



SEBASTIAN FLORIN VRAJA

Licenciatura em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

METODOLOGIA DE TESTES DE STRESS AO SETOR SEGURADOR EM BASE TOP-DOWN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MESTRADO EM MATEMÁTICA ATUARIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2025



METODOLOGIA DE TESTES DE STRESS AO SETOR SEGURADOR EM BASE TOP-DOWN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SEBASTIAN FLORIN VRAJA

Licenciatura em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

Orientadora: Maria de Lourdes Belchior Afonso
Professora Associada da Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Emanuel Augusto Fazendeiro
Técnico Especialista, Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões

Júri

Presidente: Luís Pedro Carneiro Ramos
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Arguente: Pedro Alexandre da Rosa Corte Real
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Vogal: Maria de Lourdes Belchior Afonso
Professora Associada, FCT-NOVA

Metodologia de testes de stress ao setor segurador em base Top-down

Dissertação de Mestrado

Copyright © Sebastian Florin Vraja, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos que suam no cimento e no campo, cujas mãos calejadas
sustentam sonhos que nunca puderam ter. Este trabalho é
para vocês.

Que ele seja uma retribuição, mesmo que pequena.

AGRADECIMENTOS

Achei que o *Stress Test* era para o setor segurador. Afinal também era para mim. O cenário adverso foi real, mas o sistema revelou-se resiliente graças a quem esteve ao meu lado. Por isso mesmo, deixo aqui os meus agradecimentos.

À ASF, pela oportunidade de desenvolver este projeto num contexto técnico e regulatório real. Um agradecimento especial ao Prof. Doutor Pedro Corte Real, por ter sido a ponte que me levou ao primeiro estágio de verão na ASF — oportunidade que, felizmente, se veio a prolongar até à presente dissertação.

À equipa do Departamento de Análise de Riscos e Solvência, pelo acolhimento, pela disponibilidade e pela forma como me integraram desde o primeiro dia. Um agradecimento especial à Beatriz Neves, colega de mestrado e de departamento, pela partilha constante, e por ajudar a manter o bom humor mesmo quando o *Python* (e o *Excel*) diziam que não.

Aos meus orientadores, agradeço pelo acompanhamento e ensinamentos ao longo deste trabalho. À Prof. Doutora Maria de Lourdes Belchior Afonso, pela exigência académica, pelas observações rigorosas e por garantir que a tese não perdia profundidade técnica. Ao Emanuel Fazendeiro, pela orientação prática, pela objetividade e pela ajuda a transformar ideias soltas numa ferramenta útil, funcional e (quase sempre) sem *bugs*.

À minha família, em especial os meus Pais, pelo apoio incondicional ao longo de todo o meu percurso. Nada disto teria sido construído sem essa base.

Por último, mas não menos importante, à minha namorada, Beatriz Martins, pelo apoio firme e pela motivação que nunca deixou faltar.

”

*«From the point of view of method, being pragmatic
is the key.»*

— **Horacio Pagani**
(Automotive Engineer and Entrepreneur)

RESUMO

O presente trabalho surge no âmbito do estágio curricular na ASF com o objetivo de promover, numa perspetiva de estabilidade financeira, a avaliação da resiliência e a mensuração do impacto no setor segurador português face a potenciais cenários adversos. No contexto europeu, existem metodologias estabelecidas em abordagem de *Bottom-up* porém a realização desses exercícios é frequentemente um processo moroso e dependente de cooperação por parte dos operadores do setor. Existe, portanto, uma necessidade de ferramentas alternativas e mais ágeis que superem essas limitações.

Este problema reveste-se de interesse e complexidade por combinar aspetos de Solvência II, técnicas atuárias, de modelação estatística e computacional. Por um lado, a avaliação de riscos exige coerência com os pilares de Solvência II e robustez suficiente para apoiar decisões de supervisão prudencial; por outro, é necessário lidar com as limitações práticas, como a indisponibilidade de dados detalhados ou a necessidade de resposta rápida a cenários de mercado em constante evolução.

A solução proposta consiste no desenvolvimento de uma ferramenta modular de *Stress Test* seguindo uma abordagem *Top-down*, capaz de aplicar choques aos ativos e aos passivos e reconstruir balanços por entidade a partir de dados de reporte regular, estes denominados por *Quantitative Reporting Templates* (QRT).

A arquitetura da ferramenta inclui funcionalidades de análise determinística e de futura implementação de uma infraestrutura para simulações de *Monte Carlo*, permitindo quantificar incertezas associadas aos choques e métricas de risco como *Value at Risk* e *Tail Value at Risk*.

Os resultados obtidos, decorrentes do teste à ferramenta com base num cenário híbrido inspirado no exercício de *Stress Test* da EIOPA de 2024 — nomeadamente o cenário de “*Reintensificação ou prolongamento das tensões geopolíticas*” — evidenciam que, à data de referência de 31 de dezembro de 2023, o setor segurador português apresenta um excesso de ativos sobre passivos positivo, sugerindo resiliência face ao cenário adverso.

Palavras-chave: *Stress Test*, Solvência II, *Top-down*, Provisões técnicas, Simulação de Monte Carlo, Supervisão prudencial, Setor segurador

ABSTRACT

The present work arises in the context of the curricular internship at ASF with the objective of promoting, from a financial stability perspective, the assessment of resilience and the measurement of impact on the Portuguese insurance sector under potential adverse scenarios. In the European context, established *Bottom-up* methodologies already exist; however, the execution of such exercises is often a lengthy process and dependent on cooperation from market operators. There is, therefore, a need for alternative and more agile tools that can overcome these limitations.

This problem is of particular interest and complexity as it combines aspects of Solvency II with actuarial, statistical, and computational modeling techniques. On one hand, risk assessment requires consistency with the pillars of Solvency II and sufficient robustness to support prudential supervisory decisions; on the other hand, it is necessary to address practical limitations, such as the unavailability of granular data or the need for timely responses to rapidly evolving market scenarios.

The proposed solution consists of the development of a modular *Stress Test* tool following a *Top-down* approach, capable of applying shocks to both assets and liabilities and reconstructing balance sheets at the entity level from regular reporting data, namely the *Quantitative Reporting Templates* (QRT).

The tool's architecture includes functionalities for deterministic analysis and the future implementation of a *Monte Carlo* simulation infrastructure, enabling the quantification of uncertainties associated with shocks as well as risk measures such as *Value at Risk* (VaR) and *Tail Value at Risk* (TVaR).

The results obtained — stemming from testing the tool under a hybrid scenario inspired by EIOPA's 2024 *Stress Test* exercise, namely the scenario of "Re-intensification or prolongation of geopolitical tensions" — show that, as of the reference date of December 31, 2023, the Portuguese insurance sector presents a positive excess of assets over liabilities, suggesting resilience in the face of the adverse scenario.

Keywords: Stress Test, Solvency II, Top-down, Technical provisions, Monte Carlo simulation, Prudential supervision, Insurance sector

ÍNDICE

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
List of Algorithms	xv
Glossário	xvi
Siglas	xviii
Símbolos	xx
1 Introdução	1
1.1 Contexto	1
1.2 Estrutura	2
2 Enquadramento	3
2.1 Supervisão prudencial e relevância do <i>Stress Test</i>	3
2.1.1 O papel da atividade seguradora na economia	3
2.1.2 O papel da supervisão na atividade seguradora	3
2.1.3 O papel dos exercícios de <i>Stress Test</i> na supervisão de seguros	4
2.2 O regime de Solvência II	4
2.2.1 Princípios da supervisão	5
2.3 Motivações do desenvolvimento da ferramenta de <i>Stress Test</i> em abordagem <i>Top-down</i>	6
3 Fundamentação técnica e regulamentar do <i>Stress Test</i>	8
3.1 <i>Stress Test</i> - breve enquadramento	8
3.2 Modelação dos dados	9
3.2.1 Técnica de <i>splines</i> cúbicos	9
3.2.2 Modelação dos <i>cash-flows</i>	10

3.3	Especificações técnicas de Solvência II no cálculo das provisões técnicas	11
3.3.1	Melhor estimativa das responsabilidades	11
3.3.2	Margem de risco	12
3.3.3	Provisões técnicas nos <i>Unit-linked</i>	12
3.3.4	Métodos de provisão nos Ramos Não Vida, utilizando triângulos de <i>run-off</i>	13
3.3.5	Construção da estrutura temporal da taxa de juro segundo a metodologia da EIOPA	15
3.4	Exercícios de <i>Stress Test</i> a nível europeu	20
3.4.1	Metodologia de choques aos ativos, de acordo com a EIOPA	21
4	Implementação da metodologia <i>Top-down</i> para o <i>Stress Test</i>	23
4.1	Esquema geral de choques	24
4.2	Fonte de dados	25
4.3	Metodologia de choques na parte dos ativos	26
4.3.1	Pressupostos	26
4.3.2	Metodologia de choques nos fundos de investimento	27
4.3.3	Metodologia de choques em ativos, exceto fundos de investimento	28
4.3.4	Limitações e simplificações nos choques aos ativos	29
4.4	Metodologias de choques nas rubricas dos passivos	31
4.4.1	Pressupostos	31
4.4.2	Choques na estrutura temporal das taxas de juro	32
4.4.3	Ramo Vida	34
4.4.4	Ramos Não Vida	36
4.4.5	Limitações e simplificações nos choques aos passivos	38
4.5	Constituição do novo balanço, através das rubricas obtidas	38
4.6	Indicadores relevantes	40
5	Teste e implementação prática da ferramenta de <i>Stress Test</i> na abordagem <i>Top-down</i>	42
5.1	Cenário de choques	42
5.1.1	Cenário de choques no mercado	43
5.1.2	Choques específicos do setor segurador	47
5.2	Principais resultados da ferramenta	50
5.2.1	Análise global	51
5.2.2	Indicadores relevantes	53
5.2.3	Impacto dos choques nas responsabilidades das empresas de seguros	54
5.2.4	Análise do impacto na melhor estimativa das responsabilidades	54
5.3	Validações	55

5.3.1	Validação metodológica do choque à estrutura temporal da taxa de juro	55
5.3.2	Validações na implementação dos choques	58
6	Trabalhos futuros	59
6.1	O estado atual da ferramenta	59
6.1.1	Recomendações metodológicas	59
6.1.2	Recomendações na implementação computacional	60
6.2	Reflexão sobre o estado futuro da ferramenta	60
7	Conclusão	62
	Bibliografia	64
	Apêndices	
A	Tabelas de choques	67
A.1	Tabelas de choques de mercado	67
A.1.1	Tabelas de choques de mercado em ativos com tipologia semelhante a títulos de dívida	67
A.1.2	Tabelas de choques de mercado em ativos com tipologia semelhante a participações	69
A.1.3	Tabela de choques em investimentos em infraestrutura	71
A.2	Tabelas de choques específicos do setor segurador	71
B	Apresentação da ferramenta	73
B.1	Arquitetura da ferramenta de <i>Stress Test</i> na abordagem <i>Top-down</i>	73
B.2	Manual do utilizador	75
B.3	Estrutura visual da ferramenta	76
C	Formalização Algébrica e Algoritmo de Implementação	77
C.1	Dedução das melhores estimativas das responsabilidades em cenário de choques	77
C.1.1	Dedução das melhores estimativas do Ramo Vida	77
C.1.2	Dedução das melhores estimativas nos Ramos Não Vida	78
C.2	Algoritmo	79
	Anexos	
I	Tabelas relevantes	80
I.1	Mapas dos <i>Quantitative Reporting Templates</i>	80
I.1.1	S.02.01.01.01- Balanço económico	81
I.1.2	S.06.03.01.01- Fundos de investimento (abordagem <i>Look-through</i>)	81
I.1.3	S.12.01.01.01- Provisões Técnicas Ramo Vida	82

I.1.4	S.13.01.01.01- Projeções futuras no Ramo Vida	82
I.1.5	S.17.01.01.01- Provisões Técnicas Ramos Não Vida	83
I.1.6	S.18.01.01.01- Projeções futuras nos Ramos Não Vida	83
I.2	<i>Tabela dos Complementary Identification Codes</i>	84
I.3	Agregação das linhas de negócio por responsabilidade nos Ramos Não Vida	85

