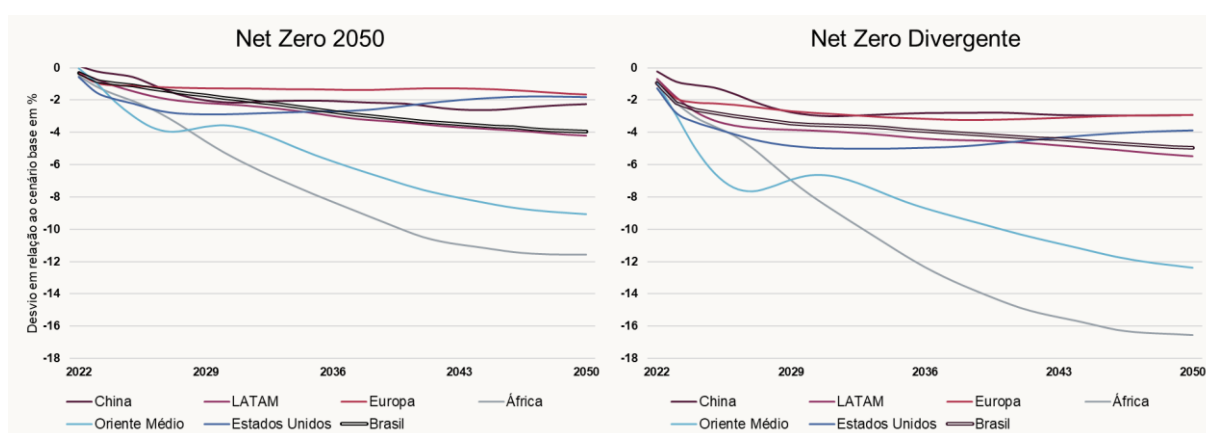


Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

Nesse ponto, começamos a notar as diferenças de vulnerabilidade entre regiões do planeta - mesmo sendo todas afetadas em maior ou menor grau. Enquanto os países desenvolvidos e a China não são tão sensíveis, zonas do planeta menos desenvolvidas, incluindo o Brasil, já podem ter um desvio reduzido em cerca de 1% apenas com o atingimento de metas assumidas nacionalmente em contraste com as políticas atuais.

Vale também comparar os cenários de transição que atingem o mesmo nível de aquecimento global. Para os cenários Net Zero 2050 e Net Zero Divergente, que correspondem ao cenário do C1 no AR6, na Figura 1.4, vemos abaixo que uma transição efetiva, porém desordenada pode levar a um desvio de produto muito mais grave para as regiões da África e do Oriente Médio, mesmo com uma recuperação significativa durante um período da projeção.

Figura 1.4 – Projeção do desvio do Produto Interno Bruto em relação ao cenário base de regiões selecionadas nos cenários de transição ordenada, em %



Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

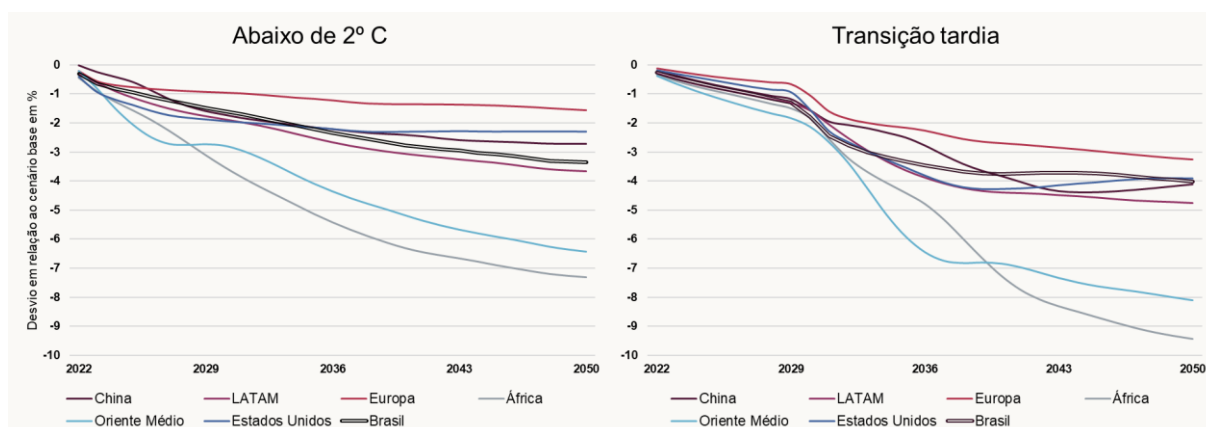
Algumas outras observações podem ser feitas nas comparações entre classes de cenários. Algumas regiões podem estar indiferentes ou relativamente menos motivadas a tomar a frente dos esforços para atingir os cenários de menor risco físico, principalmente no curto prazo. Para a região do Oriente Médio, a diferença na perda de produto entre os cenários Políticas correntes e Net Zero 2050 é de apenas 0,1% em 2050, e o continente africano em particular é extremamente sensível ao cenário realizado, além de ser um dos mais afetados em qualquer um dos cenários projetados.

Jaramillo et al. (2023) apontam diversos fatores que explicam a maior vulnerabilidade de Estados Frágeis e em Conflito (FCS), que incluem boa parte da África Subsaariana. Devido à sua posição geográfica, esses estados estão expostos, na mediana, a 61 dias de temperaturas médias acima de 35°, comparado a apenas 15 de outros países 9, o que têm impacto direto nas economias extremamente dependentes do clima por afetar o seu principal setor, a agricultura. Esse setor ainda

sofre de deficiências na rede de infraestrutura¹ e nas técnicas de irrigação. Tais regiões são especialmente sujeitas a secas e inundações por transbordamentos de rios, que expõem esse setor ainda mais a eventos climáticos agudos, bem como amplificam as causas e efeitos de conflitos locais e regionais.

Nas projeções de temperatura de cerca de 1,6° C da Figura 1.5, correspondentes ao cenário C3 do AR6 (IPCC, 2022), além da mesma ordem de vulnerabilidade ser exibida, também vemos que apenas parte da perda de produto observada no cenário de NDCs é recapturada pelos países desenvolvidos e pela China em uma Transição tardia, principalmente pelo choque de riscos de transição da modelagem. Para quase todas as regiões, por esse mesmo motivo, é melhor uma transição imediata ainda que mais vagarosa em relação aos cenários mais rigorosos, representada pelo cenário Abaixo de 2° C, do que um choque de políticas de transição após quase uma década de inércia das políticas climáticas.

Figura 1.5 – Projeção do desvio do Produto Interno Bruto em relação ao cenário base de regiões selecionadas nos cenários de transição desordenada, em %



Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

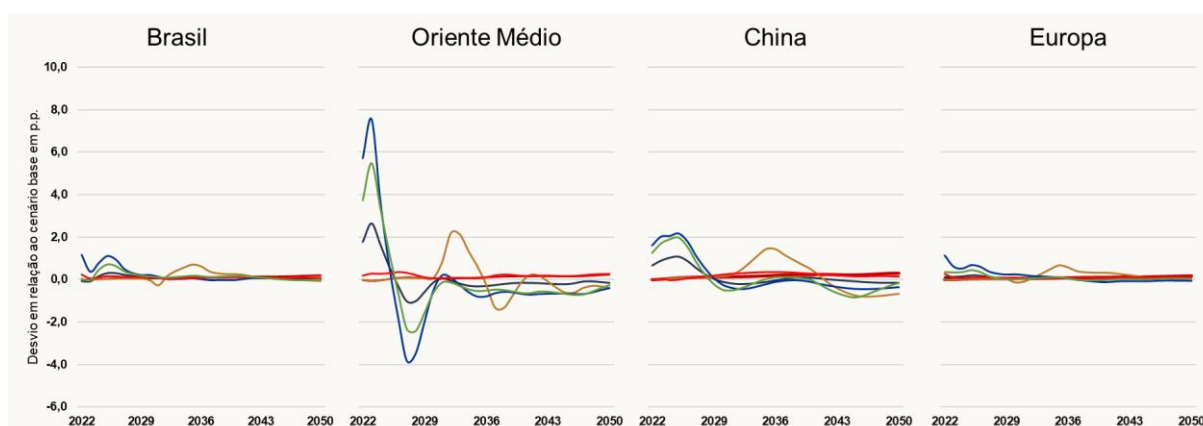
Evidentemente, a perspectiva desagradável desses resultados para as regiões mais vulneráveis e mesmo o risco de uma transição desordenada não deve ofuscar a necessidade de perseguir o fim das emissões de gases do efeito estufa, visto que isso

¹ OECD (2018) argumenta que uma rede de infraestrutura abrangente pode tornar economias mais resilientes às mudanças climáticas em geral, citando exemplos como a presença de eclusas e barragens e redes rodoviárias densas.

irá estabilizar a perda de produto. No entanto, surge a necessidade de discutir as possíveis ações de adaptação e mitigação que essas economias poderão precisar seguir (que não necessariamente serão implementadas em economias desenvolvidas) para não aumentar ainda mais a divergência de produto entre economias desenvolvidas e emergentes, em particular medidas de política monetária. Os principais determinantes para essa vulnerabilidade serão explorados na última seção deste capítulo.

Além do produto, podemos observar as projeções de inflação e as taxas de juros reais de longo prazo, visto que essas variáveis podem representar bem a transição para um ambiente de maior incerteza em relação ao cenário base e são fatores cruciais na tomada de decisão da política monetária. Na Figura 1.6, vemos as projeções de variação de inflação em relação ao cenário base. Em particular, o Oriente Médio tem uma sensibilidade aos cenários desproporcionalmente maior em relação às demais regiões, alcançando um intervalo de variação de 12 p.p. no primeiro quinquênio de projeção - em comparação, as demais regiões selecionadas não passam de uma variação de 3 p.p. Os Estados Unidos, omitidos nesse gráfico, têm projeções semelhantes à da China, e a África também não acompanha o choque sentido pelo Oriente Médio como era o caso para o produto.

Figura 1.6 – Projeção do desvio da inflação em relação ao cenário base de regiões selecionadas nos cenários de maiores temperaturas, em p.p.



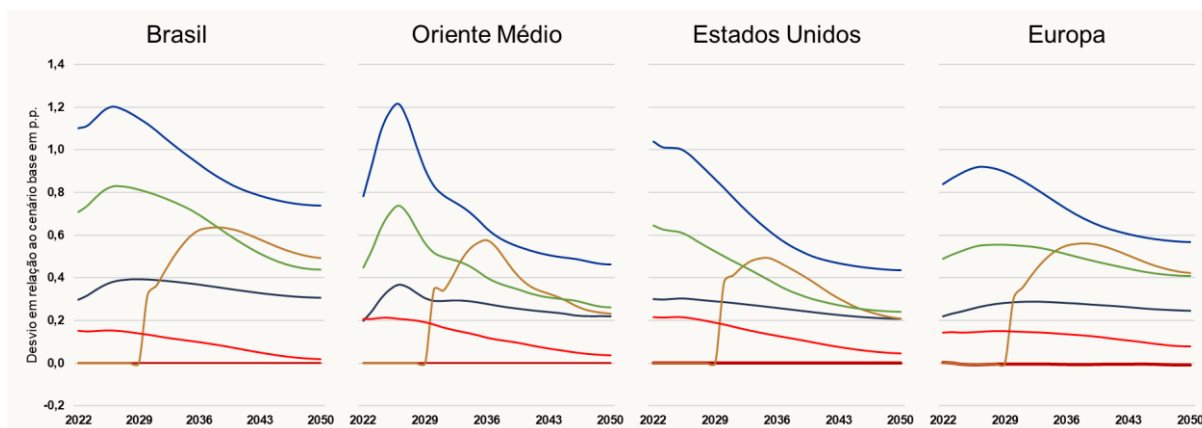
Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

Outro ponto relevante é que os choques inflacionários parecem ser tão relevantes para os cenários de transição ordenada quanto para os cenários de transição caótica, ainda que Net Zero Divergente seja o que causa o maior choque para todas as regiões. Em geral, a inflação converge para o mesmo nível original, o que pode significar a incorporação de expectativas mesmo em um novo patamar de riscos físicos, para os casos de maiores temperaturas, bem como de riscos de transição, com a diminuição da relevância de ativos de alta emissão de carbono na economia como um todo.

Para a taxa real de juros, a introdução de políticas de transição parece ser o principal determinante para o aumento, principalmente nos cenários caóticos, mas também para o cenário Net Zero 2050 a curto prazo. O tema recorrente de vulnerabilidade parece ocorrer novamente, visto que o Brasil e a região do Oriente Médio têm um aumento de juros 0,2 p.p. maior que Europa, Estados Unidos e China (este último omitido no gráfico por ser muito semelhante ao caso dos Estados Unidos) no cenário Net Zero Divergente. Tendo em mente que nesse cenário as políticas de transição para o setor de transportes são mais rígidas, fazendo com que o preço de carbono nele seja maior em relação aos demais setores, é possível argumentar que esse aumento diferencial de taxa de juros pode ser causado por uma piora na balança de pagamentos, visto que tais economias compartilham o fato de serem exportadores de petróleo².

² Para os países Argélia, Bahrein, Iraque, Kuwait, Líbia, Omã, Catar, Arábia Saudita e Iêmen, as exportações de hidrocarbonetos em geral (incluindo gás natural) são responsáveis por mais de 60% das exportações desses países, e essa indústria junto com a atividade governamental (financiada principalmente pela atividade petroleira) correspondem à grande parte do produto (senão a maior parte) - sem contar que grande parte do restante da atividade é dependente desses dois setores da economia (IMF, 2016).

Figura 1.7 – Projeção do desvio da taxa de juros de longo prazo em relação ao cenário base de regiões selecionadas nos cenários de maiores temperaturas, p.p.



Fonte – Adaptado de Richters et al. (2022)

Em geral, a trajetória de taxa de juros dessas regiões parece ser mais sujeita a choques nos quatro cenários em que alguma transição é feita, o que pode constituir um desafio adicional tanto para a política fiscal quanto para a avaliação de riscos em instituições financeiras nessas regiões, visto que a avaliação de ativos em geral na economia é feita em comparação com títulos soberanos, e os preços de ativos tendem a acompanhá-los.

1.2 Arcabouço de Avaliação de Riscos Financeiros Derivados das Mudanças Climáticas

Na literatura direcionada para riscos financeiros derivados das mudanças climáticas emergiu uma forma de traduzir as mudanças climáticas em riscos financeiros tradicionais (BCBS, 2021), e que serve como guia para bancos centrais identificarem riscos para o sistema financeiro. Visto que este também é o facilitador de atividades econômicas que possam exercer um impacto positivo ou negativo sobre a natureza, o próprio sistema financeiro pode ser uma fonte endógena de riscos financeiros, a depender da forma como afeta as fontes de riscos climáticos (NGFS, 2023c, p. 18). Em BCBS (2021, p. 32), os riscos financeiros são categorizados em:

- Risco de crédito: perdas causadas pela queda da capacidade de pagamento das contrapartes (efeito renda) e pela queda de valor dos colaterais dados em garantia em caso de inadimplência (efeito riqueza);
- Risco de mercado: perdas de valor de ativos, principalmente em caso de repentina incorporação de riscos climáticos nos preços, mudança nas condições de liquidez de certas classes de ativos e quebra de correlações de preços, violando premissas de gerenciamento de risco;
- Risco de liquidez: no lado passivo dos bancos, o acesso a fontes estáveis de financiamento pode ser reduzido, e correntistas podem precisar efetuar saques após eventos de risco climático significativos;
- Risco operacional: perdas diretas para os bancos pelo aumento de riscos de litígio e regulação de investimentos sensíveis ao clima, além do risco reputacional por mudanças de mercado e sentimento de consumidores. Também inclui riscos físicos diretos enfrentados por bancos em suas operações;
- Risco de subscrição: incluído em NGFS (2023c), representa o risco enfrentado por seguradoras e resseguradoras pelo aumento inesperado de sinistros causado pelas mudanças climáticas³.

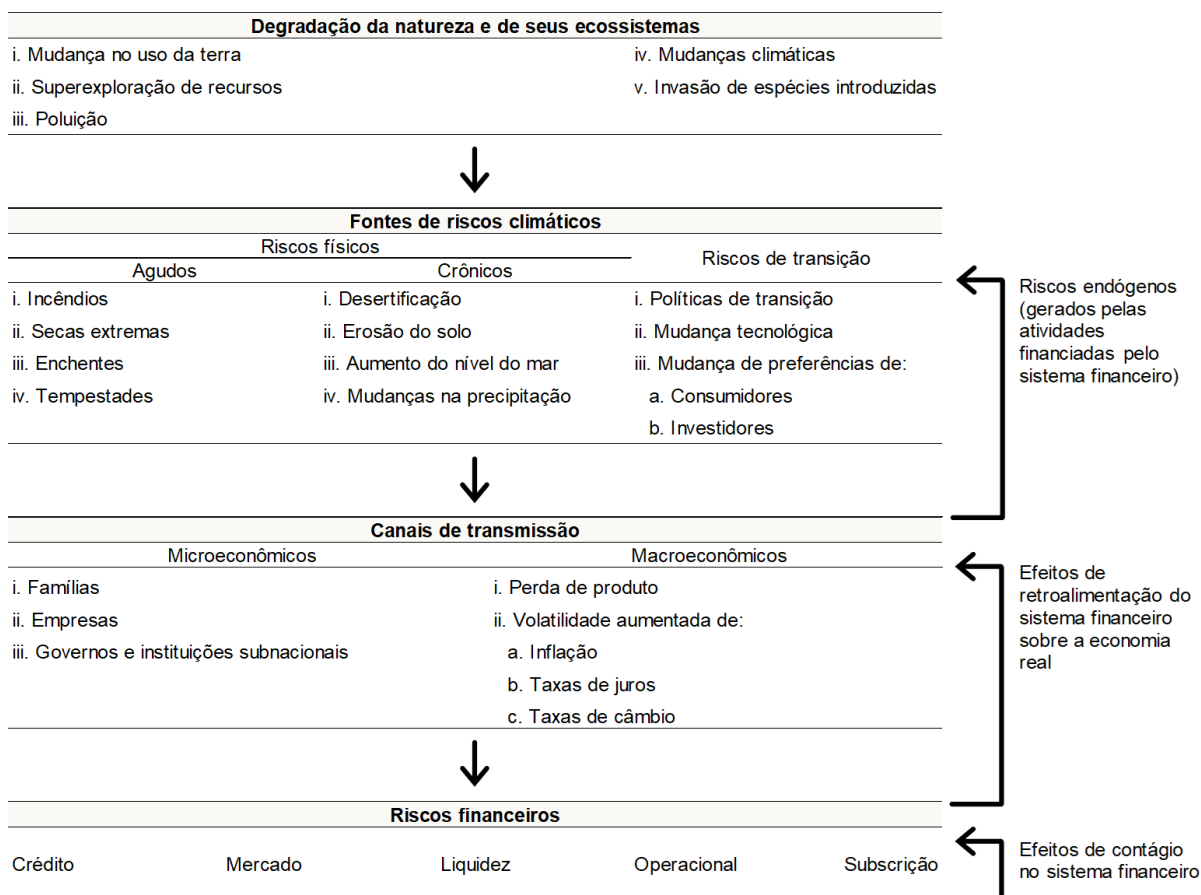
Enquanto fontes de riscos físicos agudos podem ser estudados através do efeito de desastres naturais recentes, riscos crônicos dependem de projeções de impactos, condicionadas às diferentes trajetórias de emissões e GMT possíveis, como feito na projeção de cenários NGFS. Além disso, a incerteza sobre as ações de política climática, o comportamento dos consumidores e o desenvolvimento de novas tecnologias, que são os elementos que constituem a chamada fonte de riscos de transição, têm efeitos especialmente imprevisíveis, especialmente quanto à tradução

³ Em Banerjee et al. (2023), o aumento de catástrofes naturais se mostrou particularmente acelerado nos últimos desde 2017, o que preocupa os financiadores de seguradoras, que esperam evidências mais robustas de que essas firmas têm adaptado corretamente a gestão de riscos e a precificação de apólices; os autores, representantes de uma resseguradora importante, a SwissRe, também afirmam que "após seis anos de perdas elevadas e falhas nos modelos de exposição, existe um ceticismo que os modelos atuais capturam os riscos completamente" (Banerjee et al., 2023). Como será visto no capítulo 2, o setor de seguros tem um papel importante como possível mitigante de riscos financeiros originados das mudanças climáticas.

em riscos financeiros, visto que bancos e mercados de ativos não enfrentaram eventos de transição significativos até então (BCBS, 2021).