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Representação esquemática do balanço de uma seguradora.	7
3.1	Triângulo de <i>run-off</i> incremental para a provisão para sinistros.	13
4.1	Desenho conceptual da ferramenta.	23
4.2	Esquema geral de choques para obter o novo balanço.	24
4.3	Esquema resumo da metodologia de choques na estrutura temporal da taxa de juro.	32
4.4	Exemplo EUR- Matriz Qb e vetor u das maturidades observadas, à data de 28 de fevereiro de 2025.	32
4.5	Exemplo EUR- Parâmetros do modelo de extrapolação de <i>Smith-Wilson</i> utilizados pela EIOPA no cálculo da estrutura temporal <i>Risk-Free Rate</i>	33
4.6	Esquema de reconstrução do balanço.	38
5.1	Estrutura taxa de juro, antes e pós cenário de choque.	48
5.2	Análise global da evolução de ativos e passivos nos cenários base e chocado.	51
5.3	Distribuição das variações percentuais.	52
5.4	Resíduos da estrutura taxa de juro da EIOPA vs ferramenta — cenário base.	56
5.5	Taxas de juro obtidas pela ferramenta (vermelho) vs publicadas pela EIOPA (azul) — cenário chocado.	57
5.6	Resíduos da estrutura temporal de juro — EIOPA vs ferramenta, cenário de choque.	57
A.1	Tabela dos parâmetros do modelo de <i>Smith-Wilson</i>	67
A.2	Tabela dos choques a aplicar às taxas <i>swap</i> , por região e maturidade, em pontos base.	68
A.3	Tabela de choques, em pontos base, a aplicar nos <i>spreads</i> da dívida soberana.	68
A.4	Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos <i>spreads</i> da dívida privada.	69
A.5	Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos <i>spreads</i> da dívida coberta.	69
A.6	Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos <i>spreads</i> nos empréstimos e hipotecas.	69

A.7	Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar às ações de mercado.	69
A.8	Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar no imobiliário.	70
A.9	Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar nos fundos de investimento (CIUs) com <i>Look-through approach</i>	70
A.10	Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar nos fundos de investimento (CIUs) sem <i>Look-through approach</i>	70
A.11	Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar aos investimentos na infraestrutura.	71
A.12	Choques específicos do setor segurador, Ramos Não Vida.	71
A.13	Choques específicos do setor segurador, Ramo Vida.	72
B.1	Arquitetura da ferramenta de <i>Stress tests Top-down</i> . Para a identificação das componentes, estas estão enumeradas de 1 a 23.	73
B.2	Exemplo de atualização do <i>ModelBuilder</i> , o módulo de modelação dos dados.	74
B.3	Modo de Desenvolvedor - Permite reduzir o tempo de leitura para eventuais alterações na ferramenta.	74
B.4	Exemplo 1- Apresentação da ferramenta.	76
B.5	Exemplo 2- Apresentação da ferramenta.	76
I.1	<i>Template</i> S.02.01.01.01- Balanço económico.	81
I.2	<i>Template</i> S.06.03.01.01- Fundos de investimento (abordagem <i>Look-through</i>).	81
I.3	<i>Template</i> S.12.01.01.01- Provisões Técnicas Ramo Vida.	82
I.4	<i>Template</i> S.13.01.01.01- Projeções futuras no Ramo Vida.	82
I.5	<i>Template</i> S.17.01.01.01- Provisões Técnicas Ramos Não Vida.	83
I.6	<i>Template</i> S.18.01.01.01- Projeções futuras nos Ramos Não Vida.	83

ÍNDICE DE TABELAS

4.1	Classificação dos choques de <i>spread</i> por tipo de dívida.	29
4.2	Classificação dos choques de ações e imobiliário.	29
4.3	Mapeamento CIC e exceções no template S.02.01.02.	39
4.4	Atualização de rubricas agregadas no balanço económico.	39
4.5	Mapeamento simplificado do <i>template</i> S.02.01.01.01.	40
5.1	Choques aplicados às taxas <i>swap</i> por maturidade, em pontos base.	43
5.2	Choques aos <i>spread</i> da dívida soberana por maturidade e País/Região, em pontos base.	44
5.3	Choques sobre os <i>spread</i> da dívida privada por qualidade creditícia, setor e País/Região, em pontos base.	45
5.4	Choques aos <i>spread</i> da dívida coberta e dos empréstimos e hipotecas por qualidade creditícia e País/Região em pontos base.	45
5.5	Choques aplicados a ações por tipo de capital, em pontos percentuais.	46
5.6	Choques aplicados ao mercado imobiliário por tipologia, em pontos percentuais.	46
5.7	Choques aplicados aos fundos que dispõem de <i>Look-through</i> , em pontos percentuais.	47
5.8	Choques aplicados a ativos sem <i>Look-through</i> , em pontos percentuais.	47
5.9	Choques aplicados a ativos de infraestrutura por classe, em pontos percentuais.	47
5.10	Parâmetros do modelo <i>Smith–Wilson</i> : valores de referência e sob choque.	48
5.11	Choques aplicados às responsabilidades dos Ramos Não Vida.	49
5.12	Acréscimo da inflação no Ramo Vida por horizonte temporal.	49
5.13	Comparação entre cenário base e chocado: evolução de ativos e passivos, em milhões de euros.	51
5.14	Indicadores — comparação entre cenário base e chocado.	53
5.15	Indicadores derivados de resiliência sob cenário de choque.	53
5.16	Provisão Técnica — comparação entre cenário base e chocado, em milhões de euros.	54

I.1	Classificação dos Ativos com base no <i>Complementary Identification Code</i> (CIC).	84
I.2	Classificação das linhas de negócio por Provisão Técnica nos Ramos Não Vida.	85

LIST OF ALGORITHMS

1	Extrapolação Smith–Wilson com Choques de Mercado	79
---	------------------------------------------------------------	----

GLOSSÁRIO

Cenário chocado	Cenário onde choques foram aplicados. (pp. 2, 23, 25, 42, 51)
Duração Modificada	Mede a alteração do preço do título a uma resposta de 100 pontos base (Investopedia, 2023a). (pp. 26, 27, 30, 70)
Expert judgment	É um método baseado na intuição de um ou mais especialistas de um determinado tópico (Eurostat, 2023). (pp. 16, 17)
Swap	Derivado financeiro no qual duas partes trocam uma responsabilidade por outra (Investopedia, 2023b). Neste contexto, trata-se de uma <i>interest rate swap</i> que corresponde à troca de um título de dívida de taxa variável para uma taxa fixa. (pp. 16, 20, 21, 24, 28, 30, 32, 34, 43, 47, 48, 56, 60, 67, 70)
Yield	Retorno de um determinado ativo financeiro. (p. 20)
Bottom-up	Nesta abordagem, os <i>Stress Tests</i> são conduzidos diretamente pelas entidades às próprias carteiras. (pp. 1, 2, 4, 6, 8, 20, 21, 26, 42, 50, 55, 59, 62, 63)
Cenário base	Cenário atual, sem os choques aplicados. (pp. 23, 51)
CIC	Complementary Identification Codes — sistema de classificação europeu utilizado para identificar a natureza dos instrumentos financeiros, como obrigações, ações ou derivados ¹ . (pp. 20, 26, 27, 29, 39, 70, 80)
CQS	<i>Credit Quality Step</i> — medida utilizada para agrupar os ratings de crédito das entidades emissoras em diferentes escalões de risco, de acordo com o enquadramento da Solvência II. (pp. 20, 21, 69)

NACE	<i>Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne</i> - Nomenclatura Estatística das Atividades Económicas na Comunidade Europeia — codificação padronizada que identifica o setor económico da entidade emissora de um instrumento financeiro. (pp. 20, 21)
Top-down	Nesta abordagem, os <i>Stress Tests</i> são conduzidos diretamente pela autoridade de supervisão, sem a necessidade de cálculos individuais por parte de cada seguradora. A autoridade de supervisão utiliza os dados reportados regularmente pelas empresas de seguros para realizar a simulação e estimar o impacto do cenário adverso. Esta abordagem garante uniformidade e comparabilidade entre os resultados, além de reduzir a carga administrativa para as seguradoras. No entanto, a sua implementação depende da qualidade e granularidade dos dados disponíveis. (pp. 2, 3, 6, 7, 20, 23, 24, 26, 27, 42, 50, 53–55, 59, 62, 63, 67, 71, 77)

¹Pode ser consultado no site oficial da EIOPA (2025a).

SIGLAS

AoL	<i>Assets over Liabilities (pp. 41, 53, 63)</i>
ARS	<i>Annual Solvency II Reporting Solo (pp. 6, 25, 62)</i>
ASF	<i>Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões (pp. 1, 2, 4, 6, 35, 59, 62)</i>
BE	<i>Best-Estimate (pp. 8, 10–12, 14, 15, 34, 35, 37, 40, 52, 54, 55, 77, 78)</i>
CF	<i>Cash-Flow (pp. 9–11, 14, 15, 18, 25, 31, 34–37, 49, 60, 77, 78)</i>
CIU	<i>Collective Investment Undertaking (pp. 27, 28, 70)</i>
CL	<i>Chain-Ladder (p. 14)</i>
EAL	<i>Excess of Assets over Liabilities (pp. 40, 53, 63)</i>
EIOPA	<i>European Insurance and Occupational Pensions Authority (pp. 4, 6, 8, 12, 15–17, 20, 21, 25, 32, 33, 35, 42, 50, 55, 56, 62, 63, 67, 75)</i>
ESRB	<i>European Systemic Risk Board (p. 1)</i>
IL	<i>Index-Link (p. 12)</i>
IMF	<i>International Monetary Fund (p. 26)</i>
IRS	<i>Interest Rate SWAP (p. 43)</i>
LLP	<i>Last Liquid Point (pp. 16, 30, 33)</i>
LoB	<i>Line of Business (pp. 31, 35–38, 52, 54, 55)</i>
LTA	<i>Look-through approach (pp. 22, 27, 28, 46, 70)</i>
MCR	<i>Minimum Capital Requirement (pp. 5, 50, 61)</i>
OCDE	<i>Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económicos (p. 3)</i>
OF	<i>Own Funds (p. 5)</i>
ORSA	<i>Own Risk and Solvency Assessment (p. 5)</i>

QRS	<i>Quarterly Solvency II Reporting Solo (pp. 6, 25, 62)</i>
QRT	<i>Quantitative Reporting Template (pp. 6, 9, 25, 26, 30, 42, 59, 80)</i>
RFR	<i>Risk-Free Rate (pp. 8, 11, 12, 15–17, 20, 23–25, 32–37, 43, 47, 48, 52, 54–57, 62, 67, 68, 77, 79)</i>
RM	<i>Risk Margin (pp. 8, 11, 12, 36, 37, 40)</i>
RMBS	<i>Residential Mortgage-Backed Securities (p. 21)</i>
SCR	<i>Solvency Capital Requirement (pp. 5, 6, 8, 12, 50, 61)</i>
SMC	<i>Simulações de Monte Carlo (p. 60)</i>
ST	<i>Stress Test (pp. 1–4, 6, 7, 9, 20, 21, 23, 24, 27, 31, 42, 50, 53–55, 59, 60, 62, 63, 67, 68, 71, 77)</i>
TP	<i>Technical Provision (pp. 5, 8, 10–12, 16, 31, 36–38, 40, 41, 54, 63)</i>
TVaR	<i>Tail-Value-at-Risk (pp. 61, 63)</i>
UFR	<i>Ultimate Forward Rate (pp. 16–18, 33, 47, 48, 63)</i>
UL	<i>Unit-Linked (pp. 12, 25, 36, 38, 39, 54, 63)</i>
VaR	<i>Value-at-Risk (pp. 61, 63)</i>

SÍMBOLOS

$\Delta Claims$	Acréscimo da sinistralidade esperada (pp. 37, 54, 55, 71)
pb	Pontos base (pp. 43, 57, 67, 68)
$\Delta\pi$	Acréscimo da inflação (pp. 35, 49, 54, 71)
$\Delta\pi^{CP}$	Acréscimo da inflação na provisão para sinistros (pp. 37, 54, 71, 78)
$\Delta\pi^{PP}$	Acréscimo da inflação na provisão para prémios (pp. 37, 54, 71)
pp	Pontos percentuais (pp. 69–71)

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

O setor segurador desempenha um papel fundamental na economia ao funcionar como mecanismo de transferência e mitigação de riscos, contribuindo para a estabilidade financeira, a proteção social e o funcionamento eficiente dos mercados. A crise financeira de 2008, seguida por uma recente sucessão de choques, consequentes dos efeitos da pandemia, dos níveis persistentemente elevados de inflação e das decorrentes tensões geopolíticas, evidenciou alguns riscos latentes do sistema financeiro.