Dessa maneira, é preciso que haja uma compreensão exaustiva do mecanismo através do qual a materialização desses riscos traz consequências diretas para o sistema financeiro, a fim de desenhar cenários e políticas capazes de mitigar crises financeiras ligadas ao clima, bem como promover a transição energética. Tais riscos climáticos podem ser traduzidos em riscos financeiros através dos Canais de transmissão, que são "[...] as cadeias causais que explicam como fontes de riscos climáticos impactam bancos direta e indiretamente através de suas contrapartes, ativos e das economias em que operam" (BCBS, 2021, tradução nossa). Abaixo vemos uma visão holística da transmissão das mudanças climáticas em riscos financeiros, e em seguida detalhamos os canais de transmissão.

Figura 1.8 – Esquema do Arcabouço de Riscos Financeiros derivados das Mudanças Climáticas



Adaptado de BCBS (2021) e NGFS (2023c)

Os canais microeconômicos abarcam as maneiras pelas quais a mudança climática afeta instituições financeiras individualmente expostas a conjuntos de famílias, empresas e governos, causando perdas através de dificuldades de pagamento de suas contrapartes, além da perda de valor de ativos marcados a mercado. Tais canais são importantes visto que "o efeito em instituições financeiras específicas tem o potencial de se espalhar por sistemas financeiros e/ou criar efeitos de retroalimentação para a economia real [...] podendo amplificar choques inicialmente brandos" (NGFS, 2023c, p. 16, tradução nossa).

Já os canais macroeconômicos se referem a forma como as economias em que as instituições financeiras estão inseridas são impactadas pelas mudanças climáticas, traduzido em variáveis como produtividade do trabalho, crescimento do produto e

taxas de inflação e juros, e então como o sistema financeiro é afetado como um todo. É esperado que os canais macroeconômicos tenham um efeito significativo nos níveis de risco de crédito e de mercado.

Abaixo, vemos como cada classe de agente transmite a materialização de eventos climáticos para as instituições financeiras, através dos canais de transmissão. Apesar de muitas referências serem mencionadas em BCBS (2021), aqui elas são complementadas com outras ou omitidas a fim de transmitir principalmente a complexidade do tema e os desafios para a política monetária e o sistema financeiro como um todo, ou ainda destacar oportunidades de atuação deste para a mitigação do aquecimento global.

1.2.1. Famílias

Existem evidências que mostram o impacto no patrimônio das famílias em desastres naturais passados, que podem servir como proxies para o impacto da elevação de riscos físicos, a depender da trajetória das emissões de GHGs. Em geral, as famílias de classe mais baixa tendem a ter uma fatia maior dos seus ativos dedicada à propriedade residencial (Mian e Sufi, 2015, p. 21), e por isso essa classe de agentes têm um impacto significativo nos riscos de crédito e de mercado, apesar deste ainda precisar de pesquisa adicional quanto ao risco de ativos relacionados a esse tipo de propriedade (BCBS, 2021, p. 15). Para o risco de crédito, o efeito principal é a perda de riqueza das famílias – através da redução do valor do colateral – e o aumento da possibilidade de default, afetando as instituições financeiras tanto pelo efeito renda quanto pelo efeito riqueza.

Bin e Polasky (2004) utilizaram dados de vendas de casas no condado de Pitt, cidade costeira na Carolina do Norte antes e depois do furacão Floyd, que atingiu a costa leste em 1999. Cerca de 6% das casas no estudo estão em áreas com 1% de chance de alagamento em um ano, i.e., sujeitas a alagamentos com um período de retorno de 100 anos. Após a passagem do furacão, o preço de imóveis nessas áreas caiu quase duas vezes mais que a queda de preços média na cidade. A partir disso, é possível deduzir, além da demonstração da perda de riqueza após um evento climático agudo, vê-se que a percepção de risco foi ajustada após o evento para

considerar o diferencial de vulnerabilidade entre casas sob risco de alagamento e casas em áreas elevadas.

Ortega e Taspinar (2018) encontraram resultados semelhantes em Nova Iorque após a passagem do furacão Sandy, em 2012. Houve perda gradual do valor de até 8% em imóveis não danificados em áreas afetadas pelo furacão, e os dados até 2017 não apresentaram reversão dessa perda. Além disso, imóveis danificados apresentaram uma queda imediata, de 17% a 22%, mas que convergiu para a queda regional de 8%.

Para estudar o efeito de desastres naturais na estabilidade financeira, Noth e Schüwer (2018) avaliaram seis métricas para os resultados de bancos entre 1994 e 2012, as quais são:

- Probabilidade de default, a partir de um modelo Probit (PD)
- Taxa de ativos non performing (NPA)
- Taxa de execução de garantias (foreclosure) (FOR)
- Retorno sobre ativo (ROA)
- Equity to asset ratio (EQ) – Razão capital próprio/ativo
- z-score, definido como $\frac{\ln\left(ROA + \left(\frac{\text{Capital próprio}}{\text{Ativo}}\right)\right)}{dp(ROA)}$ quanto menor, mais suscetível a falência

Em geral, foi encontrada uma piora significativa em todas as métricas após desastres naturais, mesmo controlando para o pagamento de seguros e assistência governamental. No entanto, tais efeitos adversos sobre a solvência dos bancos tende a desaparecer no caso de eventos climáticos (em oposição a eventos geológicos), caso não ocorram mais desastres em períodos seguintes.

É factível que regiões recentemente afetadas passem por um processo de desalavancagem (deleveraging) como ocorrido após a crise financeira global. Mian e Sufi (2015) indicam que no Kansas, região com alta frequência de tornados, as famílias são especialmente preocupadas com a contratação de seguros que cubram danos causados por tais eventos. Os autores também mostram que dívidas

hipotecárias causam o efeito oposto, destruindo rapidamente o patrimônio acumulado das famílias, principalmente nas classes mais baixas.

Dado esse contexto, a percepção de risco das famílias se ajusta apenas após a ocorrência de algum evento climático agudo (isto é, em regiões que ainda não foram atingidas ou em que a frequência passou a ser mais alta com a progressão das mudanças climáticas), como visto anteriormente pelos ajustes de preços observados ex post. Baldauf et al. (2020) encontraram que áreas de maior crença a respeito do aquecimento global têm preços menores nos EUA. A desalavancagem, então, pode ser muito mais grave em regiões de altos níveis de endividamento das famílias e/ou baixa adesão a seguros contra esses riscos. Empresas afetadas diretamente ou pela queda da atividade regional podem ainda catalisar esse processo com a redução da capacidade de pagamento das famílias.

1.2.2. Empresas

Para as firmas, tais perdas causadas por eventos climáticos extremos em geral causam diminuição da cobertura do serviço da dívida. Riscos físicos crônicos podem afetar diretamente as empresas através do efeito renda, onde bancos esperam que riscos de temperaturas elevadas, secas e inundações podem representar um risco maior para a saúde financeira das suas contrapartes que riscos agudos (BCBS, 2021). Em geral, a avaliação de riscos físicos crônicos é melhor descrita considerando as diferenças regionais, as quais exploramos em maior detalhe no capítulo 2.

Enquanto alguns canais são relativamente fáceis de conectar a esse efeito para as instituições financeiras, como a perda direta de capacidade operacional causada pela materialização de riscos físicos ou por ativos encalhados por políticas de transição e mudanças tecnológicas (BCBS, 2021), outras relações de causa são igualmente importantes e menos óbvias, os quais são aqui destacados. Uma delas é a disrupção de processos produtivos e cadeias de valor.

Como apontado por Bland e Kwong (2011), clustering (isto é, concentração de um setor produtivo em um local) aumenta a exposição de indústrias inteiras e cadeias de suprimentos a riscos físicos agudos, ainda que gere economias externas de escala, como especialização da força de trabalho e redução de custos de transporte. A

concentração da produção na Tailândia de partes automotivas fornecidas à Honda e de um terço da produção global de discos rígidos causou impactos financeiros a clientes dessas indústrias após a inundação que atingiu o país em 2011. Isso foi observado no Japão após o Grande Terremoto da Costa Leste no mesmo ano.

Esse fenômeno é mais bem estudado em Barrot e Sauvagnat (2016), onde os autores fazem uma extensa análise dos impactos de desastres naturais sobre diversos indicadores de empresas nos Estados Unidos que podem evidenciar a propagação de choques idiossincráticos em cadeias produtivas. Um resultado importante é que um fator determinante para a propagação de choques idiossincráticos é a especificidade dos insumos. A fabricante de computadores Acer, baseada em Taiwan, estimou que as receitas cairiam entre 5 e 10%, e que os preços de discos rígidos, insumo específico na sua produção e fabricados na Tailândia, subiram de 5 a 20%, representando o choque idiossincrático causado pela inundação neste país (Bland e Kwong, 2011).

Barrot and Sauvagnat (2016) também estimam uma perda de pelo menos 2 p.p. no crescimento das receitas de uma firma consumidora entre trimestres iguais, numa média amostral de 10%, o que é economicamente significativo. Tal resultado foi encontrado mesmo controlando para choques que atinjam a própria firma consumidora, choques setoriais ou estaduais.

Esse choque idiossincrático se refletiu também no valor de mercado das firmas consumidoras, o que pôde ser visto usando um estudo de evento. Usando o modelo Fama-French de 3 fatores para estimar o retorno esperado das firmas, as consumidoras que tiveram algum fornecedor atingido por um desastre tiveram um retorno inesperado de -1% nos dias seguintes à ocorrência de um desastre sobre algum de seus fornecedores. Esse choque também parece se propagar horizontalmente: um fornecedor específico afetado pode diminuir a demanda da firma consumidora por outros insumos. O crescimento da receita de fornecedores parece cair entre 3,6 e 4,4 p.p.

Outro efeito menos óbvio é causado pela perda de biodiversidade e de serviços dos ecossistemas. A perda de biodiversidade é um fator de crescente preocupação visto que o colapso de regiões específicas, como da Floresta Amazônia, pode causar

impactos sistêmicos, não apenas localmente (NGFS-INSPIRE, 2022). A perda de serviços dos ecossistemas é um risco especial da realização de um overshoot da trajetória de temperatura, como visto em Ritchie et. al. (2021), onde são estimadas as trajetórias seguras e inseguras de overshoot para a perda de elementos terrestres importantes, como a Calota Polar, a Circulação Meridional de Capotamento do Atlântico e a Floresta Amazônica.

Apesar de tais características parecerem ser perdas em trajetórias que atinjam pelo menos 3°C, outros ecossistemas podem sofrer alterações em escalas temporais menores, como as áreas de mangues, que já parecem estar ocupando regiões mais próximas dos polos pela queda na frequência de ondas de frio extremas antes ocupadas por outros tipos de ecossistemas (Godoy e Lacerda, 2015). NGFS (2023c) ainda adverte que "a perda de ecossistemas chave podem aumentar o ritmo das mudanças climáticas através de mudanças adversas aos ciclos hidrológicos, carbônicos e nitrogênicos", e pode "provocar a relocação e a alteração de atividades econômicas para lidar com a perda de serviços de ecossistemas", se provando como outra fonte de riscos físicos tanto agudos quanto crônicos.

1.2.3. Governos e instituições subnacionais

O último agente que conecta os riscos climáticos aos riscos financeiros são os governos, especialmente relevantes pelo risco de mercado dos ativos mantidos pelos bancos. As quedas de receitas tributárias de regiões recentemente afetadas tanto por eventos agudos quanto pela materialização de riscos de transição, combinadas com os gastos para compensar danos e custos de adaptação, podem levar ao default de dívidas governamentais e a reprecificação desses ativos, restringindo a condições de financiamento fiscal (BCBS, 2021).

Do lado dos riscos físicos, Mallucci (2020) simula que a vulnerabilidade maior de alguns países do Caribe a riscos climáticos é capaz de limitar o acesso desses países aos mercados financeiros. O autor sugere que o spread soberano se mantém estável, mas os governos precisam diminuir a razão dívida/PIB em média 16 p.p. para manter as taxas de juros desejadas. Cevik e Tovar Jalles (2022) encontram evidências de que maior vulnerabilidade a riscos físicos está associado a maior prêmio pelo risco soberano, a partir de dois índices compostos que medem a vulnerabilidade e a

resiliência dos países. O mesmo resultado é encontrado em Buhr et al. (2018), em que a vulnerabilidade a riscos climáticos aumenta o custo da dívida em média em 1,17% para um conjunto de países desenvolvidos.

A nível municipal, nos EUA, Acharya et al. (2022) encontraram que a exposição a ondas de calor é responsável por uma diferença adicional de 5 a 15 pontos base em títulos de dívida de condados expostos a esse risco físico em particular, e não encontraram resultados similares para outros riscos climáticos físicos. Em contrapartida, Eren et al. (2022) argumentam que as evidências não são ainda consistentes para demonstrar que os riscos físicos são amplamente precificados não só em títulos de dívida governamental, mas em todas as classes de ativos financeiros, visto que Blackrock Institute (2019) encontra casos de pouca diferença entre os títulos de regiões mais e menos vulneráveis⁴.

Quanto aos riscos de transição, a incerteza quanto às políticas climáticas adotadas pode causar impactos divergentes no risco soberano de certos países. A incerteza sobre políticas de transição pode causar aumento nos preços do petróleo no curto e médio prazo (Zhou et. al, 2023), e afeta significativamente os retornos da indústria petrolífera, e conseqüentemente o retorno dos ativos (He e Zhang (2022)). Enquanto tais efeitos claramente afetam os preços de ativos, existindo a possibilidade de criar ativos encalhados (stranded assets), para os títulos soberanos a incerteza quanto aos preços do petróleo também já se mostrou relevante para a composição do spread soberano de alguns países asiáticos, quais sejam: Indonésia, Japão, Malásia, Filipinas, Coreia do Sul e Vietnam (Sharma e Thuraisamy, 2013). Nesse exemplo, vemos um possível canal de feedback do sistema financeiro sobre a economia e que voltaria a se propagar pelo sistema financeiro, como visto ao longo da exposição do arcabouço.

⁴ Isso pode ser objeto de crítica visto que apenas um caso sem os nomes dos condados foi apresentado e foi apontado que outros casos também existem, mas o contexto (sendo um material direcionado para investidores) impede os autores de indicarem os casos pontuais que justificam essa afirmação. Ainda assim, isso corrobora com o encontrado por Acharya et al. (2022), dado que o caso apresentado levava em conta o risco de tempestades agudas.

1.2.4 Canais macroeconômicos

As projeções atuais sobre os canais macroeconômicos são feitas principalmente pela forma como os riscos físicos e de transição podem afetar as contrapartes e o valor dos ativos dos bancos pela queda na atividade econômica, seja ela repentina ou crônica, além da volatilidade de variáveis chave, como taxas de inflação, de juros e de câmbio. BCBS (2021) ressalta que o risco de crédito e de mercado são os principais riscos financeiros derivados desse canal, apesar de reconhecer que há pouca pesquisa quanto aos riscos de liquidez e operacionais. É possível ainda dizer que essa classe de canais é pouco pesquisada como um todo.

Na exposição dos cenários NGFS, vimos a perda de produto estimada para diversas regiões e países, em particular os intervalos de confiança de queda adicional explicados por eventos climáticos agudos, resultado que se repete em diversas referências (BCBS, 2021, p. 20). Além disso, a volatilidade de taxas de juros e de inflação podem causar mais perda de renda e riqueza das contrapartes, bem como surpreender o próprio gerenciamento de riscos dos bancos. Quanto aos choques de transição em particular, maiores custos de emissão de carbono e mudanças de preferências podem reduzir lucros e por conseguinte o investimento, bem como causar o aumento de preços, assim reduzindo a renda disponível das famílias e o consumo. Esses efeitos também aumentam o risco de crédito de ambas as classes de agentes.

Maiores restrições de crédito e custos da dívida governamental, como visto em Mallucci (2020), Cevik e Tovar Jalles (2022) e Buhr et al. (2018), podem reduzir a atividade econômica com a redução de gastos governamentais e/ou maior carga tributária, aumentando os riscos de crédito, de mercado e de liquidez na economia como um todo, principalmente em eventos agudos ou choques de transição.

Apesar do contexto de poucas referências para explicar os canais econômicos de forma abrangente, é possível argumentar que os canais microeconômicos são passíveis de extrapolação para canais macroeconômicos também, tanto pelas relações entre os diversos setores e classes de agentes, bem como pela interação entre o setor financeiro e a economia real, tendo em mente as diferenças de vulnerabilidade regionais. Além disso, choques e os efeitos de outras mudanças

estruturais nas variáveis macroeconômicas podem ser usados para modelar riscos financeiros tradicionais ainda que não causados pelas mudanças climáticas, e os modelos similares ao do NGFS podem ser usados para modelar os riscos financeiros sistêmicos aos quais as economias estão expostas como um todo.

Ao longo do capítulo, um tema recorrente e que se mostrou especialmente relevante para a orientação da política monetária são os diferenciais de vulnerabilidade entre os países, que podem estar nas instituições, nas características geográficas ou nas estruturas dos sistemas financeiros e econômicos. Dessa maneira, se faz imprescindível que a avaliação de medidas de política monetária e supervisão financeira seja feita à luz das diferentes características regionais, a serem exploradas no capítulo seguinte.

Outra conclusão fundamental é quanto à necessidade de buscar trajetórias de transição mais rigorosas apesar das perdas que podem causar a certas regiões e do alto grau de incerteza tanto nas projeções físicas quanto nas projeções macrofinanceiras. Além de estabilizar os desvios das variáveis macroeconômicas em relação ao cenário base nas projeções do NGFS, essa alternativa também tem o potencial de estabilizar os danos a ecossistemas importantes, bem como evitar problemas de ordem socioeconômica resultantes das mudanças climáticas, como aumento de conflitos violentos e emigração em massa de regiões particularmente afetadas (BCBS, 2021).

2. MODIFICADORES DE RISCOS FINANCEIROS NO SISTEMA FINANCEIRO

Partindo da constatação de que regiões diferentes tem perfis de exposição a riscos macrofinanceiros diferentes, nesse capítulo é detalhado possíveis fatores que diferenciam as regiões a partir de diferentes configurações setoriais no sistema financeiro ou características dos seus mercados. Esses fatores podem amplificar ou mitigar riscos financeiros derivados do clima, e já indicamos que o setor financeiro possui um efeito feedback relevante sobre a economia e está suscetível a efeitos de contágio.

Esse aprofundamento no sistema financeiro se prova especialmente relevante dado que publicações centrais na orientação de políticas de adaptação às mudanças climáticas, como o Relatório de Avaliação 6 do IPCC e as projeções do NGFS em particular, não incorporam de forma abrangente os pontos abordados nesse capítulo, apesar de mencionar referências que figuram neste trabalho. Em suma, os esforços para entender diferenciais de vulnerabilidade entre regiões podem estar sujeitos a um ponto cego nesse tópico, possivelmente subestimando os impactos em regiões mais vulneráveis ao ponderar mais sobre as características do sistema climático e das economias.

Na seção 2.1, do setor bancário, está exposto como a materialização de riscos financeiros gera impactos diferentes em regiões onde existe maior número de bancos independentes (i.e., não associados a uma rede ou conglomerado) e onde os bancos têm acesso a diferentes estruturas de financiamento do ativo.

Na seção 2.2, do setor de seguros e resseguros, está detalhado qual o grau de desenvolvimento desse setor nas diferentes economias regionais, bem como os problemas que essa indústria enfrenta em relação aos riscos climáticos, em particular no financiamento dessa atividade. Também é apresentado um panorama da adoção de instrumentos financeiros desenhados para essa classe de riscos e que tenta contornar restrições de capital adversas.

Na seção 2.3, do estágio de desenvolvimento do mercado de capitais, vemos primeiro como a amplitude, a profundidade e a incerteza do mercado local são os principais determinantes para capacidade de redução de exposição (hedge) a riscos

financeiros derivados do clima de bancos e investidores em geral - não só locais, mas também globais. Esse fator também é um importante determinante para os temas explorados nas seções anteriores.

2.1 Setor bancário

O primeiro fator de variabilidade regional no setor financeiro é qualificar diferenças no comportamento dos bancos que possam explicar como algumas regiões podem ser mais vulneráveis a depender da estrutura do mercado bancário e da reação dos bancos ao aumento da percepção de riscos ou a eventos climáticos agudos. Apesar de outras diferenças nas características do setor bancário entre países poderem ser relevantes, os fatores citados foram explorados em algum grau pela literatura existente.

Em BCBS (2021), as ações dos bancos podem ser proativas, como diversificação para evitar uma exposição excessiva a riscos climáticos, ou reativas, tais como a securitização e a venda de ativos já nos balanços para transferir riscos climáticos de forma permanente, ou ainda diminuir a exposição financeira temporariamente através do setor de seguros⁵.

Nesse sentido, a principal característica que parece definir o comportamento dos bancos numa dada região é a presença de bancos locais, i.e. independentes de grandes redes bancárias. Berger et al. (2005) mostra que, em períodos estáveis, bancos pequenos se especializam em originar empréstimos para tomadores com que exigem intensa coleta informacional, que não podem ser subscritas e vendidas no mercado secundário usando informações padronizadas - como scores de crédito e técnicas de seleção (como seleção automatizada para originação). Loutskina e Strahan (2010) mostram ainda que os retornos de bancos menores tendem a ser maiores e a variar menos sistematicamente, mesmo na deflagração da crise financeira global. Estes autores ainda sugerem que a crise tenha sido causada por uma diversificação (pelas instituições financeiras grandes) feita ao custo do afrouxamento

⁵ Entende-se que esse setor tem um papel complementar à atividade bancária se as contrapartes dos bancos tiverem riscos financeiros mitigados por apólices de seguros. Nos Estados Unidos, hipotecas com propriedades com um risco de inundação maior que 1 em 100 anos usadas como colateral só podem ser aprovadas se as propriedades estiverem asseguradas contra esse risco (FDIC, 2019, p. 593).

na produção de informação por parte dos bancos, o que é um aspecto essencial dos bancos como visto em Leland e Pyle (1977), onde o surgimento de intermediários financeiros é explicado pela especialização de firmas na compra e retenção de ativos baseada em informação especializada, no contexto de informação assimétrica.

Enquanto é esperado que bancos menores sejam mais afetados pelo aperto das condições financeiras (que o autor chama de canal da capacidade financeira⁶) e então reduzir as taxas de aprovação de empréstimos, Chavaz (2016) encontra justamente o oposto após a passagem do furacão Katrina e dos demais da temporada de tempestades de 2005.

O artigo mostra que, em regiões afetadas por furacões, bancos locais tendem a originar mais empréstimos em áreas afetadas e menos em não afetadas comparado a bancos mais diversificados, mas dependem fortemente de venda de Títulos Lastreados em Ativos (ABS) para concretizar isso. Loutskina e Strahan (2008) consideram que a securitização oferece aos bancos uma forma de se contornar piores nas condições financeiras. O mecanismo descrito é que "a possibilidade de originar e vender ativos de crédito líquidos ajuda bancos locais a originar e reter ativos de alta intensidade informacional, mesmo em condições financeiras apertadas".

O autor sugere que esse mecanismo é causado por dois fatores (enquanto descarta outros dois) que compõem um segundo efeito, intitulado canal de lucratividade relativa, e que prevalece sobre o canal da capacidade financeira.

O primeiro fator, a vantagem informacional dos bancos independentes, é observado em Chavaz (2016) e fundamentada por modelos com um canal do balanço patrimonial, em que a deterioração do preço do colateral das contrapartes exige gasto maior em análise de crédito⁷ e monitoramento (Holmstrom e Tirole, 1997) que serve em parte como substituto do colateral, onde o autor argumenta que bancos locais teriam uma vantagem nas regiões que atuam.

⁶ Esse canal é consistente com modelos que incorporam um canal de empréstimo bancário, como o de Stein (1998), onde um aumento da opacidade do valor dos ativos, como esperado após um desastre natural, pioraria a capacidade financeira de bancos locais em maior grau do que de bancos diversificados.

⁷ Análise de crédito é a tradução usada nesse trabalho para *screening*.

O segundo fator, a oportunidade de recolherem taxas imediatamente na originação de ativos padronizados e assim atravessarem períodos de aumento de inadimplência, mostram um benefício marginal do dinheiro maior para os bancos locais, visto que reter ativos de alta intensidade informacional protege a rentabilidade dessa classe de instituições financeiras.

Esse resultado é consistente com Cortés e Strahan (2017), onde os autores identificaram um comportamento semelhante: em resposta a condições financeiras adversas após o mesmo evento e após outros desastres naturais, bancos multimercado porém independentes tendem a migrar o capital investido em áreas onde têm menor vantagem comparativa, usando de securitização e menor originação nessas regiões, para áreas onde têm maior vantagem.

Do lado passivo, Schüwer et al. (2019) encontraram evidências similares a Chavaz (2016), onde bancos independentes aumentaram a concessão de créditos após a passagem do furacão Katrina e as tempestades subsequentes, mas encontram o resultado adicional de que estes tendem a aumentar o índice de capital ponderado pelo risco (risk-based capital ratio) mais do que bancos diversificados após o choque. Além disso, apenas os bancos independentes que já têm um nível de capitalização já elevado aumentam essa razão, que os autores argumentam ser explicado pelo maior custo de uma falência de instituições que já têm um alto valor de franquia (franchise value), isto é, tida como capaz de continuar gerando lucros no futuro e com uma marca já estabelecida. Isso também indica um possível ponto de atenção para as autoridades monetárias.

De maneira correspondente à literatura sobre o ativo, os autores também indicam que, apesar da melhoria na razão de capital, os bancos independentes aumentam tanto o volume de ativos de menor risco, como títulos governamentais, quanto a taxa de aprovação de empréstimos para firmas não financeiras, evidência do uso de outras estratégias, como a venda de ativos.

Como visto, boa parte da literatura sobre o tema se desenvolveu sobre os dados da temporada de furacões de 2005 nos Estados Unidos, possivelmente necessitando de pesquisa sobre outros eventos agudos para confirmação desses efeitos. Feita essa ressalva, Cortés (2014) mostra que os bancos locais foram

responsáveis por um aumento significativo da taxa de emprego de firmas em condados dos EUA atingidos por algum tipo de desastre (inclusive geológicos) no período de 1997-2010. A autora encontra que 1 desvio padrão maior na fatia do crédito local resulta num crescimento de 1 p.p. da taxa de emprego em firmas mais novas e de 0.1 p.p. da taxa de emprego de firmas maduras após a queda causada por algum desastre, e sumariza da seguinte forma:

"As taxas de crescimento para as menores firmas, até 50 funcionários, são positivas e significativas. Instituições financeiras locais aumentam a originação após o desastre e não é encontrada uma queda subsequente, sugerindo que os empréstimos não estão sendo feitos ao custo de uma taxa de originação menor no futuro" (Cortés, 2014).

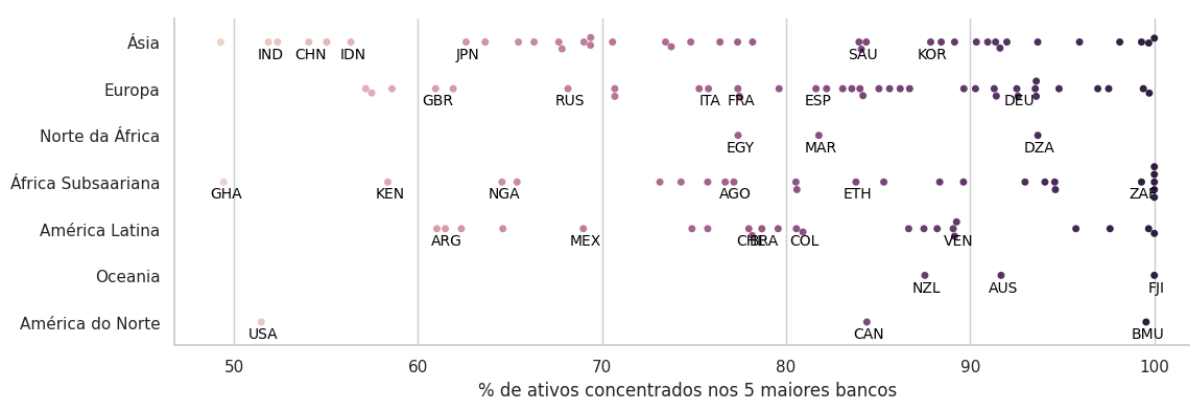
A importância de bancos locais e de relacionamento já se mostrou importante também na Crise Financeira Global: Bernanke (2011) afirmou que, entre a metade de 2008 até 2010, houve queda na oferta de crédito para firmas pequenas, mas que essa queda não foi uniforme. Bancos menores tiveram quedas menores se comparadas a bancos grandes, e algumas até aumentaram a oferta. Sobre esse tema, ainda segue: "Essa forte evidência subestima os benefícios importantes dos bancos de relacionamento, em particular em períodos de estresse financeiro e econômico" (Bernanke, 2011). Com o caso construído a favor da importância de bancos locais para uma maior resiliência a riscos derivados do clima⁸, vale tentar mensurar onde outros países estão em relação aos Estados Unidos, pois apesar de diferenças regionais na concentração bancária, este é o país com a maior quantidade de bancos no mundo. Ainda que boa parte da literatura revisada nesta seção tenha se baseado em evidências baseadas nos Estados Unidos, esse exercício pode oferecer um ponto de partida para pesquisas posteriores a nível regional.

Os gráficos 2.1 e 2.2. mostram a razão de concentração dos ativos nas cinco maiores instituições financeiras de cada - região. Aqui, é possível argumentar que as cinco maiores dependem de informações padronizadas para conceder empréstimos, principalmente a firmas pequenas e médias. Dessa forma, dado um certo país, uma

⁸ Vale ressaltar que não necessariamente a concentração bancária têm impactos conclusivamente negativos sobre a estabilidade financeira em geral. Beck (2008) mostra que outros fatores são mais importantes para assegurar a competição eficiente no setor, que tende a ser correlacionada positivamente com a estabilidade ao menos em pesquisas que envolvam múltiplos países, como menores barreiras à entrada e restrições à atividade e abertura a bancos estrangeiros. Tais fatores não necessariamente implicam que razões de concentração - como as apresentadas nas Figuras 2.1. e 2.2 - são indicativos de menor estabilidade financeira, como elaborado pelo autor.

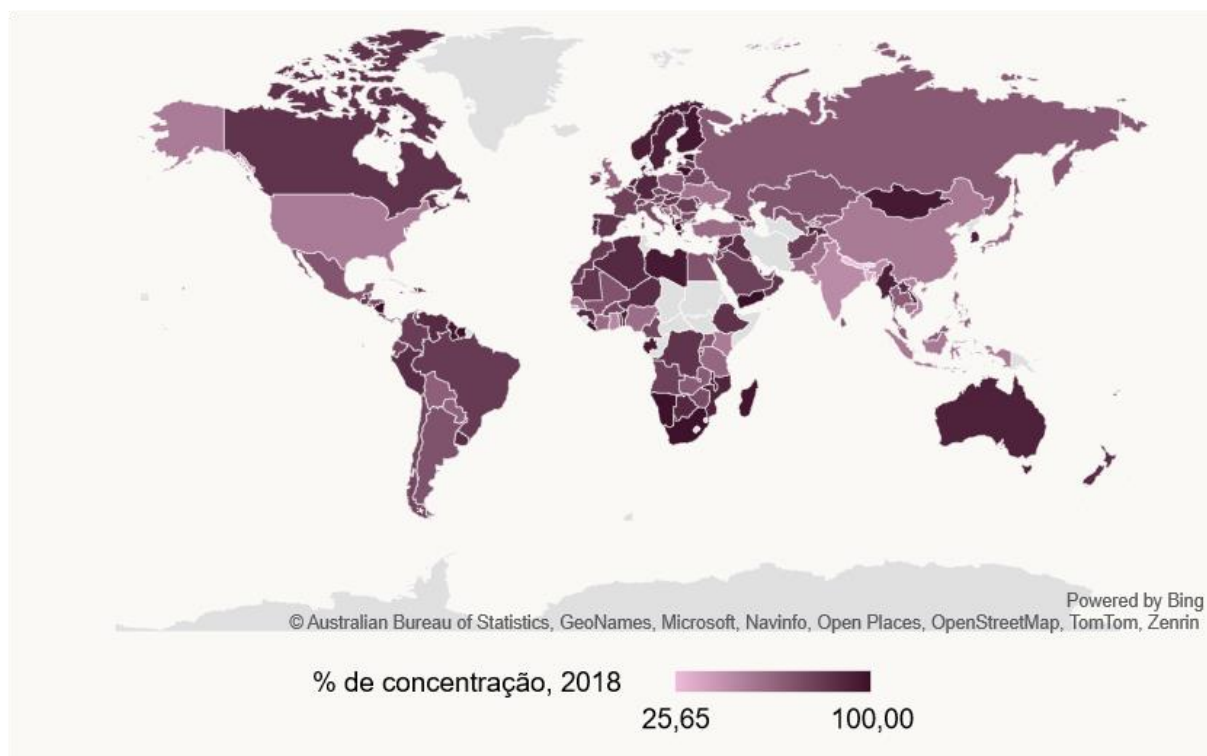
maior fatia do mercado consolidada nas maiores significa menos espaço para instituições financeiras locais e independentes, sugerindo que essa região estaria mais vulnerável a choques climáticos.

Figura 2.1 - % de ativos concentrados nos 5 maiores bancos por região, 2020



Fonte – Adaptado de The World Bank

Figura 2.2 - % de ativos concentrados nos 5 maiores bancos por país, 2020



Fonte – Adaptado de The World Bank

A partir dos dados, podemos primeiro notar que as principais economias asiáticas têm um grau de consolidação menor com algumas exceções de países não relevantes sistemicamente, e do Oriente Médio. Enquanto isso pode ser relevante localmente para essa região, já vimos que essas economias tendem a ser voltadas principalmente para a exploração de hidrocarbonetos, então a discussão realizada nessa seção pode não ser especialmente relevante dado o porte das firmas nesse setor.

As economias da África subsaariana exibem um grau de consolidação maior, expondo também uma possível fonte de vulnerabilidade dessa região, bem como a Austrália e o Norte da Europa. Em menor grau, as economias da América Latina e do restante da Europa também têm um perfil mais concentrado em relação às economias asiáticas e à economia americana.

2.2 Setor de seguros e resseguros

O setor de seguros e resseguros⁹ têm um papel fundamental na vulnerabilidade econômica e financeira de uma economia, como podemos ver em Von Peter et al (2012). Os autores usaram dados de 203 países entre 1960 e 2011 combinados a 2476 desastres naturais e mostraram a importância da transferência de risco para a resiliência climática das economias. Um desastre natural típico (mediano) teve um efeito de 0,6 a 1 p.p. no impacto e resulta numa perda acumulada de duas a três vezes esse valor. No entanto, após catástrofes significativamente cobertas por seguros, se provaram inconsequentes ou até mesmo positivas para o crescimento no médio prazo após o choque. Sobre a importância desse resultado, os autores escrevem:

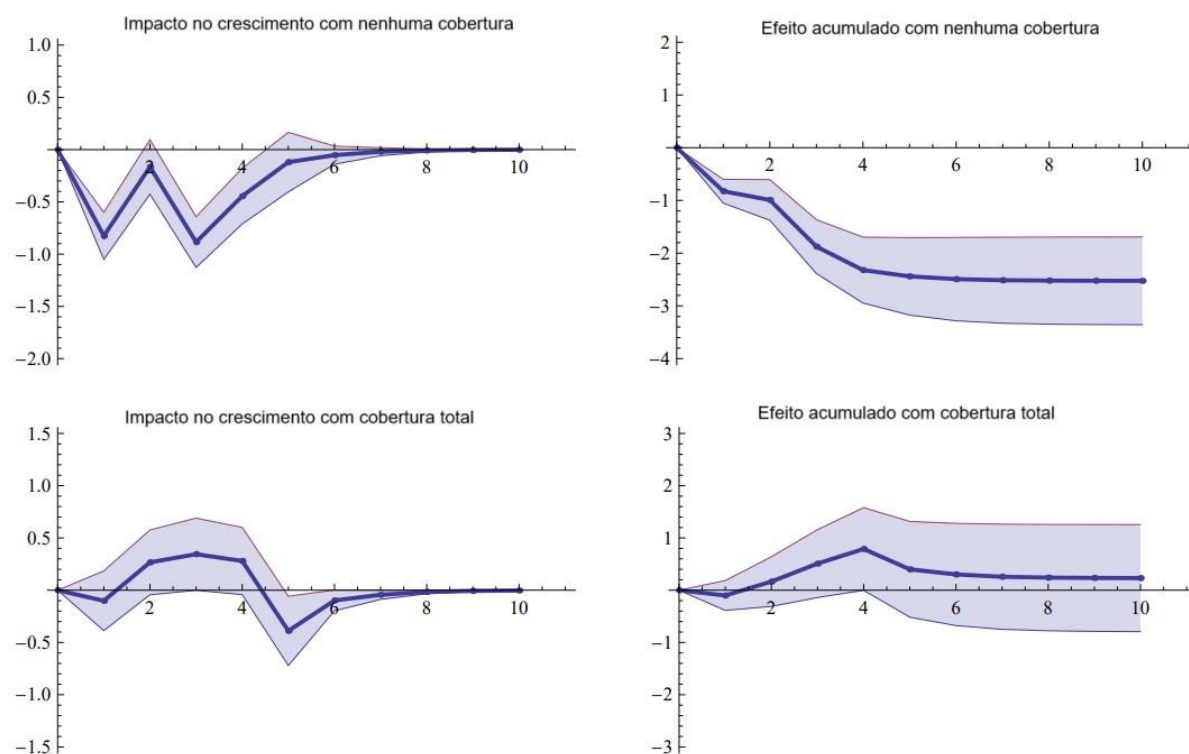
"Esses resultados sugerem que a transferência de risco para o mercado de seguros tem valor macroeconômico, que pode ser particularmente importante para nações pequenas que não tenham a capacidade de se (re)assegurar contra grandes desastres naturais. [...] A extensão da capacidade da transferência de risco em mitigar o custo macroeconômico de desastres é pertinente à literatura de finanças e de crescimento, que foca no setor bancário e nos mercados de capitais, mas não no setor de seguros [...] e pode enriquecer a perspectiva macroprudencial sobre a regulação e a supervisão de seguradoras" (Von Peter et al., 2012, tradução nossa).

Na Figura 2.3, vemos as funções impulso-resposta a um desastre médio da base de dados no produto de acordo com o grau de cobertura no país. Enquanto

⁹ Ao longo do texto, o uso da expressão "setor de seguros" incluirá seguradoras, resseguradoras e ainda o mercado de retrocessão. Este último compreende o segmento de resseguros de resseguros.

países com maior cobertura parecem ter um efeito cumulativo dissipado alguns trimestres após o evento, países com menor cobertura realizam uma queda de 3 p.p. no crescimento do país.

Figura 2.3 – Funções impulso-resposta do crescimento após um desastre natural, por trimestres, %



Fonte – Adaptado de Von Peter et al. (2012)

Os autores argumentam que uma maior cobertura está associada a dois canais que explicam a recuperação após um desastre. O primeiro deles, das restituições, é definido pelos pagamentos feitos pelas seguradoras e que estimulam a atividade econômica através dos investimentos feitos pelos assegurados. Já o segundo, da alocação de recursos, é explicado pela transferência de conhecimento aumentada em regiões com maior cobertura:

- Ex-ante, seguradoras promovem incentivos a proteção de ativos em áreas asseguradas, como melhores códigos de construção adaptados aos riscos climáticos naquela área

- Durante o evento, seguradoras podem enviar especialistas para conter as perdas e acelerar a reconstrução;
- Ex-post, seguradoras têm um interesse em treinar seus clientes em regiões suscetíveis a catástrofes a fim de mitigar a exposição e planejar a continuidade dos negócios.

Tais iniciativas promovem a recuperação e garantem a alocação de recursos para a reconstrução de ativos economicamente importantes - em contraste com fluxos de ajuda humanitária e outras formas de alívio pós-desastre, que não têm essa característica alocativa importante segundo os autores.

Estabelecida a relevância do setor, é interessante entender a dinâmica atual da oferta de seguros globalmente, bem como comparar o desenvolvimento da cobertura entre regiões para traçar outro perfil de diferencial de vulnerabilidade.