Efetivamente, a *European Systemic Risk Board* (ESRB) alertou ², em 2022 para o aumento da probabilidade de materialização do risco sistémico na Europa, incentivando, desta forma, *as autoridades de supervisão a promoverem iniciativas que visem à preservação e reforço da resiliência do setor financeiro europeu e à abordagem eficaz de quaisquer riscos para a estabilidade financeira* (ASF, 2023; ESRB, 2022).

Ao nível do setor segurador nacional, a Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões (ASF)³ tem vindo a desenvolver ferramentas no âmbito da supervisão prudencial⁴ para a identificação de potenciais riscos. Para o efeito, destaca-se a participação nacional⁵ nos exercícios de *Stress Test* (ST) europeus que pretendem avaliar a exposição das empresas de seguros face a cenários adversos.

Até à data da redação deste documento, os exercícios de ST, na realidade europeia, são feitos numa abordagem *Bottom-up*, em que os cálculos são individualmente realizados pelas entidades⁶ às próprias carteiras, que por si só, requerem pedidos adicionais, implicando esforços, custos operacionais elevados e, por conseguinte, um período de execução

²Alerta do Comité Europeu do Risco Sistémico, de 22 de setembro de 2022, relativo a vulnerabilidades no sistema financeiro da União (CERS/2022/7), disponível em https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/warnings/esrb.warning220929_on_vulnerabilities_union_financial_system~6ae5572939.pt.pdf.

³Até 2015 designada por Instituto de Seguros de Portugal (ISP), é a entidade reguladora e de supervisão do mercado de seguros nacional.

⁴Algumas ferramentas de apoio à supervisão prudencial da ASF são, por exemplo, o *RiskOutlook2.0* e o *Painel de Riscos do Setor Segurador*.

⁵Através da inclusão do Grupo *LongRun* Portugal, SGPS na amostra de participantes.

⁶No contexto deste trabalho, entende-se entidades ou operadores como empresas de seguros ou seguradoras caso esta não seja explícita.

prolongado.

Existe, por isso, a necessidade de ultrapassar as limitações, descritas no parágrafo acima, dos exercícios de ST na abordagem *Bottom-up* assegurando uma maior eficiência destes exercícios.

A par desta problemática, o presente trabalho visa estender a dinâmica da supervisão da ASF, ao desenvolver uma metodologia de ST (própria) e numa abordagem *Top-down*, possibilitando à autoridade de supervisão de seguros nacional efetuar os cálculos centralmente através de dados de reporte regular, isto é, sem a necessidade de pedidos adicionais de informação.

Para o efeito, a metodologia proposta será implementada computacionalmente sob forma de uma ferramenta prática e eficiente, sendo esta desenvolvida em *Python*⁷ e em *Excel*.

1.2 Estrutura

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos. O Capítulo 2 enquadra o tema no âmbito do regime de Solvência II, destacando o papel do setor segurador, a importância da supervisão prudencial e a relevância dos exercícios de ST, e concluindo com as motivações que justificam a adoção de uma abordagem *Top-down*. O Capítulo 3 apresenta o enquadramento atuarial e os fundamentos teóricos que suportam as opções metodológicas, incluindo técnicas de modelação, especificações de Solvência II e exercícios de referência conduzidos pela EIOPA. No Capítulo 4, descrevem-se as metodologias propostas, os pressupostos assumidos e as limitações identificadas. O Capítulo 5 expõe a implementação prática da ferramenta, o Cenário chocado para teste da ferramenta e os principais resultados desse teste, acompanhados das respetivas validações. Por fim, o Capítulo 6 procede a uma reflexão crítica sobre o trabalho desenvolvido e aponta possíveis direções de evolução metodológica e computacional.

⁷versão 3.13.7

ENQUADRAMENTO

Este capítulo enquadra a metodologia de ST numa perspetiva *Top-down*, abordando sucessivamente a relevância do setor segurador na economia, a função da supervisão prudencial e a importância dos exercícios de ST nesse contexto. Inclui-se ainda uma referência ao regime de Solvência II e aos seus pilares fundamentais, culminando na apresentação dos objetivos da ferramenta a desenvolver.

2.1 Supervisão prudencial e relevância do *Stress Test*

2.1.1 O papel da atividade seguradora na economia

De acordo com dados da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económicos (OCDE), a penetração do setor de seguros tende a aumentar com o nível de desenvolvimento económico (OECD, 2024). Isso ocorre porque, à medida que as economias prosperam, os agentes procuram proteger os próprios bens contra eventos adversos que se poderão materializar, aumentando, assim, a procura por produtos de seguro e, conseqüentemente, o volume de prémios subscritos. No seguimento, à medida que as economias evoluem, o valor dos bens a proteger também aumenta, o que provoca um aumento do capitais seguros e um aumento do volume de prémios brutos emitidos (Qin et al., 2021).

Além de oferecer proteção individual e empresarial, a atividade seguradora desempenha um papel estrutural na economia, reduzindo a incerteza e a volatilidade associadas às atividades produtivas. Neste sentido, ao proporcionar mecanismos de cobertura de risco, as seguradoras incentivam o investimento e a alocação eficiente de recursos, promovendo, deste modo, o crescimento económico sustentável (Arena, 2008; Chandel & Kumar, 2016).

2.1.2 O papel da supervisão na atividade seguradora

Em teoria, os princípios económicos que regem qualquer mercado, incluindo o segurador, assumem que este opera sob condições ideais: eficiência, racionalidade dos agentes económicos e acesso pleno à informação. Não obstante, na prática, os mercados frequentemente divergem desses pressupostos, tornando necessária a intervenção de um supervisor

para corrigir falhas de mercado e garantir uma maior transparência (Starita & Malafronte, 2014).

No contexto do mercado segurador, a supervisão exerce um papel fulcral ao mitigar falhas de mercado e reduzir riscos sistémicos, promovendo transparência e reforçando a confiança de investidores e consumidores. Ao aproximar o setor dos pressupostos de um mercado eficiente, acima referidos, a supervisão contribui para a proteção dos tomadores de seguros e para a estabilidade do sistema financeiro como um todo.

De facto, a supervisão europeia rege-se pelo regime de Solvência II ⁸, adotado a nível europeu e implementado também a nível nacional. Este surgiu devido à crescente complexidade dos riscos assumidos pelas seguradoras com o objetivo de fortalecer a proteção dos tomadores de seguros⁹ (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2009).

Por sua vez, a ASF enquanto órgão responsável pela supervisão da atividade seguradora e dos fundos de pensões em Portugal, tem, de acordo com o artigo 6º, Capítulo II, do Decreto-Lei n.º 1/2015, de 6 de janeiro, como principal objetivo proteger os tomadores de seguros e beneficiários, assegurando que essas entidades mantenham elevados padrões de conduta, e garantir a estabilidade financeira do setor (Portugal, 2015).

2.1.3 O papel dos exercícios de *Stress Test* na supervisão de seguros

O cenário macroeconómico dos últimos anos tem sido marcado por elevada incerteza, refletida numa crise inflacionária persistente e num aumento acentuado das taxas de juro. Estes fenómenos resultaram, em grande medida, de choques adversos, como a pandemia de *COVID-19* e as respetivas tensões geopolíticas, cujos efeitos se traduziram em repercussões negativas para o sistema financeiro global. Desta forma, a recente conjuntura exige a intensificação das ações de supervisão e um reforço da monitorização dos riscos e vulnerabilidades dos operadores (ASF, 2025). De facto, no âmbito europeu, a European Insurance and Occupational Pensions Authority (EIOPA) conduz regularmente exercícios de ST numa ótica *Bottom-up* ao setor segurador para *aferir em que medida as seguradoras conseguem resistir a desenvolvimentos económicos e financeiros severos mas plausíveis, ajudando os supervisores a detetar fragilidades na indústria e a encontrar formas de melhorar a sua resiliência.* (EIOPA, 2024c).

2.2 O regime de Solvência II

A crise financeira de 2008 abalou os alicerces do sistema financeiro europeu, expondo fragilidades profundas também no setor segurador. Dessa conjuntura emergiu a necessidade de um regime prudencial mais moderno e robusto, que veio a materializar-se no quadro regulamentar conhecido como Solvência II.

⁸Estabelecido pela Diretiva 2009/138/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de novembro de 2009.

⁹Ponto 14º & 17º, JO L 335 de 17.12.2009 p.3.

2.2.1 Princípios da supervisão

O regime de Solvência II estabelece que a supervisão das empresas de seguros deve seguir uma abordagem prospectiva e baseada no risco. Isto significa que a supervisão não se limita a avaliar apenas a situação atual das entidades, como também concentra-se na sua capacidade de gerir riscos futuros, garantindo a estabilidade a longo prazo do setor segurador (Art. 29º) (EIOPA, 2024b).

A supervisão deve ser conduzida de forma transparente e responsável, assegurando que as autoridades competentes exercem as suas funções com integridade e em conformidade com os interesses dos tomadores de seguros e do mercado em geral (Art. 31º). Paralelamente, é essencial respeitar a proteção das informações confidenciais, garantindo que os dados sensíveis das seguradoras e dos clientes sejam tratados com a devida segurança (EIOPA, 2024b).

Por fim, a natureza preventiva e proporcional da supervisão exige a implementação de medidas que antecipem possíveis fragilidades do setor. Assim, os supervisores devem intervir de forma ajustada à magnitude dos riscos identificados, adotando ações proporcionais ao impacto potencial de cada ameaça ao mercado segurador (Art. 29º) (EIOPA, 2024b). Este equilíbrio entre antecipação e proporcionalidade permite que a supervisão desempenhe um papel estratégico na mitigação de riscos sistémicos e no fortalecimento da resiliência das seguradoras.

2.2.1.1 Os três pilares de Solvência II

Starita e Malafronte (2014) explicam que a estrutura do regime de Solvência II assenta em três pilares fundamentais :

Pilar 1 – Requisitos quantitativos: estabelece as regras para o cálculo das provisões técnicas, *Technical Provision* (TP), dos requisitos mínimos de capital, *Minimum Capital Requirement* (MCR), e dos requisitos de capital de solvência, *Solvency Capital Requirement* (SCR), além da valorização de ativos, investimentos e fundos próprios, *Own Funds* (OF).

Pilar 2 – Requisitos qualitativos e supervisão: define os princípios de *governance*, a gestão de riscos, a realização do *Own Risk and Solvency Assessment* (ORSA) e o processo de revisão por parte dos supervisores.

Pilar 3 – Transparência e divulgação: procura garantir que as informações sobre a atividade seguradora sejam acessíveis a todos os participantes do mercado, promovendo maior disciplina e confiança.

2.3 Motivações do desenvolvimento da ferramenta de *Stress Test* em abordagem *Top-down*

Como referido na secção 2.1.3, a EIOPA conduz exercícios de ST de âmbito europeu numa abordagem *Bottom-up*. Esta abordagem consiste em cada seguradora aplicar o cenário de choque diretamente à sua própria carteira de ativos e de responsabilidades, produzindo os resultados que, posteriormente, são consolidados pela EIOPA a nível europeu.

Os exercícios de ST nesta perspetiva trazem a vantagem de refletir com um elevado nível de detalhe as características específicas de cada entidade, assegurando uma visão granular dos riscos e da resiliência do setor. Porém, esta abordagem requer pedidos adicionais de informação ao mercado, e acarreta um acréscimo de esforço operacional por parte das seguradoras implicando um prazo relativamente alargado até à obtenção de resultados agregados do setor.

As limitações acima descritas motivam a construção de um mecanismo alternativo que permita acelerar o processo de ST, reduzindo a dependência de pedidos adicionais de informação. Neste enquadramento, torna-se pertinente considerar uma abordagem *Top-down*, na qual a autoridade de supervisão conduz centralmente os exercícios de ST fazendo uso dos dados reportados pelas entidades, através dos *Quantitative Reporting Templates* (QRTs) embora com menor granularidade nas análises.

Desenvolvido no contexto de estágio curricular na ASF, este trabalho procura responder à necessidade de dotar a supervisão de seguros nacional de uma ferramenta capaz de executar exercícios de ST de forma centralizada, utilizando exclusivamente os dados reportados nos QRTs, para o efeito, os dados anuais, *Annual Solvency II Reporting Solo* (ARS), e dados trimestrais, *Quarterly Solvency II Reporting Solo* (QRS).