Em Kielholz (2000), há uma definição sucinta da atividade das seguradoras. O autor argumenta que a visão moderna sobre o setor de seguros é amplamente influenciada pelas teorias modernas de finanças corporativas, estrutura de capital ótima e alocação eficiente do capital. Além disso, também faz uma analogia de uma seguradora a um veículo de investimento alavancado, pois escreve:

"Uma seguradora levanta capital que permite subscrever uma apólice de seguros. Com seu capital e os prêmios pagos, eles devem pagar restituições das apólices e as despesas de negócio. Porém existem defasagens temporais importantes entre o levantamento de capital e o recebimento de prêmios, e o pagamento de restituições e de despesas. Seguradoras exploram essa defasagem e investem tanto o capital dos investidores quanto os prêmios recebidos até que o pagamento de restituições e de despesas seja requerido".

Em Debbage e Dickinson (2013), há um balanço patrimonial estilizado das firmas de seguros e que representa a descrição de Kielholz (2000) de forma gráfica.

Figura 2.4 – Balanço estilizado de uma seguradora

Ativos	Capital e passivos
Investimentos e.g. dinheiro, ações, títulos e imóveis	Patrimônio líquido e outros passivos
Outros ativos, incluindo reivindicações com resseguradoras	Passivos com titulares de apólices

Fonte – Adaptado de Debbage e Dickinson (2013)

Dado esse contexto, em Banerjee et al., 2023, os pesquisadores ligados a uma resseguradora importante destacam os principais pontos de atenção para o setor de seguros e resseguros. Os autores expõem que o setor passou por um aumento da exposição em 2021 e 2022, mas por queda no nível de capital, que os autores atribuem a aumento das taxas de juros e menor valor dos ativos.

Além disso, o apetite pelo risco diminuiu também por conta de resultados abaixo do esperado do subsetor de seguros de propriedades, e "da percepção generalizada de que as avaliações de risco têm subestimado a verdadeira trajetória de perdas". Na visão dos autores, esse cenário é o que têm levado investidores do setor a hesitarem em prover fundos para recuperar a capacidade da indústria.

Consistente com a dinâmica do setor explicada por Kielholz (2000), o aumento das taxas de juros visto em Banerjee et al. (2023) pode de fato diminuir o valor dos

ativos que servem de garantia para as seguradoras suportarem as restituições das apólices emitidas, o que restringe a expansão da oferta.

Num contexto mais amplo, vemos aqui um possível canal indireto da política monetária sobre a vulnerabilidade a choques climáticos, de correlação negativa entre as taxas de juros e o valor dos ativos das seguradoras.

Além disso, as taxas de juros têm um efeito também sobre o custo de capital das seguradoras e resseguradoras (i.e., o retorno exigido pelos investidores de uma empresa nesse setor), constituindo um possível segundo canal. Em Kielholz (2000), o autor estuda formas de estimar o custo de capital no setor de seguros, que também inclui a forma mais utilizada e simplificada, o Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM)¹⁰. A fórmula do custo de capital próprio (K_e) nesse modelo é dada por

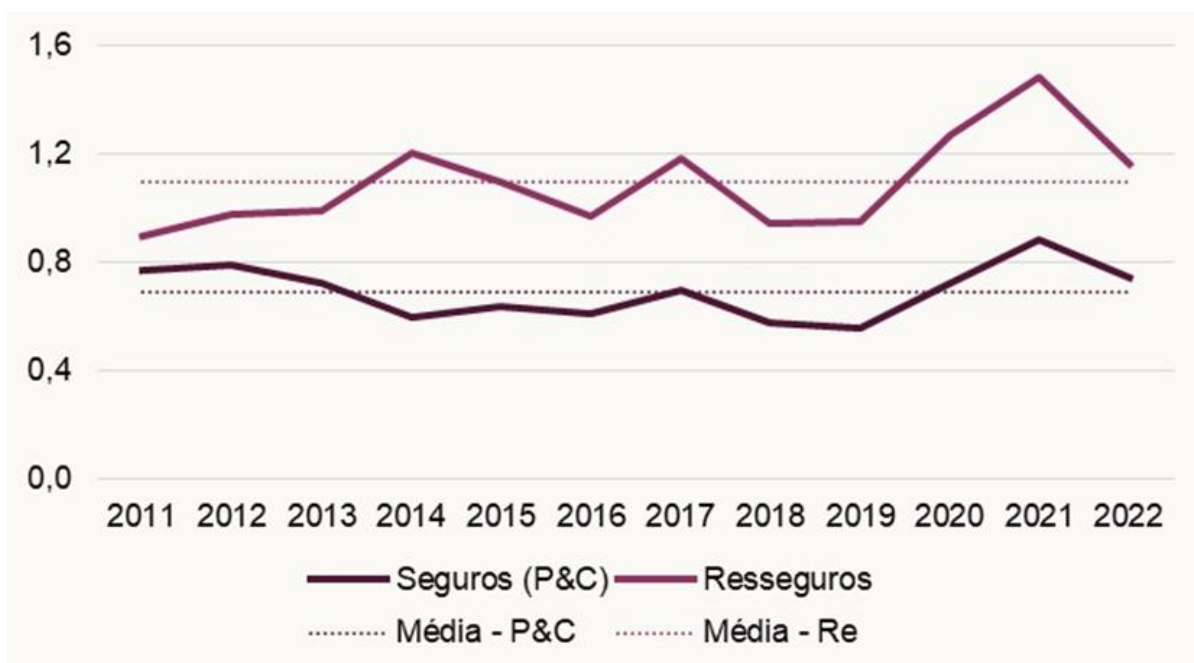
$$K_e = r_f + \beta(r_m^e - r_f)$$

Onde r_f é a taxa de retorno do ativo livre de risco, sendo usada a taxa de retorno de títulos governamentais de curtíssimo prazo e r_m^e a taxa de retorno esperada do mercado (Berk e DeMarzo, 2014, p. 340). Na Figura 2.5, vemos a média da estimativa de betas alavancados (β) em Damodaran (2023)¹¹, tanto para o setor de seguros patrimoniais (P&C) quanto para o setor de resseguros globais, que completam a equação para cada um dos setores.

¹⁰ Apesar de dívida também ser emitida por seguradoras, o autor esclarece que tende a ser uma parte pequena da estrutura de capital, por isso o destaque dado ao custo do capital próprio, modelada pelo CAPM.

¹¹ Calculados como $\beta = \frac{\beta_{5y} + 2\beta_{2y}}{3}$, onde β_{5y} é o coeficiente de inclinação da regressão entre o retorno semanal da ação do setor contra o índice do mercado local para os últimos 5 anos, e β_{2y} para os últimos 2 anos.

Figura 2.5 – Betas alavancados globais nos setores de seguros patrimoniais (P&C) e de resseguros



Fonte – Adaptado de Damodaran (2023)

Mantida constante r_m^e , empresas com fator de risco $\beta < 1$, como tende a ser a média no setor de seguros patrimoniais, passam por um aumento do custo do capital dado o maior custo de oportunidade em investir no setor (visto que $r_f(1 - \beta) > 0$, o que pode diminuir o fluxo de capital para o setor. Já o mesmo movimento pode beneficiar as empresas de resseguros, pelo menos do lado do passivo (visto que $r_f(1 - \beta) < 0$ nesse caso).

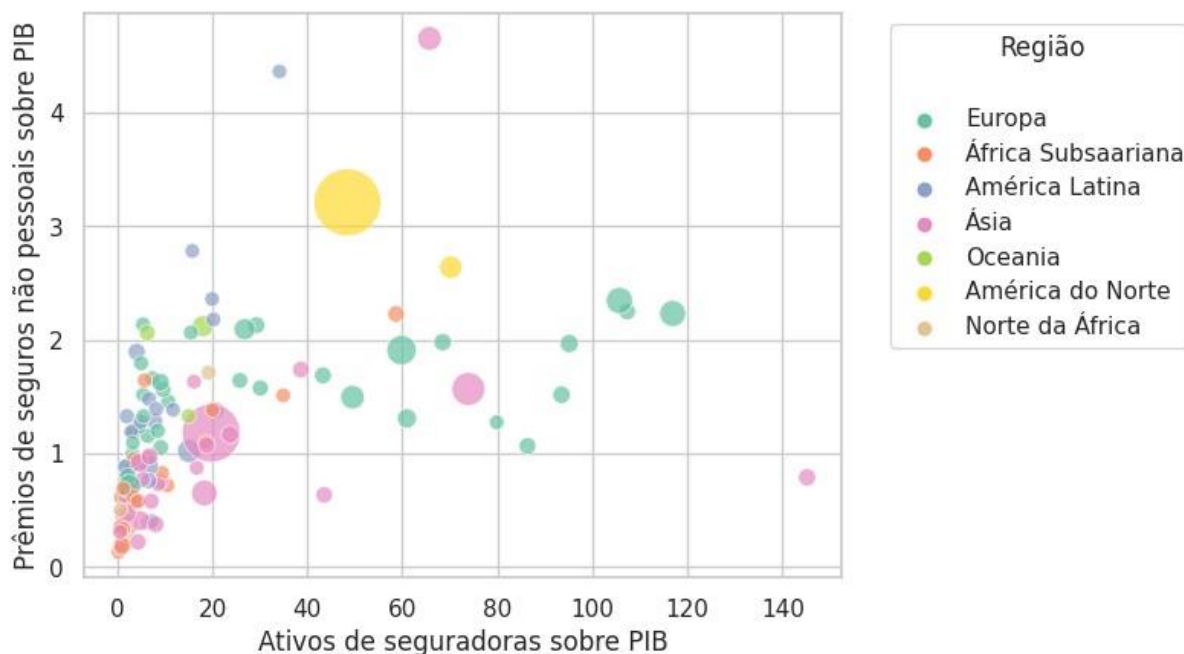
Apesar desse efeito ser ainda uma hipótese, a direção líquida dos efeitos sobre o ativo e o passivo das seguradoras e resseguradoras pode se mostrar relevante na expectativa dos resultados esperados da política monetária e pode afetar as economias de formas diferentes, considerando que os ativos livres de risco tidos como referência são as taxas de retorno dos títulos de dívida americanos.

Outro fator relevante para a dinâmica do custo de capital é a dificuldade de apuração do risco em cenários de transição do panorama de riscos, como visto em Banerjee et al., (2023). Ainda sob a luz do CAPM, isso pode mudar significativamente

o beta nos setores analisados através do aumento da percepção de riscos (Kielholz, 2020), e aumentar o prêmio exigido dos clientes na concessão de apólices.

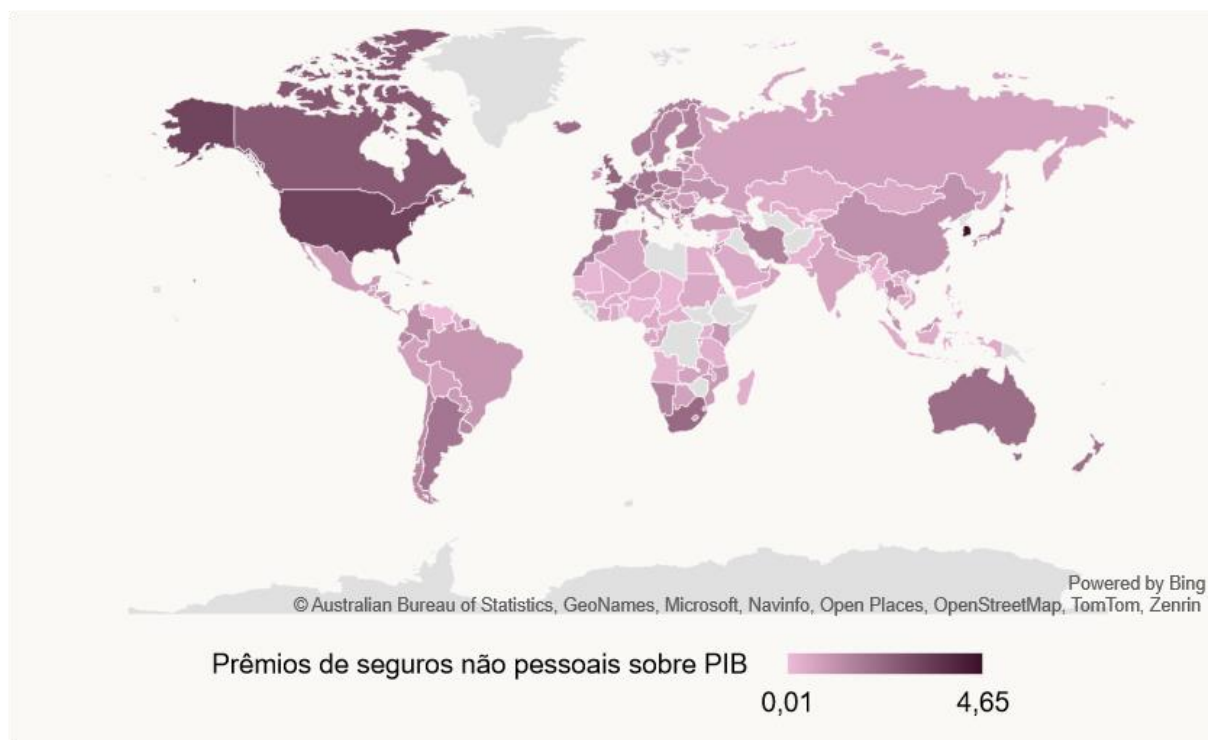
Com o objetivo de ter um panorama global da cobertura entre países e regiões, o gráfico abaixo mostra a razão entre o volume de prêmios pagos de seguros não pessoais em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) dos países, além do volume de ativos mantidos pelas seguradoras em relação ao PIB.

Figura 2.6 – Gráfico de dispersão de ativos de seguradoras e prêmios não pessoais sobre PIB por regiões, 2018, %



Fonte – Adaptado de The World Bank

Figura 2.7 – Prêmios de seguros não pessoais sobre PIB, 2018, %



Fonte – Adaptado de The World Bank

É notável que o desembolso com prêmios de seguros é maior em regiões mais desenvolvidas, como na América do Norte, na Europa, bem como na África do Sul e na Austrália e em algumas economias asiáticas desenvolvidas¹². As regiões desenvolvidas também concentram grande parte dos ativos, em especial as economias europeias, japonesa e americana, sendo um dos principais serviços financeiros exportados dessas economias - possivelmente como resultado do desenvolvimento avançado desses mercados nesses países.

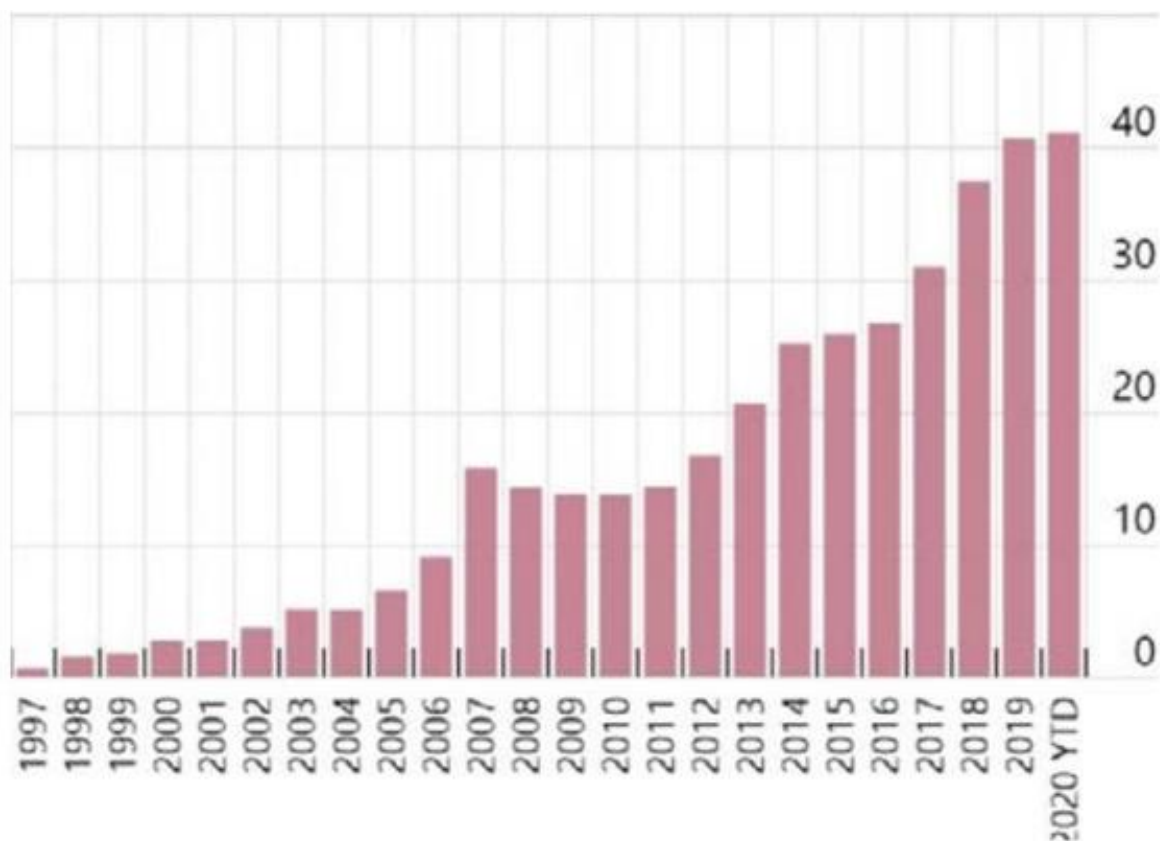
Dessa maneira, regiões menos desenvolvidas estão mais vulneráveis a riscos climáticos pelo canal do setor de seguros também, tais como a América Latina, o continente africano e grande parte da Ásia, que estão em condições que podem levar situações próximas ao cenário de baixa cobertura descrito em Von Peter et al (2012).

¹² Von Peter et al (2012) comentam que, embora a correlação entre o grau de desenvolvimento e a contratação de seguros seja positiva, as conclusões para a estabilidade financeira e econômica permanecem inalteradas ao controlar para esse fator.

Além disso, o desenvolvimento desse mercado nessas regiões pode estar condicionado às taxas de juros de política monetária locais e internacionais.

Um fator secundário de atenção para as autoridades monetárias quanto a esse setor é o desenvolvimento de instrumentos alternativos de financiamento do setor de seguros, como a emissão de títulos de dívida (conhecidos como *cat bonds*) e Títulos de Securitização (ILS), ambos lastreados em riscos de seguros catastróficos. Tais instrumentos já haviam sido citados como uma forma de reduzir a necessidade de capital de seguradoras em Kielholz (2000), e desde então se tornaram a principal fonte de financiamento no mercado de retrocessão (Banerjee et al., 2023). Em FSB (2020), o mercado dessa classe de ativos cresceu pelo menos 40x desde 1997 como pode ser visto na Figura 2.8, mas cobre principalmente riscos em mercados desenvolvidos, como Japão, Estados Unidos e Europa. Esse tema será mais aprofundado na seção 3 na discussão sobre o mercado de ativos securitizados.

Figura 2.8 – Títulos de dívida de catástrofe e ILS em circulação por ano, bilhões de dólares



Fonte – FSB (2020)

Além dos pontos positivos sobre o setor para a resiliência econômica apresentados até agora, o setor de seguros pode ter efeitos adversos sobre a estabilidade financeira também. French et al. (2015) explicam as principais conexões dessas firmas com contrapartes sistemicamente importantes no setor financeiro, como (i) a alta concentração de títulos bancários nos balanços de seguradoras, o que pode causar algum choque caso estas diminuam a exposição àquelas repentinamente; (ii) empréstimos de ações praticados regularmente pelas seguradoras, que torna a liquidez de mercado dependente desse setor e (iii) a dependência desse setor em relação ao mercado de resseguros (onde resseguradoras em falência podem causar interrupções relevantes) e aos ILS. Os autores também apontam que as seguradoras podem agir de maneira pró-cíclica (tal como qualquer outro investidor institucional) ou exacerbarem o ciclo de crédito, ao emitirem Swaps de Crédito (CDS), manterem ativos de crédito no balanço ou ainda originarem empréstimos por si próprios. Essas características levantam aspectos importantes para a avaliação das ações das autoridades monetárias sobre o setor de seguros.