Adicionalmente, a ferramenta desenvolvida e os métodos discutidos visam, por um lado, avaliar a capacidade de absorção de perdas do setor face a choques de mercado e a choques específicos da atividade seguradora, e, por outro, disponibilizar à autoridade de supervisão um instrumento prático e replicável de suporte à supervisão macroprudencial.

Não obstante o rácio de solvência¹⁰ constituir um indicador central na avaliação da resiliência do setor segurador, a sua dependência direta do SCR limita a sua utilização neste contexto. Não sendo o objetivo deste trabalho reproduzir o SCR a partir da informação disponível nos QRTs, optou-se por centrar a análise nas principais rubricas do balanço económico das empresas de seguros, conforme ilustrado na Figura 2.1.

¹⁰Definido como $\frac{\text{Fundos Próprios}}{\text{SCR}}$.

2.3. MOTIVAÇÕES DO DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE *STRESS TEST* EM ABORDAGEM *TOP-DOWN*

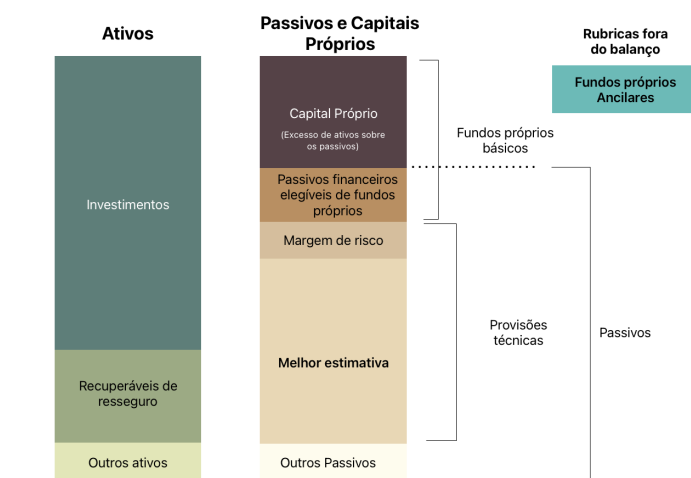


Figura 2.1: Representação esquemática do balanço de uma seguradora.

Fonte: Adaptado de Starita e Malafrente (2014).

A metodologia e a ferramenta de ST em abordagem *Top-down* aqui apresentadas constituem um contributo de base para a análise da resiliência do setor segurador em Portugal, oferecendo uma perspetiva distinta e um ponto de partida sólido para desenvolvimentos futuros.

FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA E REGULAMENTAR DO *STRESS TEST*

3.1 *Stress Test*- breve enquadramento

A compreensão aprofundada dos fenómenos associados à avaliação e gestão de riscos no setor segurador exige uma articulação clara entre os fundamentos teóricos da Solvência II e os instrumentos quantitativos que suportam a modelação da incerteza.

Neste capítulo, apresenta-se a base conceptual e metodológica sobre a qual se constrói a abordagem adotada. Pretende-se, por um lado, consolidar os princípios técnicos inerentes ao regime de Solvência II — com especial enfoque nos componentes da melhor estimativa das responsabilidades, ou *Best-Estimate* (BE), a margem de risco, ou *Risk Margin* (RM) e das provisões técnicas (TP) — e, por outro, explorar os aspetos relacionados com a determinação da *Risk-Free Rate* (RFR)¹¹, de acordo com a metodologia definida pela EIOPA, através da extrapolação de *Smith-Wilson*¹² na secção 3.3.5.

Inclui-se ainda a utilização de *splines* cúbicos, na secção 3.2.1 como ferramenta de interpolação dos choques por maturidade, assegurando uma representação suave e contínua ao longo do horizonte temporal analisado. Aborda-se as diretrizes da EIOPA inerentes à metodologia *Bottom-up*, aplicadas no lado dos ativos das entidades. Por fim, é apresentada uma abordagem exploratória na estimação de novos SCRs, servindo como referência a desenvolvimentos futuros.

A seleção dos tópicos aqui tratados visa, portanto, fundamentar teoricamente as decisões técnicas adotadas ao longo do trabalho realizado, assegurando a coerência interna da abordagem proposta e a sua compatibilidade com as diretrizes em vigor.

¹¹Apesar de o termo ‘estrutura temporal das taxas de juro (ETTJ)’ ser utilizado, por exemplo, nos Relatórios de Estabilidade Financeira da ASF, esta dissertação adota o termo ‘Risk-Free Rate (RFR)’, mais consistente com a nomenclatura técnica da EIOPA no âmbito da Solvência II, dado que o foco é a curva isenta de risco usada para descontar as provisões técnicas.

¹²O documento técnico da dedução da *Risk-Free Rate* pode ser consultado em https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/risk-free-interest-rate-term-structures_en

3.2 Modelação dos dados

As características dos dados QRT evidenciam a necessidade de recorrer a técnicas de validação, imputação e aproximação, de forma a garantir uma granularidade mínima e assegurar a robustez da análise efetuada para os STs.

Ademais, as técnicas de modelação são fulcrais na interpolação de pontos e a suavização das curvas de choque.

Apresenta-se, deste modo, algumas metodologias de modelação adaptadas ao exercício de ST, com especial destaque para a utilização dos *splines* cúbicos, e algumas abordagens que potenciem uma representação mais realista dos *Cash-Flows* (CFs) esperados.

3.2.1 Técnica de *splines* cúbicos

A técnica de *splines*, segundo o autor Schoenberg (1988), corresponde a curvas matemáticas que se definem por dois ou mais pontos de controlo, designados por nós (em inglês *knots*). A construção destas curvas baseia-se na concatenação de funções polinomiais definidas por troços, sujeitas a condições de continuidade que garantem a suavidade da função ao longo de todo o intervalo.

Existe um leque alargado de configurações possíveis no âmbito da técnica *splines*, dependendo, nomeadamente, do grau dos polinómios utilizados, das condições impostas nos nós e das funções de base adotadas. Contudo, pela sua simplicidade, versatilidade e larga utilização prática, o enfoque da presente dissertação recai sobre os denominados *splines* cúbicos, considerados uma das opções mais populares no contexto da interpolação e suavização de curvas.

O desenvolvimento teórico e a consolidação da aplicação prática dos *splines* deve-se, em grande parte, aos contributos do autor de Boor (2001), cuja abordagem permitiu formalizar o conceito e introduzir métodos computacionais eficientes, com especial destaque para os *B-splines*. A sistematização proposta pelo autor possibilitou ultrapassar limitações associadas às técnicas tradicionais, tornando os *splines* uma ferramenta essencial no âmbito da estatística e do atuariado.

Splines cúbicos¹³ Seja $I = [a, b]$ o intervalo de choques arbitrário em que pretendemos interpolar, particionado em $n - 1$ subintervalos I_i , com $i = \{1, 2, \dots, n\}$, por n nós ordenados, tal que:

$$a = \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n = b$$

Nos casos em que os nós são distribuídos de forma equidistantes no intervalo I , o *spline* diz-se *uniforme*, caso contrário é designado de *não uniforme*.

Considera-se a função *spline* cúbica f , definida por:

¹³A presente secção é inspirada na abordagem de Bravo (2007), e adaptada à nomenclatura da autoria de Boor (2001).

$$f : [a, b] \in \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

Esta função é construída de forma a interpolar os valores $g(\tau_1), g(\tau_2), \dots, g(\tau_n)$, correspondentes às observações conhecidas nos nós, $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$.

Para cada sub-intervalo de I , ou seja $[\tau_i, \tau_{i+1}]$, a função f pode ser descrita por um polinómio de grau 3, i.e,

$$f(x) = P_i(x), \quad \text{tal que } \tau_i \leq x \leq \tau_{i+1}, \quad \text{com } P_i \in \Pi_{<4}, \quad i = 1, \dots, n-1 \quad (3.1)$$

Cujo, o i -ésimo polinómio P_i e sem entrar em detalhes ¹⁴, é descrito pela seguinte expressão:

$$P_i(x) = c_{1,i} + c_{2,i}(x - \tau_i) + c_{3,i}(x - \tau_i)^2 + c_{4,i}(x - \tau_i)^3 \quad (3.2)$$

Deve satisfazer as condições de continuidade dos nós interiores:

$$\begin{aligned} P_i(\tau_i) &= g(\tau_i), & P_i(\tau_{i+1}) &= g(\tau_{i+1}), \\ P'_i(\tau_i) &= s_i, & P'_i(\tau_{i+1}) &= s_{i+1}, \end{aligned} \quad i = 1, \dots, n-1 \quad (3.3)$$

Onde s_1, s_2, \dots, s_n são parâmetros arbitrários. Independentemente dos valores dos parâmetros escolhidos, o resultado garante que $f(\tau_i) = g(\tau_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ e que pertence ao espaço $C^1[a, b]$. De salientar ainda que, quando os parâmetros s_i são escolhidos de tal forma que $f \in C^2[a, b]$, o *splines* diz-se *natural*.

3.2.2 Modelação dos *cash-flows*

A modelação de CFs das responsabilidades das entidades é um elemento fundamental para o cálculo da BE e consequentemente das TP. Ver-se-à a importância desta subsecção na secção 4.4.

De forma geral, identificam-se duas abordagens principais:

1. **Modelos baseados em séries temporais** — Utilizam dados históricos relevantes para estimar a evolução futura com base em padrões observados. Entre as técnicas mais comuns, destacam-se os modelos *AutoRegressive Integrated Moving Average* (ARIMA), definidos genericamente por (Hyndman & Athanasopoulos, 2014):

$$\phi(B)(1 - B)^d y_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (3.4)$$

onde B é o operador de atraso, $\phi(B)$ e $\theta(B)$ são polinómios de ordem p e q , respetivamente, e ε_t é um termo de ruído branco. Nesta formulação, y_t pode representar, por exemplo, os CFs de sinistros pagos num determinado período.

¹⁴Para mais detalhes, consultar de Boor (2001).

2. **Extrapolação da cauda (*tail approximation*)** — Quando a informação histórica não é suficiente para obter resultados fiáveis das séries temporais, recorre-se à ao pressuposto que a parte não observada da série segue um determinado decaimento. Identifica-se algumas formas funcionais para esta extrapolção:

- Decaimento exponencial:

$$CF_t = CF_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3.5)$$

onde CF_0 é o CF no instante $t = 0$ e λ a taxa de decaimento, calibrada a partir de dados históricos.

- Tendência linear:

$$CF_t = a + bt \quad (3.6)$$

- Tendência log-linear:

$$\ln(CF_t) = a + bt \quad (3.7)$$

- Tendência quadrática:

$$CF_t = \alpha + \beta t + \gamma t^2 \quad (3.8)$$

- Tendência log-quadrática:

$$\ln(CF_t) = \alpha + \beta t + \gamma t^2 \quad (3.9)$$

3.3 Especificações técnicas de Solvência II no cálculo das provisões técnicas

O artigo 77º da diretiva de Solvência II do Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia (2009) estabelece que as TPs são a soma da melhor estimativa das responsabilidades (BE) e da margem de risco (RM):

$$TP = BE + RM \quad (3.10)$$

3.3.1 Melhor estimativa das responsabilidades

A melhor estimativa bruta corresponde à média ponderada dos CFs tendo em conta o valor temporal do dinheiro, *i.e* o valor atual dos CFs utilizando uma estrutura de taxa de juro relevante, nomeadamente a RFR:

$$BE = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t]}{(1 + RFR_t)^t} \quad (3.11)$$

- $E[CF_t]$ representa o valor estimado dos CFs brutos futuros no instante t , $\{t = 1, 2, 3, \dots, n\}$ Ou seja, corresponde à diferença entre saídas e entradas dos CFs brutos, no geral:

$$E[CF_t] = E[CF_t]^{outflows} - E[CF_t]^{inflows} \quad (3.12)$$

As saídas, $E[CF_t]^{outflows}$, correspondem a pagamentos de benefícios, impostos e outras despesas. As entradas, $E[CF_t]^{inflows}$, correspondem a prémios futuros e os respetivos retornos provenientes de atividades de investimento (Starita & Malafrente, 2014).

- RFR_t a taxa de juro RFR com maturidade de t anos - obtido no site da EIOPA ¹⁵.