2.3 Estágio de desenvolvimento do mercado de capitais

O estágio de desenvolvimento dos mercados de capitais podem ser uma dimensão da caracterização da amplificação ou mitigação dos riscos financeiros derivados do clima, e podem diferir significativamente entre jurisdições (BCBS, 2021), levando em conta as dimensões de liquidez, volatilidade e custos de transação (que fracamente caracterizam a profundidade de um mercado), ampla disponibilidade de ativos com exposições diferentes e a disponibilidade de informações - as quais são determinantes essenciais na tomada de decisões dos agentes e representam elementos que condicionam a estabilidade financeira regional e global.

No entanto, como será discutido em detalhe no capítulo 3, esses fatores não são os únicos determinantes para uma eficiente transferência e precificação de riscos no mercado financeiro, sujeito a diversas falhas de mercado – o que seria justamente uma das justificativas para uma intervenção mais ativa dos bancos centrais e dos supervisores.

A liquidez e a volatilidade de um mercado são pontos fundamentais da tomada de decisão de investidores institucionais, incluindo bancos e seguradoras. A menor

liquidez pode dificultar a transferência de risco para terceiros através do mercado de capitais, bem como a gestão do ativo e do passivo em geral. Isso é mais bem explicado em Domowitz et al. (2001), onde os autores exploram o papel da liquidez¹³, da volatilidade e dos custos de transação sobre a alocação de portfólio ideal. Considerando que a performance dos investimentos reflete (i) a estratégia subjacente e (ii) os custos de execução incorridos na implementação, a inclusão desses custos se mostrou um grande fator que fornece um outro possível fator de diferença de vulnerabilidade entre diferentes países, ou pelo menos de maior vulnerabilidade do sistema financeiro global como um todo.

Os custos explícitos de execução que incluem taxas de corretagem e impostos de podem ser significativamente mais expressivos em mercados emergentes, explicado pela falta de competição entre agentes de corretagem e por regulação mais restritiva e menos eficiente.

Já os custos implícitos podem influenciar ainda mais a alocação de portfólio e são mais difíceis de calcular¹⁴, e são positivamente correlacionados com a volatilidade. Um exemplo característico é o impacto no preço causado durante a execução de uma operação volumosa por um investidor institucional, particularmente mais expressivo em mercados emergentes e menos líquidos. Mercados mais voláteis também se mostram positivamente correlacionados com maiores custos implícitos de execução, apesar da relação entre volatilidade e liquidez ser ambígua¹⁵.

Usando outras métricas de liquidez, Lesmond (2005) usa dados de diferença entre preços de oferta e de demanda (*bid-ask spread*) como uma métrica alternativa de liquidez e aplica a 31 mercados emergentes usando dados ao nível das ações transacionadas em bolsa no período de 1987 a 2000, além de comparar a métricas usadas na literatura para medir a liquidez até então. Além disso, encontra que o

¹³ Aqui a proxy usada para a liquidez é o giro dos ativos de mercado, i.e., *turnover*, definido como a razão entre o volume total transacionado dividido pela capitalização de mercado média.

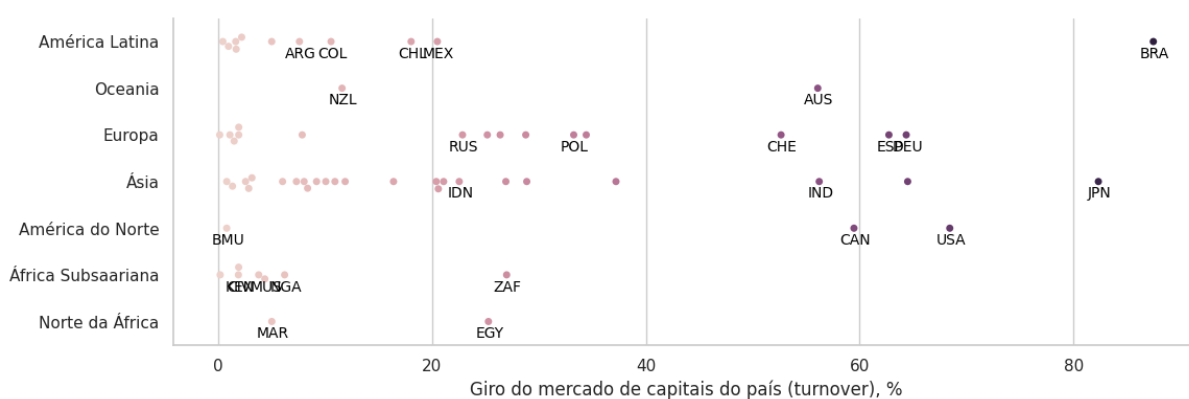
¹⁴ Isso pode ser uma explicação para o viés doméstico (*home bias*) amplamente estudado na literatura. Uma referência para esse tema pode ser encontrada em Terra (2014, p. 189). O viés doméstico também pode ser um fator de vulnerabilidade relevante em escala global ao impedir a diversificação geográfica das exposições financeiras; o artigo de Domowitz et al. (2001) apenas explicita uma possível componente desse viés.

¹⁵ O autor indica que maior volatilidade pode aumentar o volume de transações considerando que pode representar uma maior dispersão das crenças sobre um ativo, ou diminuir com a saída de investidores avessos ao risco.

arcabouço institucional e a estabilidade política são especialmente relevantes para o nível de liquidez dos países emergentes. Em suma, é encontrado um intervalo de diferença entre preços de oferta e de demanda de apenas 1% para Taiwan até 47% para a Rússia. No caso característico apresentado em Domowitz et al. (2001), se torna extremamente difícil executar ordens nesse último país em comparação ao primeiro, pois o gestor de portfólio precisa estimar o impacto da própria operação no preço do ativo.

Na Figura 2.9, vemos dados do *turnover* do mercado de ações local para diversas regiões¹⁶. Como esperado, a liquidez também está bastante associada ao grau de desenvolvimento do país, mas a China (214%) e a Turquia (188%), não definidos como países desenvolvidos, tem os maiores giros e precisaram ser omitidos, assim como a Coreia do Sul (130%). Em geral, as economias africanas apresentam o menor nível de liquidez segundo essa métrica, bem como as da América Latina em menor grau.

Figura 2.9 – Giro do mercado de capitais por país, 2019, %



Fonte – Adaptado de The World Bank

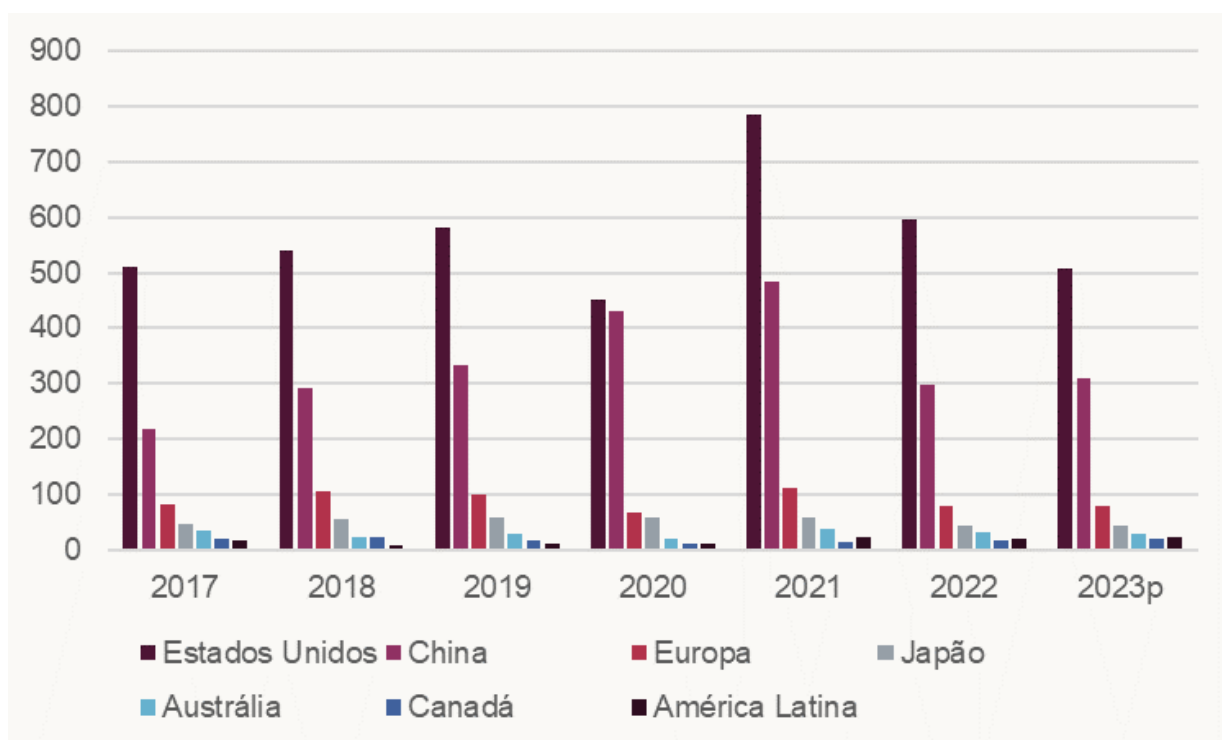
Como visto ao longo do capítulo, a dinâmica de bancos e seguradoras em relação aos riscos climáticos (e pode se dizer sobre a atuação desses agentes em geral) é marcada pelo uso extensivo de instrumentos de securitização de ativos. A securitização parece cumprir um papel tanto no balanceamento de riscos, sendo uma

¹⁶ Vale ressaltar ainda que Lesmond (2005) desqualifica essa métrica em relação às demais apresentadas no artigo por ter uma baixa correlação com o *bid-ask spread*. A título de opinião, as duas métricas, e ainda outras, podem ser relevantes nas decisões de investimento. O próprio autor assume que liquidez é um conceito difícil de definir, e ainda mais de estimar.

forma de transferir parte da exposição a riscos climáticos a agentes mais preparados e/ou agressivos, também fazendo parte das estratégias de financiamento dos bancos menores, como ainda das seguradoras e resseguradoras.

O desenvolvimento desse tipo de instrumento está muito ligado ao desenvolvimento econômico em geral. Como é possível ver na Figura 2.10, onde Schopflocher et al. (2023) estimam a emissão de instrumentos de finanças estruturadas, a emissão está associada a economias já desenvolvidas. Tais instrumentos compreendem ativos securitizados em geral.

Figura 2.10 – Novas emissões de instrumentos de finanças estruturadas por ano, bilhões de dólares

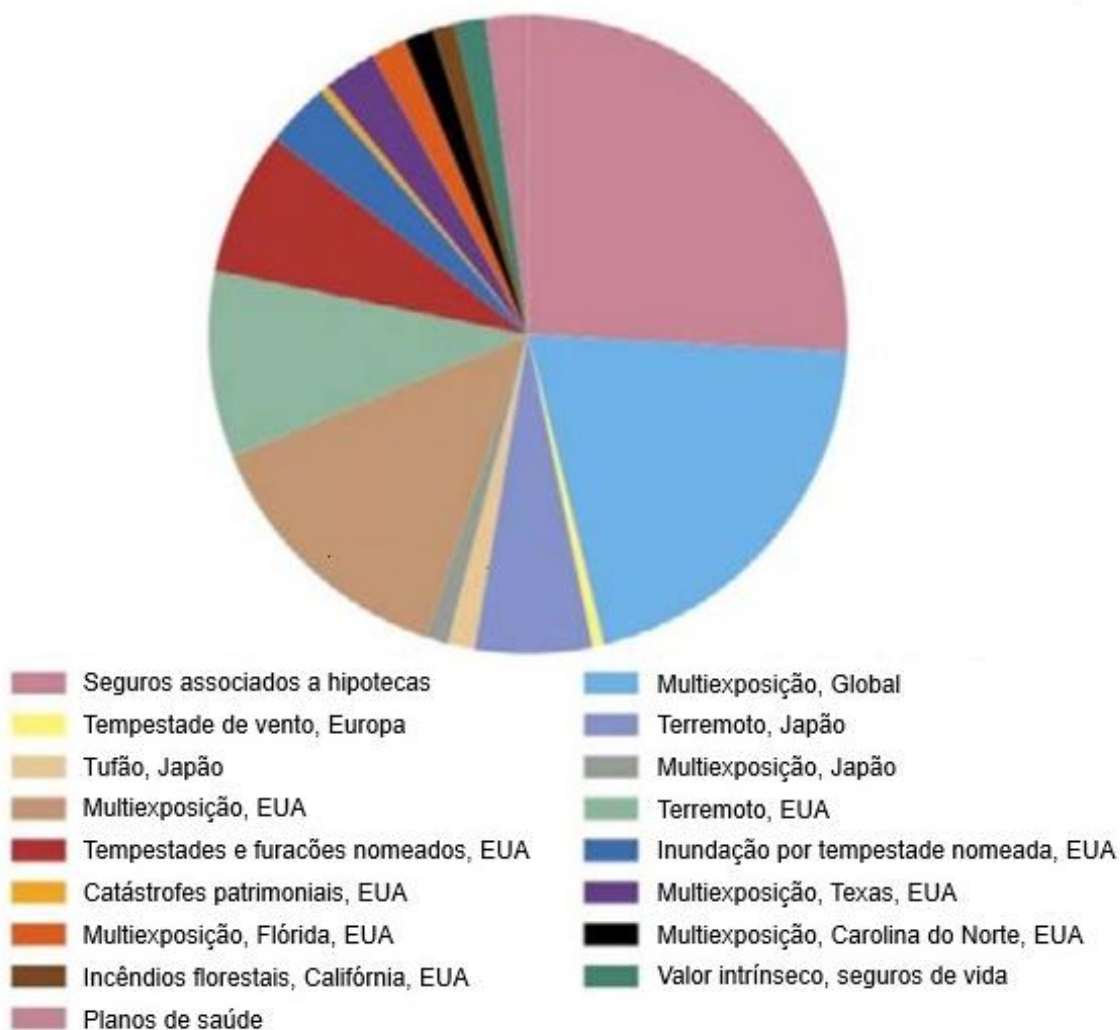


Fonte – Adaptado de Schopflocher et al. (2023)

Como pode ser visto, a emissão de títulos nessa modalidade está bastante concentrada em economias desenvolvidas. Ainda que não necessariamente o país em que o capital é levantado financia atividades no mesmo país, é possível argumentar que em grande maioria, sim. Ao menos no mercado de ILS, a exposição é extremamente ligada aos Estados Unidos, como mostra a Figura 2.11. Por tanto, é possível dizer que ainda existe algum potencial de desenvolvimento em economias

emergentes, capaz de gerar benefícios em escala local, ao reduzir a vulnerabilidade financeira, como também em escala global, aumentando as oportunidades de diversificação¹⁷.

Figura 2.11 – Títulos de dívida de catástrofes e ILS em circulação em 2020 por tipo de exposição, bilhões de dólares



Fonte – Adaptado de FSB (2020)

¹⁷ É importante ressaltar a capacidade de instrumentos securitizados sintetizarem ativos para diferentes perfis de riscos através da criação de *tranches*, isto é, cotas de investimento com prioridades diferentes sobre direitos creditórios do veículo de investimento. Enquanto essa característica é um fator que adiciona complexidade e é tido como um elemento crucial para explicar a Crise Financeira Global, também permite contornar restrições de capital e condições financeiras adversas, como já explicitado nas seções anteriores.

Assim como o setor de seguros é importante para a resiliência econômica e a estabilidade financeira em geral, o mercado de derivativos oferece oportunidades de diminuir a exposição financeira a riscos climáticos, e é um traço característico do desenvolvimento do mercado de capitais. Além de poder complementar a cobertura contra riscos físicos diretamente, como no caso de futuros de commodities agrícolas (BCBS, 2021), o mercado de derivativos tem capacidade de transferir riscos de transição, em contraste com o setor de seguros que é voltado quase que na sua totalidade aos riscos físicos.

Em Upper e Valli (2016), é caracterizado o desenvolvimento do mercado de derivativos em Mercados de Economias Emergentes (EMEs). Apesar dessas economias serem responsáveis por 36% do comércio internacional, apenas 10% do giro global do mercado de derivativos (*turnover*) é atribuível a EMEs¹⁸. Em particular, a China era responsável por apenas 1% do giro global nesse mercado em 2019 (Sum e Leung, 2022). Apesar de não abarcar o mercado de derivativos de ações e commodities, tais informações podem ser um indicativo de como o mercado de derivativos é menos desenvolvido nessas regiões.

Mais importante, os autores apontam alguns determinantes para a expansão do mercado de derivativos - pelo menos, de mercados capazes de transferir riscos macroeconômicos da economia em que está inserida. No mercado de derivativos de taxas de juros, emissões de títulos de dívida por não residentes e o tamanho do mercado de títulos está associado a maior giro; enquanto para o mercado de derivativos de câmbio, o PIB per capita e uma integração maior com o resto do mundo estão positivamente associados a um maior giro. Esse último fator é medido pelo volume de ativos e passivos no exterior em relação ao PIB (Upper e Valli, 2016). Esse fenômeno também pode estar bastante conectado à discussão anterior sobre a profundidade do mercado, já que também é esperado que mercados mais líquidos e com menores custos de transação desenvolvam mercados de derivativos relevantes. Além disso, regiões mais bem informadas sobre a progressão das mudanças climáticas podem estar mais atentas aos riscos a que estão expostos, como veremos a seguir.

¹⁸ Incluindo contratos negociados em outros países (*offshore*).

Ainda que o NGFS tenha realizado uma avaliação a nível global das trajetórias do aquecimento global, não significa que seja fácil incorporar projeções climáticas nas decisões de alocação de portfólio de bancos, seguradoras e investidores institucionais em geral, e muitas barreiras apresentam desafios para o setor financeiro em precificar adequadamente uma mudança estrutural caracterizada pela incerteza.

Alguns trabalhos apontam que riscos de transição já são precificados, como Ilhan et al. (2021), que mostram que o aumento da incerteza quanto a riscos de transição aumenta o custo de proteção (hedge) de firmas intensivas em emissões, e Ivanov et al. (2020), que mostra que bancos diminuem a exposição a firmas similares conforme políticas de transição avançam no legislativo americano¹⁹. Riscos físicos agudos também parecem ser precificados, visto que aumentam a volatilidade de ativos antes e no curto prazo após a passagem de furacões nos EUA (Kruttli et al., 2019).

No entanto, o próprio NGFS tem um outro grupo de trabalho voltado para contribuir com a eliminação de lacunas na disponibilidade, confiabilidade e comparabilidade de dados sobre as mudanças climáticas, e que indica que "[...] há uma urgência em maiores ações no fronte de dados climáticos". Tais dados são usados por múltiplas categorias de partes interessadas, como por exemplo, na quantificação da exposição e nas decisões de investimentos e empréstimos, e que em geral requerem métodos e técnicas de modelagem detalhados e específicos (NGFS, 2022e). Ainda que seja uma conjectura, é possível argumentar que países mais desenvolvidos, e por conseguintes com maior capital humano, tenham uma capacidade maior de coletar, tratar e construir modelos a partir dos dados sobre as mudanças climáticas.

Ao longo do capítulo, foram exploradas diversas características do setor financeiro que podem definir outra dimensão de vulnerabilidade dos países. Exercícios importantes para a orientação de tomadores de decisão de políticas de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, como o Relatório de Avaliação 6 e os Cenários Climáticos NGFS, apesar de comentarem os temas aqui apresentados de forma

¹⁹ Isso também sugere que choques de crédito podem surgir do setor bancário de países que adotarem políticas de transição mais abruptas, complementando a primeira seção deste capítulo.

tangencial, podem mascarar esse diferencial de vulnerabilidade. Compreensivelmente, muitas das dinâmicas aqui exploradas são limitadas a experiências naturais em países desenvolvidos, e podem se apresentar difíceis de serem incorporadas em IAMs, por exemplo. Ainda assim, uma maior exposição do tema pode ser importante. Além dessa discussão, é razoável dizer que o canal da política monetária sobre a estabilidade financeira através do canal do setor de seguros, apresentado na seção 2, pode merecer uma análise mais profunda com a finalidade de verificar a hipótese apresentada.

3 OPÇÕES DE ATUAÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA E FINANCEIRA SOB A PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE

O capítulo 2 cumpre o papel de salientar canais do setor financeiro que podem modificar a resiliência de uma certa região ou setor. Esses canais podem ser relevantes do ponto de vista dos bancos centrais ao considerar opções de atuação. No entanto, são apenas alguns dos elementos que podem ser considerados na escolha de políticas monetárias e financeiras. Como será exposto, a caracterização do problema posto às autoridades monetárias como um Sistema Complexo Adaptativo²⁰ (CAS) oferece um ponto de vista para interpretar a discussão sobre essas opções de atuação.