Para os ramos Não Vida, a BE divide-se em duas categorias (Starita & Malafrente, 2014):

$$BE_{NL} = BE_{PP} + BE_{CP} \quad (3.13)$$

- BE_{PP} : ligada à provisão para prémios, ou seja, dos sinistros que ocorrem do período de cobertura em vigor, incluindo despesas administrativas;
- BE_{CP} : ligada à provisão para sinistros, de eventos que ocorreram reportados (ou não);

3.3.2 Margem de risco

A RM é calculada para garantir que o valor das provisões técnicas seja suficiente para permitir a transferência das obrigações de seguros e de resseguros para outra empresa e é baseada no Custo de Capital (CoC) sobre o SCR, descontados ao longo do tempo:

$$RM = CoC \sum_{t \geq 0} \frac{SCR_t}{(1 + RFR_{t+1})^{t+1}} \quad (3.14)$$

Não obstante, as diretrizes da EIOPA (2022)¹⁶ permitem a simplificação, em última instância, do cálculo da RM como uma percentagem, θ , do valor de BE líquido de recuperáveis de resseguro, i.e:

$$RM = \theta \times BE^{NET} \quad (3.15)$$

onde

$$BE^{NET} = BE^{Gross} - \text{Recuperáveis de resseguro} \quad (3.16)$$

3.3.3 Provisões técnicas nos *Unit-linked*

Para contratos tais como *Unit-Linked* (UL)/*Index-Link* (IL)¹⁷, as TP, que geralmente são calculadas de forma desagregada, pela equação (3.10), devem, quando replicáveis por instrumentos financeiros, refletir diretamente o valor das unidades ou dos ativos

¹⁵https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/risk-free-interest-rate-term-structures_en.

¹⁶4º método do 133º parágrafo da diretriz 62.

¹⁷os produtos IL, à data atual, não são comercializados em Portugal.

subjacentes, conforme estabelecido no Artigo 77º(4) e 132º da Diretiva 2009/138/EC do Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia (2009).

Logo, a relação seguinte é válida:

$$\begin{aligned} TP_{UL} &= TP_{UL}^{Whole} + BE_{UL}^{other} + RM_{UL}^{other} \\ \Leftrightarrow TP_{UL} &= \sum_{i=1}^n \text{Asset}_i^{UL/IL} + \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t^{other}]}{(1 + RFR)^t} + RM_{UL}^{other} \end{aligned} \quad (3.17)$$

3.3.4 Métodos de provisão nos Ramos Não Vida, utilizando triângulos de *run-off*

O momento em que um sinistro ocorre, designado por período de ocorrência i , pode não coincidir com o momento em que é reportado ou liquidado. O decurso entre a ocorrência e a sua evolução subsequente é descrito pelo período de desenvolvimento j . Esta informação é tipicamente organizada em triângulos de *run-off*, nos quais as linhas correspondem às coortes de ocorrência (i) e as colunas aos períodos de desenvolvimento (j); ver Figura 3.1. A granularidade temporal de i e j pode ser anual, semestral, mensal, entre outras.

i/j	1	2	...	$J-1$	J	∞
1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$...	$X_{1,J-1}$	$X_{1,J}$	$X_{1,\infty}$
2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$...	$X_{2,J-1}$		
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots			
$I-1$	$X_{I-1,1}$	$X_{I-1,2}$				
I	$X_{I,1}$					

Figura 3.1: Triângulo de *run-off* incremental para a provisão para sinistros.

Fonte: Adaptado de Hindley (2018).

Seja $X_{i,j}$ tal que $i + j \leq I$, o montante da perda agregada paga no período de desenvolvimento j resultante dos sinistros ocorrido no período i pelo segurador.

Considerando que na Figura 3.1, os valores de X_{ij} representam os incrementos pagos à data de referência, cada célula pertence ao ano de calendário $t = i + j - 1$ (as diagonais do triângulo).

Defina-se a diagonal t (ou ano de calendário) por:

$$\mathcal{D}_t = \{(i, j) : i + j - 1 = t\}.$$

Os CFs brutos desse ano k é a soma dos incrementos ao longo da diagonal, isto é:

$$CF_t = \sum_{(i,j) \in \mathcal{D}_t} X_{i,j} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{i,j} \mathbf{1}\{i + j - 1 = t\} \quad (3.18)$$

De facto, tratando-se de dados incrementais, estes podem ainda ser apresentados na sua forma cumulativa, através da soma dos incrementos, conceptualmente apresentada pela expressão (3.19):

$$C_{ij} = \sum_{t=0}^j X_{i,t}, i + j \leq I \quad (3.19)$$

Caso os dados estejam na forma cumulativa a expressão dos CFs segue a expressão (3.20):

$$CF_t = \sum_{(i,j) \in \mathcal{D}_t} (C_{i,j} - C_{i,j-1}). \quad (3.20)$$

Contudo, para a determinação da BE segundo a equação (3.11), não basta considerar os CFs observados. É necessário estimar os CFs futuros, correspondentes a períodos de calendário ainda não observados, o que implica projetar os valores incrementais $X_{i,j}$ fora da região triangular observada, ou seja, para $i + j - 1 > I$. Deste modo, a obtenção da BE assenta não apenas na informação histórica, mas também na capacidade de modelação atuarial e previsão da evolução futura de sinistros.

Para efeitos de provisão, apresenta-se o método determinístico de *Chain-Ladder* (CL) na secção subsequente. Podendo, no entanto utilizar-se outros métodos de provisão para sinistros¹⁸.

3.3.4.1 Método de *Chain-Ladder*

O método CL é uma das técnicas atuarias mais antigas e também a mais aplicada pelas seguradoras na estimação da provisão para sinistros, devido à sua simplicidade e fácil compreensão. Trata-se de um modelo determinístico, na medida em que as estimativas obtidas se baseiam apenas nos dados históricos observados e não assumem qualquer distribuição de probabilidade. Deste modo, obtêm-se estimativas pontuais, ou seja, valores que não fornecem informação acerca da sua variabilidade nem dos respetivos erros (Radtko et al., 2012).

O modelo CL assume que os padrões futuros de desenvolvimento dos sinistros seguirão a mesma linha dos padrões históricos observados. Baseia-se, assim, num conjunto de rácios que relacionam os montantes de um determinado ano com os do ano seguinte, designados por fatores de desenvolvimento, f_j , e calculam-se pela expressão (3.21).

¹⁸Para mais pormenores sobre os métodos mencionados, consultar Hindley (2018) e Mack (1993).

$$\widehat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{I-j} C_{i,j}}, \quad j = 1, \dots, J-1. \quad (3.21)$$

E os fatores de desenvolvimento cumulativos:

$$F_j = \prod_{k=j}^{J-1} \widehat{f}_k \quad (3.22)$$

Com base nos últimos montantes acumulados conhecidos e nos coeficientes de desenvolvimento estimados, obtém-se a seguinte estimativa para preencher a parte inferior do triângulo:

$$\widehat{C}_{i,j+1} \approx \widehat{f}_j C_{ij} \quad (3.23)$$

Logo, é possível estimar os CFs futuros, quando $i + j > I$, através da equação (3.20) e consequentemente obter BE bruto das responsabilidades.

3.3.5 Construção da estrutura temporal da taxa de juro segundo a metodologia da EIOPA

Reconhecendo a importância da curva taxa de juro, RFR, na determinação das responsabilidades das seguradoras, conforme apresentado na equação (3.11), a EIOPA (2024d) é responsável pela publicação periódica e pela disponibilização da metodologia inerente à obtenção da respetiva estrutura¹⁹, garantindo a consistência e a comparabilidade entre as diversas entidades e jurisdições.

Apesar das especificidades da metodologia de extrapolação, o foco desta dissertação recai exclusivamente sobre a curva da moeda do euro, doravante designada por **curva EUR**.

Nas secções seguintes apresenta-se a metodologia utilizada pela EIOPA para a obtenção da taxa de juro, bem como as bases de decisão, nomeadamente os pressupostos, os dados de mercado e os parâmetros essenciais para o modelo de extrapolação.

3.3.5.1 Base de decisão

Antes de descrever os elementos técnicos e normativos que suportam a construção da RFR, importa contextualizar o enquadramento em que esta metodologia é concebida e aplicada. A definição das bases de decisão constitui um passo fundamental, na medida em que estabelece os critérios, pressupostos e restrições que orientam todas as fases subsequentes do cálculo. É nesta fase que se assegura que o modelo, para além de aderente às exigências regulamentares, preserva a coerência interna, a comparabilidade entre jurisdições e a adequação às condições de mercado.

¹⁹Para uma análise mais detalhada da metodologia de construção da curva taxa de juro, veja-se EIOPA (2024d).

Princípios e pressupostos metodológicos

A metodologia para a construção das RFRs rege-se por princípios e pressupostos que garantem a consistência, robustez e transparência do processo. As decisões metodológicas adotadas procuram não só assegurar o cumprimento dos requisitos regulamentares estabelecidos pela Diretiva *Omnibus II*²⁰, como também promover a estabilidade e replicabilidade dos cálculos, minimizando o recurso ao *Expert judgment* (EIOPA, 2024d).

A metodologia destaca-se assim pelos seguintes princípios:

- Respeito pelos elementos essenciais do acordo político subjacente à Diretiva 2014/51/EU;
- Transparência integral do processo de cálculo e dos dados utilizados;
- Replicabilidade dos resultados, assegurando a possibilidade de reprodução independente dos cálculos;
- Consistência de mercado e avaliação prudente das TPs, e;
- Utilização ótima da informação de mercado disponível.

Dados de Mercado

Efetivamente, a curva taxa de juro (EUR) RFR é constituída essencialmente por taxas *Swap*, neste contexto trata-se de um *Interest Rate Swap*.

Importa ainda salientar que, por decisão da EIOPA, apenas são consideradas maturidades superiores a um ano, dada a complexidade acrescida e o impacto residual que taxas de curto prazo teriam nas provisões de longo prazo.

***Last Liquid Point (LLP)* ou último ponto de mercado líquido**

O conceito de LLP estabelece o limite temporal até ao qual os dados de mercado são considerados suficientemente robustos para a determinação das taxas de juro. Para a EUR, o LLP encontra-se fixado nos 20 anos de maturidade, conforme previsto na Diretiva *Omnibus II*.

***Ultimate Forward Rate (UFR)* ou taxa de convergência de longo prazo**

A extrapolação das taxas de juro a partir do LLP converge para uma taxa de longo prazo, designada por UFR. Esta taxa incorpora pressupostos macroeconómicos e de mercado, garantindo a estabilidade e plausibilidade económica das curvas.

Importa ainda salientar que, a variação do UFR é limitada a um valor absoluto de 15 pontos base em relação ao período anterior, caso contrário, permanece constante, ou seja:

$$UFR_t^L = \begin{cases} UFR_{t-1}^L + 15 \text{ bps} & \text{se } UFR_t \geq UFR_{t-1}^L + 15 \text{ bps} \\ UFR_{t-1}^L - 15 \text{ bps} & \text{se } UFR_t \leq UFR_{t-1}^L - 15 \text{ bps} \\ UFR_{t-1}^L & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.24)$$

²⁰Diretiva 2014/51/EU.

onde:

- UFR_t^L denota o valor do UFR no ano t , após a aplicação da limitação à variação anual;
- UFR_{t-1}^L denota o valor do UFR no ano $t - 1$, também após a limitação anual;
- UFR_t denota o valor do UFR no ano t , antes da aplicação da limitação anual.

Ponto de Convergência e Tolerância

O ponto de convergência representa o horizonte temporal a partir do qual a estrutura de taxas de juro assume um comportamento estável, próximo do valor da UFR. A escolha deste ponto, bem como a definição da sua tolerância, resulta de um equilíbrio entre rigor técnico, minimização do *Expert judgment* e preservação de um nível adequado de comparabilidade e previsibilidade nas estimativas atuariais. No caso do EUR, a convergência ocorre aos 60 anos de maturidade.

3.3.5.2 Extrapolação de *Smith-Wilson*

Tendo as bases de decisão solidamente estabelecidas e os respetivos parâmetros definidos, procede-se à formalização matemática da metodologia subjacente à construção da RFR, recorrendo ao modelo de extrapolação de *Smith-Wilson*. Este método, adotado pela EIOPA, é amplamente reconhecido pela sua capacidade de produzir curvas taxa de juro suaves, coerentes com as observações de mercado e convergentes para o UFR, preservando simultaneamente a robustez técnica e a estabilidade regulatória. A apresentação que se segue inicia-se pela formulação do modelo definida em termos de intensidades de desconto, que fornece uma interpretação contínua e intuitiva do processo, sendo posteriormente reescrita na sua forma matricial, mais adequada à implementação computacional e à resolução eficiente do sistema de equações associado.