Grande parte da discussão é orientada para os esforços de mitigação das mudanças climáticas. A complexidade do tema também parece romper a necessidade de divisão entre atuação para mitigação e para adaptação, visto que muitas das medidas que tentam corrigir falhas de mercado também acabam por suavizar a transição para uma economia de baixo carbono.

Na seção 3.1, são destacadas as opções de atuação na regulação prudencial, e pela atuação direta na coordenação dos esforços para a transição climática. Já na seção 3.2., são explicadas as opções de atuação com respeito à política monetária, tanto de política convencional como de compras de ativos em cenários próximos à taxa de juros nominal zero e outras ações não neutras em relação ao mercado. Nestas seções, serão apresentadas críticas levantadas na literatura a algumas propostas, indicando também que há pontos de dissenso. Na seção 3.3. é discutido o papel do formulador de políticas em um CAS.

3.1 Opções de política financeira

Nessa seção, serão listadas políticas financeiras disponíveis aos bancos centrais e supervisores do sistema financeiro, que afetam instituições financeiras e os mercados financeiros, como definido por Krogstrup e Oman (2019). Estes dividem-

²⁰ Um sistema complexo adaptativo, como o clima, é caracterizado por múltiplos subsistemas que interagem entre si e onde podem emergir propriedades novas e difíceis de serem explicadas pelas partes. Nesse tipo de sistema, também surgem dinâmicas não lineares importantes, como visto em Richie et al. (2021) por exemplo.

nas em 4 propostas ou classes de propostas. Aqui, o objetivo não é exaurir a pesquisa realizada até agora sobre o espaço de políticas, mas cobri-lo de forma a conhecer uma ampla variedade de alternativas. Isso também será feito na seção 3.2.

3.1.1 Remediar possíveis erros de precificação e falta de transparência sobre riscos financeiros derivados do clima

Como já mencionado, existe um esforço por parte do NGFS em melhorar a divulgação de informações sobre a exposição a riscos climáticos por parte de bancos, bem como de todas as informações que permitam avaliar a exposição e o efeito do setor financeiro sobre o clima em geral, que satisfaçam os aspectos de disponibilidade, confiabilidade e comparabilidade (NGFS, 2022). Este não constitui o único esforço nesse sentido, visto que o FSB também tem um grupo de trabalho específico para os relatórios financeiros sobre o clima para as instituições financeiras (Krogstrup e Oman, 2019).

Outros esforços nesse sentido para o mercado de capitais como um todo são também tidos como benéficos, como a proposta de Ehlers et al. (2020). Os autores explicam os fatores que tornam as emissões de títulos verdes ainda pouco interessantes para o objetivo de reduzir as emissões de GHGs. Um dos efeitos perversos descritos é que, ainda que uma firma invista os recursos de uma captação através desse instrumento, digamos, investindo em fontes de energia sustentáveis, ela pode aumentar as emissões por outro investimento não financiado através desse instrumento (e apontam que geralmente é o que ocorre). Assim, a emissão de títulos atrelada a projetos, e não a empresas, pode limitar a compreensão da contribuição da empresa com os esforços de mitigação, bem como dos riscos de transição a que esta se expõe.

Como complemento a esse tipo de instrumento, e considerando os esforços na divulgação de métricas relacionadas à sustentabilidade, os autores propõem um sistema de classificação, aos moldes das classificações de crédito determinadas por agências como Standard & Poor's, Moody's e Fitch. Ainda que apenas seja apresentado um sistema estilizado, alguns benefícios apontados são a possibilidade de criar mais um incentivo à transição no nível das firmas, maior clareza para investidores, "em especial aqueles sem recursos para fazer sua própria diligência

prévia verde" (Ehlers et al., 2020, p. 39) e aumentar a verificabilidade dos resultados como um todo.

O sistema proposto por Ehlers et al. (2020) leva em consideração uma métrica de eficiência de carbono, definida como emissões de CO₂ em kg por dólar de receita. O uso dessa métrica explicita a alta assimetria nas emissões ao separar em 10 classes de poluentes, sendo as 5 últimas destinadas ao decil de maiores poluentes. Eles também sugerem, como mais um elemento de incentivo, um sistema de sinalização de melhora de classificação (uplifts) caso a firma diminua as emissões na velocidade (ou ainda mais rápido) prevista em algum acordo de referência - como o Acordo de Paris. Vale ressaltar que essa proposta não considera outros GHGs, podendo ainda fornecer uma informação incompleta. Ainda assim, muitas das demais propostas de política podem depender fortemente de uma taxonomia global e consistente de ativos verdes ou marrons (i.e., de alta emissão de GHGs) para ser implementada, em especial para a política monetária, sendo, portanto, um ponto decisivo para a ação dos bancos centrais.

O Banco Popular da China (PBoC) é o primeiro a endereçar esse problema, publicando em 2015 os critérios para a categorização em títulos de dívida verde, além dos requerimentos de divulgação sobre a destinação dos recursos (Krogstrup e Oman, 2019). Até 2018, vários outros países lançaram critérios de taxonomia e requisitos de divulgação de riscos socioambientais, não necessariamente para instituições financeiras (Dikau e Volz, 2019).

Existem opções a respeito dos requerimentos de capital mínimo ajustado pelo risco, um dos marcos estabelecidos pelos acordos de Basileia. Uma opção mais branda nesse espaço de política seria incluir nas estimativas de exposição de risco dos bancos a avaliação a riscos socioambientais, que devem ser usadas para apurar os requerimentos de capital, e é exemplificada pela Circular Nº 3.547/2011 do Banco Central do Brasil:

§ 2º A instituição deve demonstrar, no processo de avaliação e de cálculo da necessidade de capital para os riscos de que trata este artigo, como considera o risco decorrente da exposição a danos socioambientais gerados por suas atividades (Banco Central do Brasil, 2011, p. 2)

Medidas similares também foram adotadas pelos Bancos Centrais do Líbano (Dikau e Volz, 2019), da China, e pelo Banco da Coréia (Dikau e Ryan-Collins, 2017), e, apesar da adoção rápida por parte das instituições financeiras em algumas dessas jurisdições, não está claro o impacto no nível de crédito concedido para setores poluentes ou verdes (Dikau e Ryan-Collins, 2017).

Para o Banco Central do Brasil, faz parte dessa apuração ainda a realização de testes de estresse, que beneficiam também a gestão e o monitoramento do risco sistêmico do sistema financeiro, e que é listada como uma proposta de medida prudencial em potencial por Dikau e Volz (2019).

3.1.2 Promover ativamente o financiamento da transição usando ferramentas regulatórias financeiras

Uma medida mais ativa possível seria ajustar os requerimentos mínimos de capital de acordo com a exposição a ativos verdes ou marrons, alterando as razões de capital ponderado pelo risco determinadas de acordo com o Pilar 1 em Basileia III para bancos altamente expostos a firmas intensivas em carbono (Schoenmaker e Tilburg, 2016) ou para todas as instituições. Em Thöma e Hilke (2018), os autores sumarizam as simulações de diferentes artigos sobre o efeito de um fator de suporte verde (GSF) ou uma penalidade para ativos marrons para os requerimentos de capital dos bancos europeus como um todo.

Um resultado importante é que a introdução de um GSF no intervalo entre 15% e 25% reduz os requerimentos de capital dos bancos em cerca de 2 a 8 bilhões de euros, a depender da redução percentual e da extensão de categorias de ativos aplicáveis. Em contrapartida, considerando que o universo de ativos marrons é muito maior que de ativos verdes, a introdução de uma penalização aumenta o requerimento de capital em um intervalo de 8 a 25 bilhões de euros no mesmo intervalo.

Além disso, citando o exemplo do custo de capital de projetos de energia eólica em terra de 9% a.a. na época, indica que a introdução de um GSF reduz o custo de capital de projetos verdes em um intervalo de 5 a 25 pontos base (ou 0,05 a 0,25 p.p.), e exatamente o oposto seria esperado na introdução de uma penalização para o custo de capital de ativos marrons. Para esse caso, é esperada também uma redução de

1% a 8% no volume de empréstimos para ativos marrons, o que equivale a 0,1% a 0,45% no volume de empréstimos total.

Contudo, os autores comentam que a introdução de requerimentos de capital diferenciados parte do pressuposto de que os riscos financeiros derivados do clima não são devidamente precificados pelo mercado, porém mencionam que não há evidências conclusivas a esse respeito. Thöma e Chenet (2016) indicam algumas formas que podem explicar essa falha de mercado caso ela exista, e que serão discutidas na seção 3.3. Também mencionam que a Moody's, agência de avaliação de riscos, indicou que um GSF poderia reduzir a resiliência dos bancos por não terem riscos menores que outros investimentos, e Carney (2015) também argumenta que o uso de regulação prudencial para outros fins impõe riscos ao seu objetivo principal, que é garantir a estabilidade financeira. Restoy (2021) conclui que medidas através dos pilares 2 (como prescrição de capital suplementar) e 3 (requerimentos de divulgação) dos acordos de Basileia são mais adequadas, em contraposição a um GSF. A introdução de requerimentos de capital suplementar também pode alterar as classificações de Instituições Financeiras Sistemicamente Importantes (SIFIs) "e garantir que riscos climáticos estão apropriadamente dimensionados de modo a reduzir o risco sistêmico" (Dikau e Volz, 2019).

Até então, os únicos casos de GSF implementado são do Banco do Líbano (Dikau e Volz, 2019) e do Banco de Bangladesh (Dikau e Ryan-Collins, 2017). Este último também exige que 5% da oferta de crédito seja destinada a setores de baixas emissões (Dikau e Ryan-Collins, 2017), que pode também ter efeitos prudenciais. Nesse último caso, como as medidas são combinadas (e ainda incluem outra, citada na seção seguinte), é difícil avaliar o impacto de cada medida isoladamente.

Dikau e Volz (2019) também apontam outras medidas possíveis, como limites na razão empréstimo sobre valor (do ativo adquirido) e na razão empréstimo sobre renda de um grande emissor de GHGs, e restrições por contraparte, setor e área geográfica, com a finalidade de proteger as instituições financeiras a bolhas de carbono. Essas bolhas seriam resultantes da repentina reprecificação de riscos de transição após alguma medida governamental ou inovação tecnológica e são capazes de produzir contágio sobre o sistema financeiro. Essas medidas também podem ser

empregadas para direcionar a alocação de crédito (Schoenmaker e Tilburg, 2016). Não foram encontradas implementações na literatura analisada.

3.1.3 Outras ações possíveis

Krogstrup e Oman (2019) também propõe reformar arcabouços de governança de instituições financeiras, e assim reduzir possíveis vieses de curto prazo e excesso de riscos que podem afetar as instituições financeiras. De acordo com os autores, a precificação de ativos de longo prazo está sujeita a erros devido à pressão por parte dos investidores da instituição (Shleifer e Vishny, 1997) e o risco de arbitragem maior (Shleifer e Vishny, 1990). Além do viés de curto prazo, outros problemas de governança podem afetar a tomada de riscos, tais como:

- Requerimentos de divulgação de performance frequentes;
- Falta de internalização de riscos incorridos;
- Responsabilidade limitada;
- Subsídios sobre a alavancagem;
- O problema de instituições grandes demais para falir (too big to fail), caracterizado pela hipótese de socorro a bancos muito grandes para evitar crises financeiras mais drásticas

Endereçar esses problemas pode melhorar o acesso a financiamento de longo prazo de investimentos verdes, apesar de evidências claras desse canal ainda precisarem ser identificadas (Krogstrup e Oman, 2019).

Os bancos centrais ainda podem ter um papel essencial no desenvolvimento de mercados de ativos financeiros verdes, particularmente em economias emergentes (Dikau e Volz, 2019). Esse tema perpassa pelas mesmas discussões do tópico 3.1.1 sobre requerimentos de divulgação de riscos socioambientais e pela definição de critérios claros de classificação de ativos verdes, onde os bancos centrais, como no caso do PBoC, podem atuar normativamente com esse objetivo. Resolver esses problemas pode aumentar a liquidez desses mercados, aumentando a demanda e a oferta dessa classe de ativos, e possivelmente reduzir o custo de financiamento de projetos de mitigação. Isso pode ser especialmente importante em regiões de menor liquidez, como visto na seção 2.3.

3.2 Opções de política monetária

Nessa seção, discutiremos quais instrumentos de política monetária podem ter algum uso na mitigação ou na adaptação para as mudanças climáticas. Além da reação que a política monetária pode ter em reação a choques climáticos, a operacionalização desta, em especial em situações de taxas de juros próximas a zero, pode ser usada de maneira a promover a mitigação das mudanças climáticas, pelo menos na visão daqueles que defendem uma postura mais ativa da autoridade monetária.

3.2.1 Avaliação das regras de política monetária na resposta a choques climáticos

Mesmo que assuma um papel passivo, os bancos centrais têm em sua essência um papel a cumprir que contribui indiretamente para a mitigação das mudanças climáticas. Olovsson (2018) argumenta que os bancos centrais devem garantir a estabilidade financeira e inflacionária, considerando que uma "economia estável facilita o trabalho do sistema político em implementar uma política sustentável de longo prazo para beneficiar o clima e outros desafios sociais vitais". Nesse sentido, a adaptação efetiva da política monetária aos desafios impostos pelas mudanças climáticas já é um papel significativo a cumprir.

Isso posto, McKibbin et al. (2017) fazem uma avaliação dos modelos de regras de política monetária mais comuns na literatura em diferentes cenários de políticas climáticas, e avalia as forças e fraquezas de cada uma na adaptação às mudanças climáticas. As regras indicam qual a taxa de juros i_t para o período t que o banco central deve adotar conforme algum conjunto de fatores²¹. As cinco regras mapeadas pelos autores são:

- Metas de inflação, estritas (IT) ou flexíveis (FIT): Essa regra considera apenas o desvio da inflação em relação à meta na determinação da taxa de juros, e é representada pela equação $i_t = i_{t-1} + \alpha(\pi_t - \bar{\pi}_t)$, onde i_t e i_{t-1} são respectivamente as taxas de juros de política nos períodos t e $t - 1$, π_t e $\bar{\pi}_t$

²¹ Apesar das equações exibidas em McKibbin et al. (2017) não mostrarem, uma forma mais geral das regras incluiria um fator $\alpha < 1$ que multiplica o termo de juros defasado que indica o grau de suavização considerado pela autoridade monetária.

são a inflação projetada e a inflação-meta para o período t , e α o coeficiente que dita quão agressiva será a resposta do banco central aos desvios da sua meta. Essa regra é dita estrita (IT) quando reage a todos os choques igualmente, sem nenhuma consideração sobre outras variáveis. Já uma regra flexível (FIT) considera que os bancos centrais podem exercer alguma discricção sobre os custos de oportunidade ao seguir a regra. Nesse caso, citam o Fed como exemplo, que "tem meta de inflação, mas anunciam que outras variáveis, como o nível de emprego, afetam quão rápido tentarão conduzir a inflação à sua meta" (McKibbin et al., 2017, p. 12).

- Metas de nível de preços (PLT): Ao invés de uma meta de inflação, a regra adotada pelo banco central é representada por $i_t = i_{t-1} + \alpha(P_t - \bar{P}_t)$, onde P_t e \bar{P}_t são respectivamente o nível de preços projetado e a meta de nível de preços para o período t . Os autores caracterizam essa regra como tendo "forte dependência histórica", pois o banco central não apenas eliminaria a inflação, como também induziria uma inflação abaixo da tendência do nível de preços para que este retorne à trajetória-meta, com o objetivo de ancorar expectativas.
- Regras de Henderson-McKibbin-Taylor (HMT): Esse conjunto de regras é definido pela equação $i_t = i_{t-1} + \alpha(\pi_t - \bar{\pi}_t) + \beta(Y_t - \bar{Y}_t)$, onde Y_t e \bar{Y}_t são respectivamente o produto esperado e o produto-meta para o período t , e β um parâmetro de reação do banco a um desvio do produto. Quanto menor o β , mais o banco central está disposto a passar por um período de alto desvio da meta de inflação para reduzir o impacto na trajetória do desemprego durante o ajuste para o equilíbrio (Carlin e Soskice, 2015, p. 95).
- Metas de produto nominal (NIT): Essa regra é denotada por $i_t = i_{t-1} + \alpha(PY_t - \overline{PY}_t)$, onde PY_t e \overline{PY}_t representam respectivamente o produto nominal projetado e a meta do banco central para o período t . Os autores argumentam que essa regra continua a responder a choques de demanda da mesma maneira que uma regra IT, mas a choques de oferta de maneira diferente: no caso de um aumento de inflação e uma queda no produto, caso o produto nominal se mantenha inalterado, o banco central manteria a taxa de juros também inalterada.

Quatro políticas climáticas estilizadas que podem ser adotadas pelos governos foram levantadas pelos autores:

- Precificar emissões explicitamente (e causando um choque inesperado pelos agentes) através de
 - Impostos sobre emissões: proposta para taxar a emissão de GHGs explicitamente, e que podem provocar um aumento repentino de preços e traçar aumentos subsequentes com a finalidade de promover a transição.
 - Licenças negociáveis: são permissões desenhadas para regular as emissões de acordo com um estoque de emissões disponíveis, sendo este atrelado a um teto de aquecimento, como 1,5° C.
 - Política híbrida: uma composição das duas políticas anteriores.
- Causar uma reprecificação implícita das emissões através de políticas regulatórias, como limites para a emissão, requisitos mínimos de eficiência de carbono e subsídios na produção e nos investimentos em energias renováveis. Na prática, "essas políticas impõem preços implícitos ao uso de combustíveis fósseis por impor um custo ou incentivo monetário a atividades redutoras de emissões" (McKibbin et al., 2017). Tais políticas dificultam a observação direta desses preços implícitos e podem ser diferentes entre setores - problema que pode levar a uma trajetória mais caótica como visto no capítulo 1.

Dado esse contexto, os autores discutem o desempenho de cada regra sob um choque climático, em específico a um choque de oferta causado pela introdução das políticas de transição levantadas, mas também em relação a outros choques de oferta, como um evento climático agudo – nesse caso, a imposição de um imposto sobre emissões não antecipado pelos agentes e mantido constante para os períodos seguintes. Os autores esperam que um choque como esse, em meio às demais flutuações econômicas, causem um aumento inflacionário repentino pela quebra de expectativas, mas rapidamente a inflação retornaria ao padrão, sem intervenção da autoridade monetária. Esse constitui o cenário base da comparação.

Como é esperado que choques como esses causem aumento de preços e queda de produto, McKibbin et al. (2017) avaliam que regras como IT e PLT podem exacerbar os efeitos de um choque sobre outras variáveis, principalmente se não houver espaço para discricção do banco central, como é o caso das demais. A PLT pode ainda tentar forçar uma trajetória de preços não condizente com o efeito causado

pela introdução de uma dessas políticas, sendo o aumento de juros prescrito ainda mais drástico nesse caso. A regra FIT permite discricionariedade, mas esta está condicionada à uma previsão adequada do hiato do produto futuro ($Y_t - \bar{Y}_t$), o que é uma hipótese forte. Esse problema também é enfrentado pela regra HMT. Os autores argumentam então que a regra NIT se sobressairia por não depender tanto de uma previsão precisa do hiato do produto, e conseguiria evitar uma ruptura das expectativas dos agentes.

Em relação às políticas climáticas, os autores ressaltam que, do ponto de vista da política monetária, uma política de impostos sobre emissões pode ser mais fácil de distinguir de outras flutuações econômicas e projetar impactos do que as demais. Também apontam que o aumento de impostos sobre emissões provavelmente não será uma medida instantânea e sim uma sucessão de aumentos de alíquotas. De acordo com outra simulação, um choque como esse pode aumentar também a taxa de inflação, não só o nível de preços, o que pode exigir uma mudança na meta de inflação para acomodar a política climática.

Existiria incerteza quanto ao impacto de uma política de licenças negociáveis no nível de preços por conta de (i) incertezas na estimação do custo marginal das emissões e (ii) outras mudanças no mercado de combustíveis fósseis. Uma política híbrida poderia limitar isso ao existir alguma conexão entre os impostos sobre emissões e as licenças negociáveis.