Modelo de *Smith-Wilson* definido por intensidades

Designemos por r a taxa anual de desconto e o respetivo fator de desconto $R = (1 + r)$. Definamos de seguida a intensidade (de desconto) $\rho = \log(R)$ característica em tempo contínuo, onde é permitido taxas de juro negativas, desde que satisfaçam as condições $r > -1$ e $R > 0$.

Obtendo a constante ρ , o valor atual de um montante igual a 1 com maturidade v expressa-se pela seguinte relação:

$$p(v) = \exp(-v\rho) \quad (3.25)$$

Note-se que as intensidades, ρ , dependem efetivamente do valor das maturidades, v , logo, de forma intuitiva, podemos associar as intensidades em função das maturidades, dada por $y(v)$.

$$p(v) = \exp(-v \cdot y(v)) \Leftrightarrow y(v) = \frac{-\log(p(v))}{v} \quad (3.26)$$

Onde a função de intensidade *forward*, f , determina a variação da função do valor atual, $p(v)$:

$$f(v) = \frac{-d\log(p(v))}{dv} = -\frac{p'(v)}{p(v)} \quad (3.27)$$

A *yield function* pode ser ainda escrita como uma média de um integral de uma função *forward*, i.e:

$$y(v) = \frac{1}{v} \int_0^v f(z) dz \quad (3.28)$$

Note-se que, quando $y(0) = f(0)$ esta representa a *zero-spot intensity* e no limite $y(\infty) = f(\infty)$ representa o UFR.

Função de Wilson

Smith e Wilson (2001) define a função de Wilson, $W(u, v)$ da seguinte forma:

$$W(u, v) = e^{\omega(u+v)} H(u, v) = e^{-\omega u} H(u, v) e^{-\omega v} \quad (3.29)$$

No qual $H(u, v)$ é o "coração" da função de Wilson, é expressa por:

$$H(v, u) = \frac{\alpha(v + u) + e^{-\alpha(u+v)} - \alpha|u - v| - e^{-\alpha|u-v|}}{2} \quad (3.30)$$

Onde:

- α representa a taxa de convergência (assimptótica);
- $\omega = \ln(1 + UFR)$;
- u representa o vetor das maturidades observadas;
- v representa o vetor das maturidades a interpolar;

Veja-se que no ponto $u = v$, a função H é contínua nas primeiras duas derivadas ²¹.

Modelo de *Smith-Wilson* na forma matricial

Designemos o vetor \mathbf{u} de m observações de durações até à maturidade dos instrumentos financeiros, bem como a matriz $m \times n$ \mathbf{C} dos CFs do n instrumentos financeiros:

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \quad c_{ij} \geq 0$$

²¹Para mais detalhes sobre a metodologia de extrapolação, ver EIOPA (2024d).

Considere-se ainda a aplicação de funções não lineares a vetores:

$$\mathbf{d} = \exp[-\omega \mathbf{u}] = \begin{bmatrix} e^{-\omega u_1} \\ e^{-\omega u_2} \\ \vdots \\ e^{-\omega u_m} \end{bmatrix} \quad p[\mathbf{u}] = \begin{bmatrix} p(u_1) \\ p(u_2) \\ \vdots \\ p(u_m) \end{bmatrix} \quad \sinh[\alpha \mathbf{u}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e^{\alpha u_1} - e^{-\alpha u_1} \\ e^{\alpha u_2} - e^{-\alpha u_2} \\ \vdots \\ e^{\alpha u_m} - e^{-\alpha u_m} \end{bmatrix}$$

Adicionalmente, estabeleça-se uma matriz auxiliar $\mathbf{Q} = \text{diag}(\mathbf{d})\mathbf{C} = \mathbf{d}_\Delta \mathbf{C}$, tal que $\mathbf{d}_\Delta \mathbf{1} = \mathbf{d}$ e

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} = \mathbf{Q}'\mathbf{1} = \mathbf{C}'\mathbf{d}$$

\mathbf{b} é também, por sua vez, uma matriz auxiliar, \mathbf{p} contém os n preços de mercado dos n instrumentos financeiros que comparar-se-ão aos m valores atuais da matriz $p[\mathbf{u}]$.

Matriz Wilson e H

As matrizes definidas anteriormente permitem definir desta forma as matrizes:

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{W}(\mathbf{v}, \mathbf{u}) = \begin{bmatrix} W(v_1, u_1) & W(v_1, u_2) & \dots & W(v_1, u_m) \\ W(v_2, u_1) & W(v_2, u_2) & \dots & W(v_2, u_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W(v_k, u_1) & W(v_k, u_2) & \dots & W(v_k, u_m) \end{bmatrix} = \mathbf{W}'(\mathbf{u}, \mathbf{v})$$

$$\mathbf{W}(v, \mathbf{u}) = \begin{bmatrix} W(v, u_1) & W(v, u_2) & \dots & W(v, u_m) \end{bmatrix} = \mathbf{W}'(\mathbf{u}, v)$$

$$\mathbf{W}(\mathbf{u}, \mathbf{u}) = \mathbf{W} = \mathbf{d}_\Delta \mathbf{H} \mathbf{d}_\Delta = \mathbf{H} \circ \mathbf{d} \mathbf{d}'$$

Função do valor atual de Smith-Wilson

EIOPA (2024d) estabelece na própria metodologia que a *discount pricing function* pode ser expressa da seguinte forma:

$$p(v) = e^{-\omega v} + \mathbf{W}(v, \mathbf{u})\mathbf{C}\mathbf{b} = e^{-\omega v} + e^{-\omega v} \mathbf{H}(v, \mathbf{u})\mathbf{Q}\mathbf{b} \quad (3.31)$$

Daqui resulta:

$$p[\mathbf{u}] = \exp[-\omega \mathbf{u}] + \mathbf{W}\mathbf{C}\mathbf{b} = \mathbf{d} + \mathbf{W}\mathbf{C}\mathbf{b} = \mathbf{d} + \mathbf{d}_\Delta \mathbf{H} \mathbf{d}_\Delta \mathbf{C}\mathbf{b} = \mathbf{d} + \mathbf{d}_\Delta \mathbf{H} \mathbf{Q}\mathbf{b} \quad (3.32)$$

E pré-multiplicando com a transposta de \mathbf{C} , resulta em n equações lineares em \mathbf{b} :

$$\mathbf{C}'p[\mathbf{u}] = \mathbf{C}'\mathbf{d} + \mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C}\mathbf{b} = \mathbf{q} + \mathbf{Q}'\mathbf{H}\mathbf{Q}\mathbf{b} \quad (3.33)$$

Com \mathbf{p} a contraparte de mercado observada de $\mathbf{C}'\mathbf{p}[\mathbf{u}]$

$$\mathbf{p} = \mathbf{q} + \mathbf{Q}'\mathbf{H}\mathbf{Q}\mathbf{b} \quad (3.34)$$

Obtendo, desta maneira, a solução de \mathbf{b} :

$$\mathbf{b} = (\mathbf{Q}'\mathbf{H}\mathbf{Q})^{-1} (\mathbf{p} - \mathbf{q}) \quad (3.35)$$

Substituindo na equação (3.31) a série dos valores de $p(v)$, para a maturidades v , tal que $v \in \{1, 2, \dots, 150\}$, é obtida a curva RFR.

3.4 Exercícios de *Stress Test* a nível europeu

As especificações técnicas descritas pela EIOPA (2024a) consagram uma abordagem granular na avaliação do balanço das entidades, no âmbito dos exercícios de ST numa lógica *Bottom-up*.

Não obstante o foco desta ferramenta assentar numa abordagem de natureza *Top-down*, importa reconhecer que a similitude e o nível de desagregação da informação disponível dos ativos que compõem o balanço das entidades, permite, em determinadas rubricas, a integração de componentes metodológicas próprias da abordagem *Bottom-up* da EIOPA (2024a), designadamente através da identificação do tipo de ativo, *Complementary Identification Code* (CIC); do sector económico do emitente, *Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne* (NACE); e da sua qualidade de creditícia, *Credit Quality Step* (CQS).

Títulos obrigacionistas

No caso dos títulos obrigacionistas, de acordo com o parágrafo 129º das especificações técnicas, um retorno (ou em inglês *Yield*) do ativo é decomposto por uma componente *Swap* e um *spread* no instante de tempo t (EIOPA, 2024a):

$$\text{Bond Yield}_t = \text{SWAP}_t + \text{spread}_t \quad (3.36)$$

No caso particular de um choque no *SWAP* EUR e no *spread* de uma determinada obrigação, de maturidade t , o retorno varia da seguinte maneira:

$$\Delta \text{Bond Yield}_t = \Delta \text{SWAP}_t + \Delta \text{spread}_t \quad (3.37)$$

Ora, uma variação do nível *Swap* afeta, por conseguinte, a alteração da estrutura temporal das curvas taxas de juro, RFR, obtidas através da metodologia oficial da EIOPA, descritas na secção 3.3.5.

A variação do valor de mercado de uma determinada obrigação, é dada pela seguinte expressão:

$$\Delta SII_t^{\text{Bond}} = -\Delta \text{Bond Yield}_t \times MD \times SII_t^{\text{Bond}} \quad (3.38)$$

Onde:

- ΔSII_t^{Bond} representa a variação no valor de mercado da obrigação;
- MD representa a duração modificada;
- SII_t^{Bond} representa o valor de mercado da obrigação à data de referência.

Restantes ativos

Por outro lado, os outros ativos diferentes de títulos de rendimento fixo, terão uma variação no seu valor de mercado, ΔSII_t^{Asset} dada pela seguinte expressão:

$$\Delta SII_t^{Asset} = \Delta Shock_t \times SII_t^{Asset} \quad (3.39)$$

Onde:

- ΔSII_t^{Assets} representa a variação no valor de mercado de um ativo diferente de um título de rendimento fixo;
- $\Delta Shock_t$ define o choque aplicado no ativo diferente de um título de rendimento fixo, e;
- SII_t^{Asset} representa o valor de mercado do ativo à data de referência diferente de um título de rendimento fixo.

3.4.1 Metodologia de choques aos ativos, de acordo com a EIOPA

A EIOPA, na sua documentação técnica relativa aos ST *Bottom-up*²² de 2024, define que os choques podem ser desagregados da seguinte forma:

Choques nos títulos obrigacionistas

Através das taxas *Swap*, onde os valores devem ser interpolados em função da maturidade, aplicam-se os choques de acordo com a equação (3.37) e a equação (3.38), para os seguintes ativos:

- Dívida soberana, onde os valores devem ser interpolados em função da maturidade do título soberano;
- Dívida privada, que é chocada em função do setor da entidade emitente- NACE(financeiro ou não-financeiro), e o respetivo CQS, e ;
- Obrigações cobertas, de acordo com o seu CQS;
- Empréstimos, hipotecas e *Residential Mortgage-Backed Securities* (RMBS), de acordo com o seu CQS.

²²Ver a documentação EIOPA (2024a) para mais detalhes.

Choques nas ações e imobiliário: Aplicam-se os choques de acordo com a equação (3.39):

- Choques em títulos acionistas, dependendo de se tratar de participações cotadas em bolsa (aberto), ou, caso contrário, de capital fechado;
- Choques nos ativos imobiliários, dependendo de se tratar de uma propriedade "residencial" ou "comercial e escritório";

Choques nos fundos de investimento: Utiliza-se uma abordagem *Look-through approach* (LTA), isto é, uma aplicação dos choques aos ativos subjacentes aos fundos de investimento.

Choques na Infraestrutura: Semelhante aos choques descritos acima, mas numa ótica menos granular. Divido por "Títulos de dívida", onde se aplica a expressão (3.38), "Participações" e "Outros" com a equação (3.39).

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA TOP-DOWN PARA O STRESS TEST

A ferramenta de ST, desenvolvida numa lógica *Top-down*, possibilita a avaliação dos impactos no setor segurador nacional perante cenários adversos, a partir de indicadores relevantes calculados com base nas componentes do balanço económico das empresas de seguros.

Um cenário é composto por um total de 15 choques diferentes, cada um arrumado numa Tabela. Das tabelas que constituem um cenário: 10 estão afetas a choques de mercado, isto é todo e qualquer tipo de choque que afeta a posição de Solvência II dos ativos que compõem o balanço das seguradoras, e 4 são direcionados aos choques específicos das seguradoras, afetando diretamente as responsabilidades das entidades. Por último, existe ainda uma Tabela exclusivamente dos parâmetros do modelo de *Smith-Wilson* para a dedução da curva RFR, refletindo as alterações nas expectativas de longo prazo.

Como resultado, é fornecido a posição detalhada das rubricas provenientes do balanço económico (ver Figura 2.1), num Cenário base, num Cenário chocado, e a respetiva variação absoluta e percentual.

Conceptualmente, o esquema de choques resume-se pela Figura 4.1:

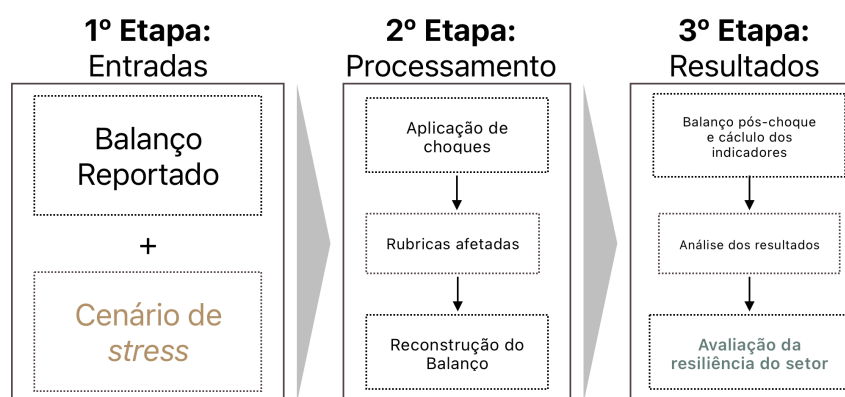


Figura 4.1: Desenho conceptual da ferramenta.

Porém, sendo a ferramenta de ST na abordagem *Top-down* desenvolvida no contexto do setor segurador nacional, a sua configuração reflete as especificidades nacionais, não integrando, por exemplo, mecanismos como o *volatility adjustment* ou o *matching adjustment*, cuja relevância é distinta no panorama europeu.

Este capítulo apresenta, em primeiro lugar, o esquema geral dos choques definidos, seguindo-se a descrição da metodologia subjacente à ferramenta de ST desenvolvida numa abordagem *Top-down*. Por fim, delimitam-se os pressupostos e expõem-se as simplificações e limitações inerentes ao seu desenho.

4.1 Esquema geral de choques

A Figura 4.2, inspirada na Figura 2.1 que retrata o balanço económico das seguradoras, oferece uma visão holística do exercício de ST na abordagem *Top-down*. À esquerda estão representados os choques de mercado e, à direita, os choques específicos do setor segurador, permitindo uma leitura integrada do impacto global sobre o balanço económico das seguradoras.

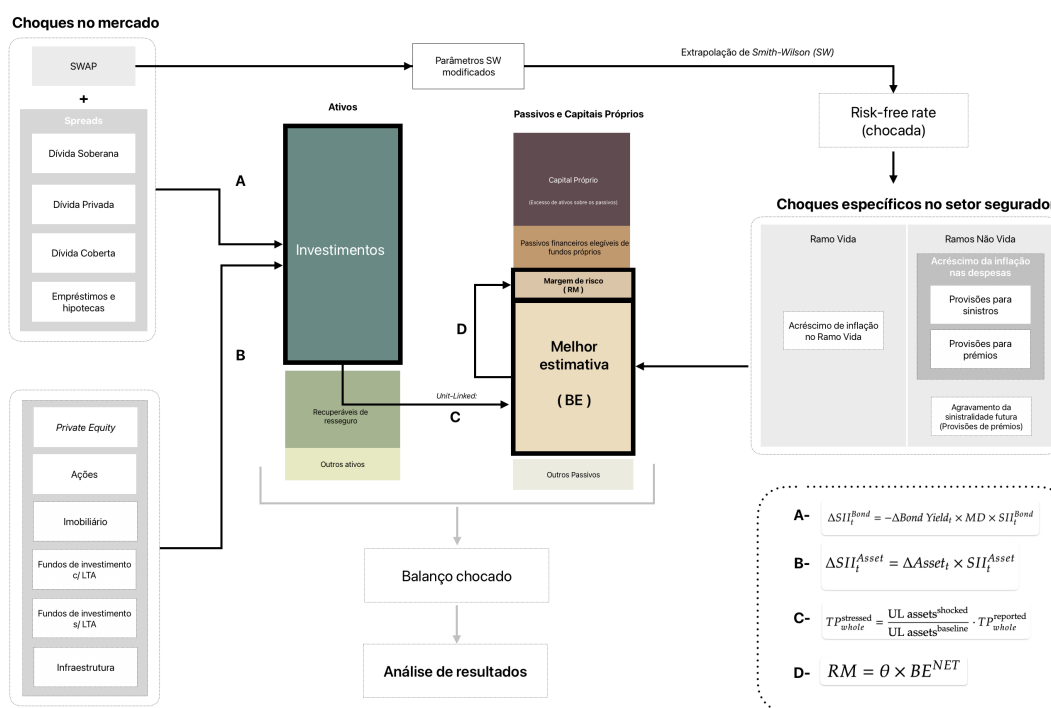


Figura 4.2: Esquema geral de choques para obter o novo balanço.

Fonte: Elaboração própria, adaptado da Figura 2.1.

Note-se que da Figura 4.2, é possível inferir que os choques no mercado devem ser os primeiros a serem aplicados, uma vez que os choques específicos no setor segurador estão dependentes dos resultados dos primeiros. Por um lado, a taxa de juro RFR dos choques depende dos choques às taxas *Swaps* e, por outro, a variação das TP (calculadas como um

todo) na linha de negócio UL depende das variações dos ativos subjacentes ao produto UL.

4.2 Fonte de dados

A reconstrução dos balanços económicos das seguradoras foi alimentada de dados provenientes dos reportes regulares de Solvência II, ou seja os QRTs, nomeadamente os QRS e ARS.

A identificação das rubricas nos QRTs é feita de acordo com a mais recente taxonomia, nomeadamente a versão 2.8.2 *Hotfix*²³, onde são agrupadas por *templates* S.XX.XX.XX e caracterizada pela linha RXXX e coluna CXXX. Por exemplo S.02.01.01.01.R0500.C0010 é exclusivamente inerente ao valor total (de Solvência II) dos ativos de uma empresa de seguros²⁴.

Complementarmente, a dedução da estrutura de juro, RFR, é proveniente da informação disponibilizada pela EIOPA²⁵.

A principal componente de estudo são os balanços das entidades, que de acordo com a presente taxonomia, são reportados no *template* S.02.01.01.01, e o valor de Solvência II posiciona-se na coluna C0010²⁶.

Contudo, no contexto da aplicação de choques, foi necessário aceder a dados mais granulares, a partir dos quais se identificaram as rubricas de interesse do balanço. No que respeita à informação proveniente da exposição dos ativos, recorreu-se aos *templates* S.06.02.01.01 e S.06.03.01.01, isto é, à lista de ativos e à composição dos fundos de investimento, respetivamente. Relativamente aos choques específicos no setor segurador, o detalhe de informação das responsabilidades das entidades foi consultada nos *templates*:

- S.12.01 - Provisões Técnicas do Ramo Vida;
- S.13.01 - Projeções dos CF, em termos brutos, Ramo Vida;
- S.17.01 - Provisões Técnicas dos Ramos Não Vida;
- S.18.01 - Projeções dos CF, em termos brutos, melhor estimativa dos Ramos Não Vida, e;
- S.19.01 - Sinistros dos Ramos Não Vida (triângulos de *run-off*).

Em suma, os QRTs identificados constituem a base de informação necessária para a reconstrução dos balanços económicos das empresas de seguros após aplicar o Cenário

²³As atualizações das taxonomias podem ser consultadas em https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/supervisory-reporting-dpm-and-xbrl_en.

²⁴Ver anexo I.1.

²⁵A EIOPA publica mensalmente as taxas RFR: https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/risk-free-interest-rate-term-structures_en.

²⁶Ver anexo I.1 para os detalhes das rubricas.

chocado, assegurando o nível de detalhe requerido tanto para a aplicação dos choques aos ativos como aos passivos. De seguida, apresenta-se, portanto, a metodologia a aplicar na componente dos ativos e de seguida nos passivos, bem como os pressupostos e as limitações implícitas a cada componente.

4.3 Metodologia de choques na parte dos ativos

A informação reportada nos QRTs em relação à carteira de ativos (*template* S.06.02.01.01) apresenta um nível de granularidade suficientemente elevado para que a o cenário de choques de mercado definido pela EIOPA (2024c), e consequentemente a metodologia na abordagem *Bottom-up*, sumariamente descrita na secção 3.4.1, possa ser adaptada e aplicada no contexto de uma abordagem *Top-down*.

4.3.1 Pressupostos

Antes de se avançar para a descrição dos passos metodológicos, é indispensável explicitar os pressupostos que sustentam a metodologia de aplicação de choques aos ativos. Estes pressupostos definem o enquadramento conceptual do exercício e asseguram que os resultados obtidos refletem unicamente o cenário aplicado. Em primeiro lugar, assume-se que os choques de mercado têm efeitos instantâneos e simultâneos sobre os valores de Solvência II dos ativos. Adicionalmente, considera-se que os portefólios das entidades permanecem estáticos, não ocorrendo qualquer realocação de capitais como medida de mitigação de risco.

Relativamente aos títulos de dívida cuja *Duração Modificada* não seja reportada, estes são assumidos como tendo uma duração igual à média das durações da carteira por entidade, e grupo emissor (quando disponível). No que respeita aos ativos sem informação sobre o país emissor, procede-se da seguinte forma: para ativos imobiliários, considera-se o país de custódia; na ausência deste, assume-se Portugal. Para os restantes ativos, estes são agrupados no conjunto de economias em desenvolvimento, ao qual é aplicado um choque único, sendo a classificação dos países baseada na tipologia definida pelo *International Monetary Fund* (IMF)²⁷.

De modo a salvaguardar a eficiência computacional, a precisão máxima na interpolação por *splines* cúbicos e na determinação das maturidades²⁸ é fixada, por defeito em 0,01 anos, sempre que não seja especificado valor distinto.

Por último, outras classes de ativos não especificadas (por exemplo CIC 0 e CICX²⁹) e produtos derivados devem ser mantidos em relação ao valor de base, por outras palavras, isentas de choques.

²⁷Ver a classificação em <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2023/10/10/world-economic-outlook-october-2023>

²⁸A maturidade é a diferença entre a data de maturação e data de referência.

²⁹X denota a categoria CIC com X=1,2,...,9.

Estabelecidos estes pressupostos, passa-se às etapas relativas aos choques de mercado para os ativos nas carteira, iniciando nos choques aos fundos de investimento e de seguida aos choques dos restantes ativos.

4.3.2 Metodologia de choques nos fundos de investimento

Uma tipologia de ativos que se destaca ao aplicar os choques de mercado, é a dos fundos de investimento, ou *Collective Investment Undertakings* (CIUs). Representados pelos códigos CIC 4, que para efeitos de choques desconsidera-se o CIC 49 (como referido na secção 4.3.1), carecem de uma análise da sua composição através do *template* S.06.03.01.01, ou seja, este ativo, em especial, é sujeito a um LTA.

Contudo, durante o processo empírico da construção da ferramenta de ST na abordagem *Top-down*, observou-se que existem fundos de investimento inseridos no *template* S.06.02.01.01 mas ausentes no *template* S.06.03.01.01. Esta configuração constituiu uma limitação no processo de LTA, pelo que se optou por considerar outra Tabela de choques afeta aos CIUs sem a possibilidade de um LTA, dependendo da sua categoria CIC³⁰. A estes fundos aplica-se a expressão (3.39).

Mesmo nos casos em que existe LTA, verifica-se para um determinado ativo j de um fundo de investimento i uma disparidade entre os montantes reportados nos dois *templates*, conforme ilustrado em (4.1):

$$\sum_j \text{Total amount}_{ij}^{S.06.03.01.01} \neq \sum_i \text{Solvency II value}_i^{S.06.02.01.01} \quad (4.1)$$

Assim, a aplicação dos choques deve ser proporcional ao peso de cada ativo na composição do fundo, ou seja, de acordo com a percentagem que cada ativo representa no valor global do fundo. No entanto, dado que o *template* S.06.03.01.01 apresenta uma granularidade nos dados limitada — por exemplo, ausência de *Duração Modificada* e de maturidade nos títulos de dívida (soberana ou privada) — não foi possível usar as expressão (3.37) e a expressão (3.38). Por esse motivo, optou-se por tratar todos os choques desta categoria de acordo com a equação (3.39).