Já uma política de transição que cause uma reprecificação dos custos implícitos de emissões é tida como difícil de lidar em qualquer uma das regras, dados os problemas apontados na descrição desta.

3.2.2 Opções na operacionalização da política monetária

É possível que os bancos centrais tenham uma postura mais ativa frente as mudanças climáticas através dos canais operacionais de política monetária, bem como através de uma postura não neutra em relação ao mercado nas compras de ativos. NGFS (2021) levanta ações estilizadas que bancos centrais podem adotar nas suas operações com relação ao ativo de seus balanços, e assim cobrem bem esse espaço de política de provimento de liquidez. Entretanto, indicam que instrumentos de absorção de liquidez (como requerimentos de encaixe, depósitos a prazo e emissão

de títulos do banco central) podem ser considerados a depender do ambiente de liquidez em cada jurisdição.

As opções de atuação através das operações de política monetária apresentadas em NGFS (2021) se dividem em três canais. O canal de operações de crédito é usado pelos bancos centrais para prover liquidez e usualmente são feitos através de empréstimos com colateral. Já o canal do colateral se refere à política de ativos que podem ser usados pelas instituições financeiras para acessar as operações de crédito, bem como as medidas de controle de riscos aplicáveis aos colaterais. Por último, existe o canal das compras de ativos no contexto do uso de políticas de flexibilização quantitativa (NGFS, 2021).

O NGFS ainda avalia as opções em 4 critérios de acordo com a opinião de especialistas, ainda que entenda que a avaliação das opções é feita em um alto grau de abstração, e que a priori não há uma solução ideal para todas as situações. Ainda assim, dada a discussão feita até aqui, esses critérios parecem abranger qualidades interessantes, não só de política monetária, mas também de política financeira em certa medida. Os critérios são:

- Consequências para a efetividade da política monetária: Ações que podem afetar a efetividade da própria política monetária naturalmente devem ser levadas adiante com precaução, ponto já criticado por Carney (2015).
- Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas: Em relação aos demais critérios, na prática é análoga a uma avaliação qualitativa de custos e benefícios.
- Efetividade em termos de proteção contra riscos: Esse critério avalia as opções em termos da gestão dos riscos dos balanços dos bancos centrais a certos emissores ou contrapartes.
- Viabilidade operacional: Representa o custo operacional para adaptar as operações dos bancos centrais a uma certa solução.

No apêndice A, é apresentada uma tabela comparativa das opções listadas de acordo com os critérios em NGFS (2021). A discussão que se segue apenas sintetiza destaques, além de relacionar com experiências já realizadas em alguns bancos centrais.

3.2.2.1 Canal das operações de crédito

Nesse canal NGFS (2021) lista três opções, que são: (i) condicionar as taxas das operações ao grau de contribuição das contrapartes para a descarbonização ou; (ii) ao nível de emissões associado ao colateral e; (iii) ajustar a elegibilidade das contrapartes à divulgação de informações ou à oferta de crédito para grandes poluentes ou a clientes de baixa emissão. De todas as opções apresentadas, a terceira é a única que tem uma avaliação fortemente negativa em um dos critérios, nesse caso, o critério 1. Os autores indicam que esse tipo de ajuste pode causar problemas para a transmissão da política monetária caso limite o acesso a crédito de firmas pequenas e com menor capacidade de certificar as emissões de um dado projeto, e ainda beneficiar bancos que se especializam em grandes empresas. Isso poderia limitar ainda os efeitos desejados dessas operações nos momentos em que são mais necessárias, i.e., em caso de crises.

O Banco de Bangladesh lançou em 2016, após diversas outras linhas de crédito, uma linha de refinanciamento de US\$ 200 milhões, onde as instituições financeiras podem tomar emprestado a taxas subsidiadas e por prazos de 5 a 10 anos, desde que os recursos sejam destinados a projetos sustentáveis (NGFS, 2021; Dikau e Ryan-Collins, 2017). NGFS (2021) aponta que o prazo das operações, compatível com a maturidade de investimentos sustentáveis, é especialmente relevante dado o grau de desenvolvimento do setor financeiro de Bangladesh, onde o mercado de títulos de dívida ainda é pouco desenvolvido, e os empréstimos bancários geralmente não passam do prazo de 7 anos (NGFS, 2021). Essas políticas também vieram acompanhadas de melhora na taxonomia de ativos sustentáveis e na avaliação de riscos socioambientais das instituições financeiras locais. Em geral, as políticas fortemente ativas do Banco de Bangladesh têm alcançado um impacto combinado expressivo, visto que, até 2015, 10% da população havia sido impactada por alguma linha de refinanciamento destinada a crédito para sistemas fotovoltaicos residenciais (Dikau e Ryan-Collins, 2017).

3.2.2.2 Canal do colateral

As 4 opções listadas em NGFS (2021) são: (iv) ajuste no deságio na avaliação do colateral (haircut); (v) filtro negativo (negative screening), que consiste em restringir

a elegibilidade de ativos relacionados a altas emissões como colateral nas operações de crédito de instituições financeiras com o os bancos centrais; (vi) filtro positivo, i.e., flexibilizar a elegibilidade de ativos relacionados a nenhuma ou baixas emissões e; (vii) avaliação agregada da intensidade de carbono dos colaterais de uma instituição financeira em todas as operações de crédito com o banco central. Essas políticas em geral podem afetar a liquidez dos ativos, sendo necessário calibrar a adoção à perda da efetividade da política monetária que pode ser causada com a redução do universo de ativos elegíveis. A política (vii) tem a vantagem de permitir à instituição financeira gerenciar a composição desse portfólio de colaterais, apesar de enfrentar desafios operacionais relevantes tanto para as contrapartes quanto para o banco central no monitoramento da conformidade.

O Banco Popular da China modificou a política de colateral em uma das suas linhas de refinanciamento em 2018, expandindo o universo de ativos elegíveis para incluir títulos de dívida verde, emitidos por pequenas e médias empresas ou corporações agrícolas, e reduziu a avaliação de crédito mínima de AAA para AA, o que aumentou o volume de ativos elegíveis em cerca de US\$ 80 bilhões (NGFS, 2021). Esse tipo de medida, que se encaixa na opção (vi), tem um alto potencial de mitigação contra as mudanças climáticas, apesar de poder ignorar a questão sobre a hipótese de precificação incorreta de riscos climáticos. Medidas via colateral, assim como muitas das listadas até aqui, também dependem de uma taxonomia clara e uma avaliação completa dos riscos socioambientais a que os ativos estão expostos, e são ainda mais importantes para o próximo canal.

3.2.2.3 Canal da compra de ativos

Esse canal, objeto de diversas discussões na literatura e por formuladores de políticas, tende a ser o mais controverso por propor o abandono de uma posição de neutralidade em relação ao mercado nas compras de ativos feitas pelos bancos centrais (Greene, 2019) e beneficiar ativos associados a menores emissões, o que é conhecido como flexibilização quantitativa verde (Green QE). Weidmann (2019), presidente do Banco Central Alemão entre 2011 e 2021 se coloca contra essa mudança de postura (inclusive no canal do colateral) dado que os decisores em bancos centrais não são eleitos por sufrágio.

No entanto, Matikainen et al. (2017) sugerem que essa neutralidade pode não existir. Usando os dados dos programas de compras de títulos de dívida corporativa do Banco da Inglaterra e do Banco Central Europeu, identificaram que as compras foram feitas em sua maioria nos setores mais poluentes – apenas como consequência dos critérios de elegibilidade adotados. No contexto do mesmo programa, o Banco da Inglaterra anunciou mudanças para alterar a elegibilidade de ativos com o intuito de adequar o portfólio à transição climática (Bank of England, 2021).

NGFS (2021) lista 2 políticas em relação às compras de ativos: (viii) dar maior peso a ativos verdes nas compras de ativos e (ix) excluir ativos relacionados a altas emissões do universo de política. Apesar de ser factível que essas políticas podem reduzir a efetividade da política monetária, elas também podem ter um efeito adverso sobre a mitigação das políticas climáticas se limitarem a transição de firmas intensivas em emissões, a depender da forma como a política é elaborada. Tais políticas também podem sinalizar uma alocação de riscos ideal para outros investidores, principalmente num contexto de identificação de emissões e riscos socioambientais ainda imatura. Para evitar atritos políticos e riscos de litígio, os bancos centrais estão melhor apoiados se essa identificação já estiver melhor desenvolvida.

Esse tipo de política ainda não tem implementação conhecida além da readequação do programa do Banco da Inglaterra, mas um exemplo de portfólio dos bancos centrais, que não se configura como canal de política monetária, é o de reservas internacionais. Flodén (2019) aponta que o Banco Central da Suécia já optou por vender títulos de dívida de estados do Canadá e da Austrália, países que os gestores entenderam não fazer um trabalho bom em reduzir as emissões. Assim, a gestão das reservas internacionais pode ter um papel similar na mitigação das mudanças climáticas.

3.3 O papel do formulador de políticas em um Sistema Adaptativo Complexo

Nota-se que, ainda que essa discussão sobre o papel e a responsabilidade dos bancos centrais e reguladores financeiros em relação às mudanças climáticas seja relativamente recente (Van der Ploeg, 2020), pelo menos em relação à discussão principal sobre as mudanças climáticas em si, existem visões contrastantes quanto à algumas das alternativas de atuação sugeridas, como vimos ao longo do capítulo. As

divergências giram em torno de (i) problemas que usar a política prudencial e monetária para a mitigação das mudanças climática podem acarretar para os objetivos principais destas, a estabilidade inflacionária e financeira e (ii) em torno da hipótese de erros na precificação de riscos financeiros derivados do clima, já vista em Eren et al. (2022), que em geral encontra evidências contrastantes.

Assim, Bolton et al. (2020), que não advogam pelas alternativas mais ativas de atuação das autoridades monetárias, consideram que os Bancos Centrais estão num dilema entre (i) apenas melhorar a mensuração dos riscos e no fim das contas se colocar numa posição de ter que agir como um garantidor de última instância no caso de um cisne verde²², e (ii) substituir governos e incumbentes nas intervenções necessárias - como no uso de técnicas de flexibilização quantitativa verde (green QE), por exemplo. O primeiro, além de não contribuir ostensivamente para a mitigação das mudanças climáticas, pode limitar a viabilidade do mandato das autoridades monetárias em garantir a estabilidade inflacionária e financeira. O segundo, envolve uma nova mudança do paradigma atual de mandato dos bancos centrais, que expande as prerrogativas dessa entidade ainda que não seja conduzida por dirigentes eleitos por sufrágio.

Nesse sentido, Bolton et al. (2020) adotam uma postura que intitulam em Contribuir com a Coordenação para Combater as Mudanças Climáticas (5Cs). Tal postura parte da posição que os bancos centrais têm em relação a outros atores importantes nesse esforço: além da identificação e gerenciamento de riscos, os bancos centrais podem quebrar o "curto prazo" de outras figuras, como incumbentes e participantes privados do sistema financeiro, e focar em desenvolver a resiliência dos sistemas climático, econômico e financeiro, que podem ser vistos como um CAS. Podemos dizer que formuladores de política técnicos, não só bancos centrais, têm esse papel de garantir que o longo prazo tenha peso nas decisões dos demais agentes.

²² Esse termo é usado em uma analogia à Taleb (2007), onde um cisne negro é descrito como um evento de grande impacto causa surpresa e é facilmente explicado ex-post, como se pudesse ter sido evitado. Colocando de lado a cor do cisne, há uma extrema dificuldade em prever o comportamento do sistema climático por si só (Pilkey e Pilkey-Jarvis, 2007), e que, somada à complexidade nos sistemas econômico e financeiros, nos coloca na perspectiva de que esse tema dificilmente seria apenas resolvido por esforços de mensuração de riscos e de quaisquer outras métricas, se tratando de um ambiente de incerteza Knightiana, ou como descrito por Taleb (2007), um Extremistão.

Ao longo deste trabalho, várias referências dão indícios em favor dessa caracterização como um CAS, ou pelo menos de um subconjunto de elementos nesse sistema. Barrot and Sauvagnat (2016) exploraram como choques idiossincráticos se espalham para firmas não afetadas por desastres naturais. Ehlers et al. (2020) mostram a distribuição da eficiência de carbono, e que sugere a emergência de uma lei de potência²³, dado que grande parte das emissões é de responsabilidade do primeiro percentil de menos eficientes. Ainda destacamos como o setor financeiro modifica a exposição a riscos financeiros derivados do clima para diferentes regiões.

Os problemas de desenhar o conjunto de políticas ideal nesse contexto, que apareceram diversas vezes até aqui, podem ser mapeados quase completamente às cinco patologias que podem explicar o fracasso de políticas públicas, descritas em Mueller (2019). Estas descrevem características das políticas públicas em ambientes complexos, que são:

- São não lineares e emergentes
- Não se acomodam em equilíbrio e são difíceis de prever
- Evoluem e coevoluem
- São sujeitas a vieses cognitivos
- Sofrem com a reatividade e a Crítica de Lucas

Sobre a não linearidade e a emergência de características imprevisíveis, já levantamos um caso extremo de descontinuidade em Ritchie et. al. (2021), com a perda de serviços de ecossistema importantes, e que outras perdas podem ocorrer em contextos menos amplos. A preocupação em relação a efeitos inesperados de políticas não neutras em relação ao mercado são as possíveis distorções que podem causar, fora ainda as dificuldades de operacionalização e os riscos de litígio que podem ocorrer. Thöma e Hilke (2018) apontam que a redução de requerimentos de capital é vista com problemas para a Moody's, agência de avaliação de riscos, que indicou que um GSF poderia reduzir a resiliência dos bancos por não terem riscos menores que outros investimentos - sendo que a política prudencial tenta evitar justamente crises em pontos de descontinuidade. Todos esses exemplos citam não

²³ Leis de potência são distribuições de probabilidade caracterizadas por assimetria extrema e que aparecem com recorrência frequente nas ciências naturais e sociais (Sornette, 2006, p. 104).

linearidades importantes e que podem ser desconsideradas em modelos simplificados, sem mencionar em efeitos que nem se sabem que podem emergir.

Sobre a dificuldade em fazer previsões, as pesquisas econômicas a respeito dos canais apresentados no capítulo 2 se provaram dependentes de experimentos naturais limitados aos dados históricos disponíveis - o que explica a maior quantidade de estudos nas regiões desenvolvidas. No capítulo 2 também foi afirmado que os resultados apontados poderiam ser generalizados para outras regiões, e políticas públicas poderiam se apoiar nos mecanismos descritos por esses e outros canais para prever os efeitos de uma determinada política. Uma crítica a essa afirmação está em Leamer (2010) apud Mueller (2019), que aponta, no contexto de superestimar os benefícios de equiparar resultados de experimentos randomizados propositalmente a experimentos randomizados naturalmente, que

[...] dado que pensamento árduo e inconclusivo é necessário para transferir os resultados aprendidos de experimentos aleatórios para outros domínios, permanece incerteza e ambiguidade sobre a amplitude de aplicação de quaisquer descobertas de experimentos aleatórios (Leamer, 2010, apud Mueller, 2019, p. 316)

Não só o desenho da política está sujeito à dificuldade em prever os resultados e suas respectivas probabilidades, como também evoluem por si próprias e coevoluem com a evolução de "cultura, crenças, instituições, normas e tecnologias". Em particular sobre o tema tratado, várias referências citam objetivamente como a condução da política financeira e monetária deve considerar o papel das instituições políticas (Carney, 2015) e da política fiscal (Bolton et al., 2020). A resposta da política monetária e financeira está condicionada à forma como todo o sistema coevolui, bem como são dependentes da trajetória (path dependent) e das condições iniciais.

As políticas públicas, como as aqui apresentadas, tentam resolver vieses cognitivos, mas os formuladores de políticas também estão sujeitos a eles. Thöma e Chenet (2016) levantam os problemas que podem levar a erros de precificação de riscos de transição, mas aos quais as próprias políticas públicas desenhadas para resolver isso também estão sujeitas. Considerando as teorias fundamentais da teoria financeira moderna, como a Teoria Moderna do Portfólio (TMP) e a Hipótese do Mercado Eficiente (HME), explicam que falhas de mercado podem explicar o erro na precificação de riscos de transição. Essa classe de riscos têm um horizonte de

materialização de longo prazo, e por isso a precificação está sujeita a falhas de mercado como (i) externalidades; (ii) preferências temporalmente inconsistentes (teoria do prospecto) e; (iii) problemas do tipo principal-agente. Tais falhas de mercado podem causar desvios significativos de resultados esperados, e propriedades “importantes que surgem da teoria microeconômica não serão assegurados, como a existência, unicidade e estabilidade de um equilíbrio de mercado” (Mueller, 2019).

Sobre a reatividade, se tratando de um sistema social, os agentes para os quais as políticas aqui tratadas podem reagir de maneiras criativas às tentativas de controle aqui propostas. A crítica de Lucas se refere a esse problema, ao ponderar que políticas baseadas em comportamentos pré-política estão fadadas a sofrer com reações inesperadas dos agentes.

Para tratar problemas nesse contexto, Mueller (2019) também indica algumas propriedades desejáveis de políticas públicas que não eliminam a natureza complexa, mas podem levar a resultados positivos, ainda que não tão fantásticos como o que é esperado ao ignorar a complexidade – i.e., assumir que não se está em um ambiente complexo.

A primeira é optar por métodos que não dependem de previsões. De imediato, é possível adiantar que não necessariamente os formuladores de política devem se furtar a prever os impactos das políticas propostas. Porém, “desistir da pretensão de prognóstico e confiar em experimentação e tentativa e erro” pode ser mais interessante que tentar prever todos os resultados, reconhecendo que é bem provável que nem se “sabe o que você precisa prever” (Mueller, 2019). Considerados os limites para “exportar” políticas monetárias e financeiras bem-sucedidas (e.g. arranjo institucional, contexto político e fiscal), as experiências independentes realizadas por algumas autoridades monetárias já citadas podem ser vistas como iterações evolutivas para a construção de um conjunto ideal de políticas - ainda que não necessariamente ótimo.

A segunda consiste em optar por métodos que economizam informações e não requerem controle. As políticas propostas que não geram controvérsia, isto é, aquelas que tentam melhorar os requerimentos de divulgação, a avaliação de riscos socioambientais (Krogstrup e Oman, 2019; Ehlers et al., 2020) e o uso de testes de

estresse baseados nas mudanças climáticas visto em Dikau e Volz (2019) têm essa propriedade. Nesse ponto, é conclusivo que deve haver um esforço intransigente nessa linha de atuação, principalmente por oferecer pouquíssimos custos de oportunidade à política monetária e prudencial. Ainda assim, confiar nessas soluções "passivas" exige sobriedade quanto aos resultados esperados, visto que a informação adicional ainda está sujeita aos vieses cognitivos e falhas de mercado levantados anteriormente.

Considerado a forma como o tema foi apresentado até aqui, Bolton et al. (2020) sumariza perfeitamente o papel dos bancos centrais, inclusive após a discussão sobre políticas públicas em ambientes complexos:

Confrontados com esses desafios imponentes, a contribuição central de bancos centrais e supervisores pode ser simplesmente enquadrar adequadamente o debate. Em particular, estes podem desempenhar esse papel: (i) ao fornecer uma visão cientificamente intransigente sobre os riscos futuros, assumindo uma substituição limitada entre capital natural e outras formas de capital; (ii) ao apelar por ações mais ousadas dos setores público e privado para a preservação da resiliência dos sistemas socioeconômicos complexos da Terra e (iii) ao contribuir, na medida que for possível e dentro do âmbito da evolução dos seus mandatos, que são determinados pela sociedade, com a gestão dos riscos (Bolton et al., 2020, p. 67).

CONCLUSÃO

Por mais elucidativos que os cenários aqui apresentados podem ser, as conclusões que podemos tomar são apenas pontos de partida para pesquisas mais profundas por parte dos bancos centrais, e que podem orientar melhor a identificação de seus papéis em cada jurisdição. O que podemos guardar em mente é que:

1. Fazer a transição é sempre melhor por estabilizar a perda de produto em relação a um cenário base, inclusive para regiões que são muito afetadas pela transição.
2. Uma transição ordenada é sempre melhor por evitar momentos de incerteza e o estouro de bolhas de carbono. Em especial, o papel de coordenação dos bancos centrais pode aumentar significativamente as chances de uma transição ordenada.

Apesar de exposto o arcabouço teórico através do qual é possível traduzir os riscos climáticos em riscos financeiros, e que claramente é fundamental para os bancos centrais, é conclusivo que é sempre possível aprofundar cada vez mais em partições do sistema ali representado. Uma evidência disso está no capítulo 2, onde está descrito em maior detalhe canais do setor financeiro que podem modificar a resiliência de certas regiões a riscos financeiros e econômicos, mas BCBS (2021) apresenta modificadores de risco de cunho socioeconômico e climático. Enfim, exaurir todos os canais e iterações desse grande sistema complexo será sempre um objetivo inalcançável.

No entanto, vimos que não só existe um amplo espaço de política acessível aos bancos centrais e aos supervisores do sistema financeiro, como também que alguns já foram pioneiros em algumas medidas. Ainda que não seja possível dizer se esse esforço é suficiente, grande parte dos bancos centrais estão engajados no papel coordenativo descrito neste trabalho.

Um ponto de atenção é que a melhora da disponibilidade, confiabilidade e da comparabilidade de informações relevantes para a tomada de decisão no setor financeiro e para a sociedade como um todo parece ainda ser um problema e que merece atenção prioritária dos bancos centrais. Como exposto neste trabalho, além

dessas informações serem importantes no setor financeiro, são vitais para todos os formuladores de políticas. Não só medidas mais ativas de bancos centrais dependem em sua grande maioria de um sucesso nessa direção, mas também a viabilidade de seus papéis essenciais: garantir a estabilidade financeira e inflacionária.

Por fim, quanto à essas medidas ativas, ainda que haja algum dissenso, estes não devem ser um impeditivo importante caso existam bancos centrais mais intervencionistas e um debate ativo capaz de transmitir o máximo de informações sobre os sucessos, fracassos e ressalvas de implementações pioneiras de políticas. Em meio a um sistema complexo, é factível dizer que não surgirão fortes evidências de que uma postura mais ativa ou passiva é melhor (sendo passiva aquela em que os bancos centrais se contentam com o papel de coordenação). De qualquer maneira, qualquer estimativa a respeito dos resultados de uma política deve ser analisada com bastante sobriedade, dada a incerteza que envolve o ambiente onde a política é implementada.

No entanto, conclui-se, de maneira análoga a Norman et al. (2015), que a própria incerteza em relação às mudanças climáticas e todas as suas implicações para os sistemas socioeconômico e financeiro deve catalisar a adoção de medidas precaucionárias, i.e., que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas, pois modelos e previsões não poderão. Assim, a adoção de medidas mais ativas deve ser buscada onde os arranjos institucionais e políticos permitirem, visto que o papel dos bancos centrais vai além da adaptação.

APÊNDICE A: COMPARAÇÃO QUALITATIVA ENTRE AS ALTERNATIVAS NA OPERACIONALIZAÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA

Ação	OPERAÇÕES DE CRÉDITO			COLATERAL		COMPRAS DE ATIVOS			
	(i) Taxas condicionais ao grau de contribuição com a redução de emissões	(ii) Taxas condicionais ao nível de emissões do colateral	(iii) Ajustes na elegibilidade das contrapartes	(iv) Ajustes no deságio na avaliação do colateral	(v) Filtro negativo	(vi) Filtro positivo	(vii) Avaliação agregada do colateral	(viii) Sensibilizar as compras em relação a riscos derivados do clima e emissões	(ix) Filtro negativo
Consequências para a efetividade da política monetária	Grey	Light Red	Red	Grey	Light Red	Light Green	Grey	Grey	Light Red
Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green
Efetividade em termos de proteção contra riscos	Grey	Grey	Light Green	Light Green	Light Green	Light Red	Light Green	Light Green	Light Green
Viabilidade operacional	Light Red	Light Red	Grey	Light Red	Grey	Grey	Light Red	Light Red	Grey

Fonte – Adaptado de NGFS (2021)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, V. et al. **Is Physical Climate Risk Priced?** Evidence from Regional Variation in Exposure to Heat Stress. 1 set. 2022.

BALDAUF, M.; GARLAPPI, L.; YANNELIS, C. Does Climate Change Affect Real Estate Prices? Only If You Believe In It. **The Review of Financial Studies**, v. 33, n. 3, p. 1256–1295, 14 mar. 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Circular Nº 3.547/2011**. 7 jul. 2011. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/circ/2011/pdf/circ_3547_v2_L.pdf. Acesso em 19 dez. 2019.

BANERJEE, C. et al. **Natural catastrophes and inflation in 2022: a perfect storm - sigma 1/2023**. Zurique: Swiss Re Institute, 2023. Disponível em: <https://www.swissre.com/dam/jcr:1d793484-9b96-4e54-91c3-09f8fc841bde/2023-05-sigma-01-english.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BANK OF ENGLAND. **Greening our Corporate Bond Purchase Scheme (CBPS)**. Disponível em: <https://www.bankofengland.co.uk/markets/greening-the-corporate-bond-purchase-scheme>. Acesso em: 3 jan. 2024.

BARROT, J.-N.; SAUVAGNAT, J. Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks. **SSRN Electronic Journal**, 2016.
BCBS. Climate-related risk drivers and their transmission channels.2021.Disponível em: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d517.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BERGER, A. N. et al. Does function follow organizational form? Evidence from the lending practices of large and small banks. **Journal of Financial Economics**, v. 76, n. 2, p. 237–269, maio 2005.

BERK, J. B.; DEMARZO, P. M. **Corporate finance**. 3rd. ed. Boston: Pearson, 2014.

BERNANKE, B. S. **Community Banking in a Period of Recovery and Change**. In: INDEPENDENT COMMUNITY BANKERS OF AMERICA NATIONAL CONVENTION. San Diego, California, 23 mar. 2011. Disponível em: <https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/bernanke20110323a.htm>. Acesso em: 7 dez. 2023.

BIN, O.; POLASKY, S. Effects of Flood Hazards on Property Values: Evidence before and after Hurricane Floyd. **Land Economics**, v. 80, n. 4, p. 490, nov. 2004.

BLACKROCK INSTITUTE. **Getting physical: Scenario analysis for assessing climate-related risks**. 2019. Disponível em: <https://www.blackrock.com/us/individual/literature/whitepaper/bii-physical-climate-risks-april-2019.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BLAND, B.; KWONG, R. Supply chain disruption: sunken ambitions. **Financial Times**, 2011. Disponível em: <https://www.ft.com/content/6b20d192-0613-11e1-ad0e-00144feabdc0>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BOLTON, P. **The green swan : Central banking and financial stability in the age of climate change**. Basileia: Basel Bank For International Settlements, 2020.

BUHR, B. *et al.* **Climate Change and the Cost of Capital in Developing Countries: Assessing the impact of climate risks on sovereign borrowing costs.** 2018. Disponível em: https://eprints.soas.ac.uk/26038/1/ClimateCostofCapital_FullReport_Final.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

CARLIN, W.; SOSKICE, D. W. **Macroeconomics : institutions, instability, and the financial system.** Oxford: Oxford University Press, Cop, 2015.

CARNEY, M. **Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability.** Lloyd's of London, 29 set. 2015. Disponível em: <https://www.bis.org/review/r151009a.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2023.

CEVIK, S.; JALLES, J. T. This changes everything: Climate shocks and sovereign bonds. **Energy Economics**, v. 107, 1 mar. 2022.

CHAVAZ, Matthieu. **Dis-integrating credit markets: diversification, securitization, and lending in a recovery.** 2016. Disponível em: <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2016/dis-integrating-credit-markets-diversification-securitization-and-lending-in-a-recovery.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2023.

CORTÉS, K. R. **Rebuilding after Disaster Strikes: How Local Lenders Aid in the Recovery.** 2014. Disponível em: <https://www.clevelandfed.org/publications/working-paper/wp-1428-rebuilding-after-disaster-strikes-how-local-lenders-aid-in-the-recovery>. Acesso em: 07 dez.2023.

CORTÉS, K. R.; STRAHAN, P. E. Tracing out capital flows: How financially integrated banks respond to natural disasters. **Journal of Financial Economics**, v. 125, n. 1, p. 182–199, jul. 2017.

DAMODARAN, A. **Levered and Unlevered Betas by Industry.** 2023. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/dataarchived.html. Acesso em: 07 dez. 2023.

DEBBAGE, S.; DICKINSON, S. **The rationale for the prudential regulation and supervision of insurers.** 2013. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2327460. Acesso em: 07 dez. 2023.

DIKAU, S.; RYAN-COLLINS, J. **Green Central Banking in Emerging Market and Developing Country Economies.** 2017. London: New Economics Foundation. Disponível em: <https://neweconomics.org/uploads/files/Green-Central-Banking.pdf>. Acesso em 19 dez.2019.

DIKAU, S.; VOLZ, U. **Central Banking, Climate Change, and Green Finance.** 2018. Disponível em: <https://eprints.soas.ac.uk/26445/>. Acesso em: 19 dez.2019.

DOMOWITZ, I.; GLEN, J.; MADHAVAN, A. Liquidity, Volatility and Equity Trading Costs Across Countries and Over Time. **International Finance**, v. 4, n. 2, p. 221–255, 7 jul. 2001.

EHLERS, T.; BENOÎT MOJON; PACKER, F. Green bonds and carbon emissions: exploring the case for a rating system at the firm level. **BIS Quarterly Review**, p. 31–45, 14 set. 2020.

EREN, Egemen *et al.* **Pricing of climate risks in financial markets: a summary of the literature.** Disponível em: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap130.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

FDIC. **Consumer Compliance Examination Manual**. 2019. Disponível em: <https://www.fdic.gov/resources/supervision-and-examinations/consumer-compliance-examination-manual/documents/compliance-examination-manual.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2023.

FINANCIAL STABILITY BOARD. **The Implications of Climate Change for Financial Stability**. 2020. Disponível em: <https://www.fsb.org/wp-content/uploads/P231120.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2023.

FLODÉN, M. **Monetary policy in a changing world**. Örebro University and Kommuninvest, Örebro, 13 nov. 2019. Disponível em: <https://www.bis.org/review/r191113c.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2023.

FRENCH, A.; VITAL, M.; MINOT, D. **Insurance and financial stability**. 2015. Disponível em: <https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2015/q3/insurance-and-financial-stability>. Acesso em: 07 dez. 2023.

FRICKO, O. et al. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 251–267, jan. 2017.

GODOY, M. D. P.; LACERDA, L. D. DE. Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 651–667, 1 jun. 2015.

HE, M.; ZHANG, Y. Climate policy uncertainty and the stock return predictability of the oil industry. **Journal of International Financial Markets, Institutions and Money**, v. 81, out. 2022.

HOLMSTROM, B.; TIROLE, J. Financial Intermediation, Loanable Funds, and The Real Sector. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 112, n. 3, p. 663–691, 1 ago. 1997.

ILHAN, E.; SAUTNER, Z.; VILKOV, G. Carbon Tail Risk. **Review of Financial Studies**, v. 34, n. 3, 2018.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. E-book. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

IVANOV, I.; KRUTTLI, M. S.; WATUGALA, S. W. Banking on Carbon: Corporate Lending and Cap-and-Trade Policy. **SSRN Electronic Journal**, 2020.

JARAMILLO, L. et al. **Climate Challenges in Fragile and Conflict-Affected States**. Washington, D.C: International Monetary Fund, 2023.

JOURDAN, S. **Green QE is about more than buying climate-friendly bonds**. Disponível em: <https://www.ft.com/content/6b4a8875-4985-4c14-ad74-3b1885b84380>. Acesso em: 12 mar. 2021.

KIELHOLZ, W. The Cost of Capital for Insurance Companies. **The Geneva Papers on Risk and Insurance. Issues and Practice**, v. 25, n. 1, p. 4–24, 2000.

KROGSTRUP, S.; OMAN, W. Macroeconomic and Financial Policies for Climate Change Mitigation. **IMF Working Papers**, v. 19, n. 185, 4 set. 2019.

KRUTTLI, M.; ROTH TRAN, B.; WATUGALA, S. W. The Price of Extreme Weather Uncertainty: Evidence from Hurricanes. **SSRN Electronic Journal**, 2018.

LELAND, H. E.; PYLE, D. H. Informational Asymmetries, Financial Structure, and Financial Intermediation. **The Journal of Finance**, v. 32, n. 2, p. 371–387, 1977.

LESMOND, D. Liquidity of emerging markets. **Journal of Financial Economics**, v. 77, n. 2, p. 411–452, ago. 2005.

LOUTSKINA, E.; STRAHAN, P. E. Securitization and the Declining Impact of Bank Finance on Loan Supply: Evidence from Mortgage Originations. **The Journal of Finance**, v. 64, n. 2, p. 861–889, 2008.

LOUTSKINA, E.; STRAHAN, P. E. Informed and Uninformed Investment in Housing: The Downside of Diversification. **The Review of Financial Studies**, v. 24, n. 5, p. 1447–1480, 2010.

MALLUCCI, E. Natural Disasters, Climate Change, and Sovereign Risk. **International Finance Discussion Paper**, jul. 2020.

MATIKAINEN, S.; CAMPIGLIO, E.; ZENGHELIS, D. **The climate impact of quantitative easing**. 2017.

MCKIBBIN, W. J. et al. Climate Change and Monetary Policy: Dealing with Disruption. **SSRN Electronic Journal**, 2017.

MIAN, A.; SUFI, A. **House of Debt**. Chicago: University of Chicago Press, 2015.

MUELLER, B. Por que políticas públicas falham: Formulação de políticas públicas sob complexidade. **Economia**, v. 21, n. 2, p. 311–323, dez. 2019.

NGFS. **Charter of the Central Banks and Supervisors Network for Greening the Financial System (NGFS)**. 2023. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2023/04/27/ngfs_charter_-_27_april_2023.pdf. Acesso em: 16 nov.2023.

NGFS. **Annual Report 2022**. 2023. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_annual_report_2022.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

NGFS. **Nature-related Financial Risks: a Conceptual Framework to guide Action by Central Banks and Supervisors**. 2023. Disponível em https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_conceptual-framework-on-nature-related-risks.pdf.

NGFS. **NGFS Scenarios for central banks and supervisors**. 2022. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_for_central_banks_and_supervisors_.pdf.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

NGFS. **NGFS Climate Scenarios Database: Technical Documentation V3.1**. 2022. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical_documentation_ngfs_scenarios_phase_3.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

NGFS. **Final report on bridging data gaps**. 2022. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/final_report_on_bridging_data_gaps.pdf.

NGFS-INSPIRE. **Central banking and supervision in the biosphere: An agenda for action on biodiversity loss, financial risk and system stability**. 2022. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/central_banking_and_supervision_in_the_biosphere.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

NGFS. **Adapting central bank operations to a hotter world: Reviewing some options**. 2021. Disponível em: https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2021/06/17/ngfs_monetary_policy_operations_final.pdf. Acesso em: 19 dez.2023.

NORMAN, J. et al. Climate models and precautionary measures. 2015.
NOTH, F.; SCHHWER, U. Natural Disaster and Bank Stability: Evidence from the U.S. Financial System. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 119, 2018.

OECD. **Climate-resilient Infrastructure**. Paris: OECD, 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>. Acesso em 07 dez. 2023.

OLOVSSON, C. Is climate change relevant for central banks? 2018. Disponível em: <https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/ekonomiska-kommentarer/engelska/2018/is-climate-change-relevant-for-central-banks.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2023

ORTEGA, F.; TASPINAR, S. Rising Sea Levels and Sinking Property Values: The Effects of Hurricane Sandy on New York's Housing Market. **SSRN Electronic Journal**, 2018.

PILKEY, O. H.; PILKEY-JARVIS, L. **Useless arithmetic : why environmental scientists can't predict the future**. New York: Columbia University Press, 2007.

RESTOY, F. **The role of prudential policy in addressing climate change**. In: SUSTAINABILITY: GREEN-WASHING OR EMERGING ISSUES FOR DEPOSIT INSURERS?, 22 out. 2021. Disponível em: <https://www.bis.org/speeches/sp211008.htm>. Acesso em: 19 dez. 2023

RICHTERS, O. *et al.* **NGFS Climate Scenarios Data Set (3.1)**. 2022. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7085758>. Acesso em: 16 nov.2023.

RITCHIE, P. D. L. et al. Overshooting tipping point thresholds in a changing climate. **Nature**, v. 592, n. 7855, p. 517–523, 21 abr. 2021.

SCHOENMAKER, D.; VAN TILBURG, R. What Role for Financial Supervisors in Addressing Environmental Risks? **Comparative Economic Studies**, v. 58, n. 3, p. 317–334, 31 ago. 2016.

SCHOPFLOCHER, T. **S&P Global Ratings Global Structured Finance 2023 Outlook**. 2023. Disponível em: <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/pdf-articles/230111-global-structured-finance-2023-outlook-101571302>. Acesso em: 07 dez.2023.

SCHÜWER, U.; LAMBERT, C.; NOTH, F. How Do Banks React to Catastrophic Events? Evidence from Hurricane Katrina. **Review of Finance**, v. 23, n. 1, p. 75–116, 14 abr. 2019.

SHARMA, S. S.; THURAISAMY, K. Oil price uncertainty and sovereign risk: Evidence from Asian economies. **Journal of Asian Economics**, v. 28, p. 51–57, 1 out. 2013.

SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. A Survey of Corporate Governance. **The Journal of Finance**, v. 52, n. 2, p. 737–783, 1997a.

SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. The Limits of Arbitrage. **The Journal of Finance**, v. 52, n. 1, p. 35–55, mar. 1997b.

SORNETTE, D. **Critical phenomena in natural sciences : chaos, fractals, self organization, and disorder : concepts and tools**. 2. ed. Berlin: Springer, 2006.

STEIN, J. An Adverse-Selection Model of Bank Asset and Liability Management with Implications for the Transmission of Monetary Policy. **The RAND Journal of Economics**, v. 29, n. 3, p. 466, 1998.

SUM, V.; LEUNG, S. **Meeting Broader Market Demand - New Futures and Derivatives Law Takes Effect in China**. Disponível em: <https://www.mayerbrown.com/en/perspectives-events/publications/2022/08/meeting-broader-market-demand-new-futures-and-derivatives-law-takes-effect-in-china>. Acesso em 07 dez.2023.

TALEB, N. N. **A lógica do cisne negro: o impacto do altamente improvável**. 23. ed. Rio de Janeiro: BestBusiness, 2008.

TERRA, C. **Finanças Internacionais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. The World Bank. Global Financial Development. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/source/global-financial-development/preview/on#>. Acesso em: 07 dez.2023.

THÖMA, J.; HILKE, A. **The Green Supporting Factor**: Quantifying the impact on European banks and green finance. 2018. Disponível em: <https://2degrees-investing.org/wp-content/uploads/2018/04/The-Green-Supporting-Factor.pdf>. Acesso em 19 dez.2019.

THOMÄ, J.; CHENET, H. Transition risks and market failure: a theoretical discourse on why financial models and economic agents may misprice risk related to the transition to a low-carbon economy. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 7, n. 1, p. 82–98, 18 jul. 2016.

UPPER, C.; VALLI, M. **Emerging derivatives markets?** 2016. Disponível em: https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1612g.htm. Acesso em: 07 dez.2023.

VAN DER PLOEG, F. **Macro-financial implications of climate change and the carbon transition**. Central banks in a shifting world. **Anais...** In: ECB FORUM ON CENTRAL BANKING. Alemanha: European Central Bank, 2020. Disponível em: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/sintra/ecb.ecbforumoncentralbanking202011~5078c37a89.de.pdf#page=91>. Acesso em: 19 dez. 2023.

VON PETER, Goetz; VONDAHLEN, Sebastian; SAXENA, Sweta. **Unmitigated disasters?** New evidence on the macroeconomic cost of natural catastrophes. Disponível em: <https://www.bis.org/publ/work394.htm>. Acesso em: 07 dez. 2023.

WEIDMANN, J. **Climate change and central banks**. In: DEUTSCHE BUNDESBANK'S SECOND FINANCIAL MARKET CONFERENCE. Frankfurt am Main, 29 out. 2019. Disponível em: <https://www.bis.org/review/r191029a.htm>. Acesso em: 3 jan. 2024.

ZHOU, D. et al. Dynamic relationship among climate policy uncertainty, oil price and renewable energy consumption—findings from TVP-SV-VAR approach. **Renewable Energy**, v. 204, p. 722–732, jan. 2023.