Sumariamente, os passos metodológicos na aplicação de choques aos fundos de investimentos através do LTA são:

1. Definir os choques a aplicar aos ativos dos fundos de investimento (com LTA) de acordo com a tabela representada na Figura A.9;
2. No *template* S.06.03.01.01, aplicar os choques, através da expressão (3.39), definidos no passo anterior em função do ativo subjacente à categoria definida pela coluna S.06.03.01.01.C0030³¹, obtendo $\text{Total amount}_{ij}^{shocked}$;

³⁰A Tabela sem LTA é representada pela Figura A.10 no apêndice do documento.

³¹Ver disposição do *template* S.06.03.01.01 na Figura I.2.

3. Calcular o índice relativo, κ_i , de um determinado CIU i :

$$\kappa_i = \frac{\sum_j \text{Total amount}_{ij}^{shocked}}{\sum_j \text{Total amount}_{ij}^{S.06.03.01.01}} \quad (4.2)$$

4. Na lista de ativos, i.e o *template* S.06.02.01.01, ajustar os novos valores chocados de Solvência II dos fundos de investimento, da seguinte forma:

$$\text{Solvency II value}_i^{shocked} = \kappa_i \times \text{Solvency II value}_i^{S.06.02.01.01} \quad (4.3)$$

Obtém-se assim o valor chocado de Solvência II de um fundo de investimento através do LTA.

4.3.3 Metodologia de choques em ativos, exceto fundos de investimento

No caso dos ativos remanescentes nas carteiras das seguradoras, a aplicação dos choques depende da natureza do ativo em questão, nomeadamente se este está classificado como um investimento em infraestrutura. De acordo com a taxonomia definida no *template* S.06.02.01.02, coluna C0300, os ativos de infraestrutura correspondem a instrumentos financeiros emitidos com o propósito de financiar projetos de utilidade pública ou desenvolvimento económico, como transportes, energia ou comunicações. Esta distinção permite aplicar choques diferenciados, tendo em conta o perfil de risco específico associado a este tipo de investimento. Assim, nos passos seguintes, procede-se, em primeiro lugar, à descrição dos choques a aplicar às taxas *Swap*, em segundo aos títulos de rendimento fixo, em terceiro às ações e imobiliário, e por último apresenta-se resumidamente os choques aos ativos ligados aos investimentos em infraestrutura.

Em vista disso, a carteira de ativos é consecutivamente chocada da seguinte forma:

1. Definir os choques às taxas de *Swap*³² em função da maturidade, interpolando através das técnicas de *splines* cúbicos³³ até ao ano 20 (inclusive)³⁴;
2. Definir os choques de *spread* dos títulos de dívida e aplicar à lista de ativos seguindo o mapeamento definido na Tabela 4.1;

³²Choques às taxas *Swap* de acordo com a Tabela A.2.

³³Ver secção 3.2.1.

³⁴Computacionalmente, é necessário interpolar até ao ano 21 de forma a englobar o ano 20.

Choques <i>Spread</i>	CIC	Exceções CIC	Granularidade
Dívida soberana ^a	1	16, 19 ⁱ	Região e Maturidade ^b
Dívida Privada ^{*c}	2, 5 e 6	26, 27 ⁱⁱ ; 29, 59 e 69	Região, CQS e Setor ^{**}
Dívida coberta ^d	16, 26, 27	—	Região e CQS
Hipotecas e Empréstimos ^e	8	82, 85, 86 e 89 ⁱⁱⁱ	Região e CQS

^a Ver Tabela A.3.

^b Deve ser usado a interpolação por *splines* cúbicos.

^c Ver Tabela A.4.

^d Ver Tabela A.5.

^e Ver Tabela A.6.

* Obrigações de empresas, e títulos de dívida estruturados e garantidos com colateral.

** Setor financeiro ou não financeiro.

ⁱ De acordo com a categorização CIC, apresentada na Tabela I.1, um ativo de categoria CIC 16 é uma dívida coberta.

ⁱⁱ Na categoria CIC 2 os CIC 26 e 27, como se mostra na Tabela I.1, trata-se de uma obrigação coberta.

ⁱⁱⁱ Exclui-se empréstimos com garantias, que têm um risco muito inferior das restantes.

Tabela 4.1: Classificação dos choques de *spread* por tipo de dívida.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

3. Calcular a variação dos títulos de dívida pelas equações (3.37) e (3.38);
4. Em relação aos ativos inerentes às ações e aos ativos imobiliários, aplica-se os choques de acordo com a classificação da Tabela 4.2;

Choques	Tipologia	CIC	Exceções CIC
Ações ^a	Cotadas em bolsa	3	XL/XT 3 e 39
	Não cotadas em bolsa	XL/XT 3	XL/XT 39
Imobiliário ^b	Residencial	92	
	Comercial e Escritório	91 e 95	
	Residencial / Comercial e Escritório	93, 94 e 96	

^a Ver Tabela A.7.

^b Ver Tabela A.8.

Tabela 4.2: Classificação dos choques de ações e imobiliário.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

5. Através da equação (3.39) calcular a variação de cada ativo presente na Tabela 4.2.

Em relação aos investimentos em infraestrutura, a metodologia segue a mesma lógica que foi descrita, mas numa ótica menos granular. Aplica-se a expressão (3.38) aos títulos de rendimento fixo, e a expressão (3.39) às ações e aos restantes ativos³⁵.

4.3.4 Limitações e simplificações nos choques aos ativos

A abstração utilizada nesta metodologia, por mais refinada que seja, não deixa de ser uma tentativa de traduzir, de forma imperfeita, a complexidade do mundo financeiro.

³⁵Na ferramenta designa-se por "outros".

Portanto, todo e qualquer modelo traz consigo as marcas das escolhas e simplificações que o tornam viável, e por isso, aquando da interpretação dos resultados, importa mencionar as suas limitações.

Não obstante o impacto potencial das obrigações de muito longo prazo, cuja presença nas carteiras de investimento é residual³⁶, a primeira simplificação adotada mostrou-se ser a adaptação às características na moeda EUR. Por outras palavras, os choques às taxas *Swap*³⁷ e às obrigações soberanas³⁸, com maturidades superiores ao LLP desta moeda, isto é 20 anos, são tratados da mesma forma que o patamar máximo de 20 anos. Esta simplificação, na esfera da implementação, permite uniformizar os *inputs* da ferramenta e, por conseguinte, reduzir significativamente o esforço computacional necessário. Ao limitar a maturidade máxima a 20 anos, evita-se o crescimento exponencial do número de pontos de interpolação gerados pela técnica de *splines* cúbicos, descrito na secção 3.2.1, (com uma precisão de 0,01 anos), que poderia resultar em milhares de linhas adicionais em títulos de dívida de muito longo prazo.

Adicionalmente, a metodologia não considera o efeito da convexidade no choque dos títulos de dívida. Tal omissão constitui uma simplificação relevante, na medida em que a convexidade introduz uma correção de segunda ordem na sensibilidade do preço face a variações na taxa de juro. Não obstante, a decisão de negligenciar este fator justifica-se, por um lado, a informação necessária para o cálculo não se encontrar disponível nos QRTs, por outro, a sua exclusão tem impacto limitado no horizonte de choques considerados, sobretudo dado o peso residual de obrigações de muito longo prazo nas carteiras analisadas.

Outro aspeto relevante a ser ressaltado, no âmbito dos choques no lado dos ativos, é a informação relativamente à composição dos fundos de investimento. Ao constatar que a estrutura desta informação é incompatível com a lógica aplicada na carteira de ativos, uma vez que carece de informações como a *Duração Modificada* e a maturidade de uma determinada obrigação, a metodologia vê-se, conseqüentemente, limitada, refletindo-se numa menor granularidade e exatidão dos resultados.

De igual modo, para a categoria CIC 95 — “*Plant and Equipment for own use*” — não se estabelece distinção entre edifícios e equipamentos de uso próprio, o que condiciona a granularidade da análise e a interpretação dos impactos. Dada esta limitação, a presente metodologia considera esta categoria integralmente, i.e 100%, como ativos imobiliários de categoria Comercial e Escritório.

Em suma, estas limitações não invalidam a metodologia, mas antes refletem a necessidade de conciliar a fiabilidade dos resultados e com a viabilidade computacional.

³⁶Considerou-se ser títulos de dívida de muito longo prazo, as que apresentam maturidades superiores a 20 anos. Neste caso, a carteira de dívidas é composta por apenas 6% à data de referência.

³⁷Na ferramenta, a Tabela dos choques nas *Swaps* é representada pela Figura A.2.

³⁸Ver Figura A.3.

4.4 Metodologias de choques nas rubricas dos passivos

A definição da metodologia de aplicação de choques às responsabilidades das seguradoras levanta sérios desafios, sobretudo pela natureza imperfeita e limitada da informação disponível. Os *templates* S.13.01.01.01 e S.18.01.01.01 não foram concebidos com granularidade suficiente para suportar exercícios automatizados deste tipo: fornecem CFs até ao 30.º ano e, a partir daí, agregam valores em blocos (*lump-sum*) que dificultam a projeção coerente dos impactos.

Nos Ramos Não Vida, o problema agrava-se com a ausência de distinção por *Line of Business* (LoB). Modelar estas inconsistências de forma automatizada, sem sacrificar coerência com Solvência II, exige soluções flexíveis, adaptáveis e conscientes das limitações impostas.

4.4.1 Pressupostos

A aplicação de choques às responsabilidades assentou em pressupostos metodológicos que emergem não de conveniência, mas da própria natureza dos dados disponíveis. A granularidade limitada dos CFs, a heterogeneidade entre entidades e o reporte agregado para horizontes superiores a 30 anos criam constrangimentos que tornam necessária a introdução de aproximações e ajustamentos para que o exercício seja exequível e coerente com o enquadramento prudencial. A projeção dos CFs em maturidades superiores a 30 anos está sujeita a incerteza estrutural, dado que assenta em aproximações necessárias face à ausência de granularidade nos dados reportados.

Os choques são assumidos como independentes e estritamente exógenos, pressupondo-se que as entidades não ajustam as suas posições ou estratégias em resposta ao cenário adverso. Esta abordagem permite isolar o impacto direto dos choques sobre as rubricas do balanço, garantindo consistência no exercício face às limitações dos dados disponíveis.

Segundo o autor Gillespie et al. (2017), as medidas transitórias nas TP, ou *Transitional Measure on Technical Provisions*, permitem às empresas de seguros suavizar o impacto da passagem do enquadramento Solvência I para Solvência II relativamente a responsabilidades constituídas antes de 1 de janeiro de 2016 e um relaxamento gradual até à data de 1 de janeiro de 2032. Tratando-se, portanto, de um alívio regulatório temporário e não uma exposição económica real, as medidas transitórias não são alvo de choque no exercício de ST. Complementarmente, o mesmo autor indica que recalcular estas medidas implicam desafios relevantes, razão pela qual as autoridades de supervisão permitem aproximações e critérios de proporcionalidade. Assim, a aplicação de choques sobre este mecanismo não acrescentaria informação útil sobre a resiliência do setor, introduzindo antes efeitos artificiais, incoerentes com a natureza transitória da medida.

4.4.2 Choques na estrutura temporal das taxas de juro

Os choques nas taxas *Swap*, descritas na secção 4.3.3, têm repercussões, não apenas em títulos de dívida, mas também na estrutura RFR. Efetivamente, a suavização e extrapolação de *Smith-Wilson* das curvas RFR baseiam-se nas taxas *Swap*, ver secção 3.3.5.2.

Percebe-se ainda que embora o aumento das taxas *Swap* tenham efeitos negativos na cotação dos ativos das entidades, estas têm um efeito positivo na estrutura RFR, e por sua vez, causam uma diminuição do valor atual das responsabilidades.

A Figura 4.3 representa esquematicamente a metodologia de obtenção da RFR pela metodologia original da EIOPA e a metodologia desenvolvida (ou adaptada) para obtenção da RFR para este exercício, com base na original:

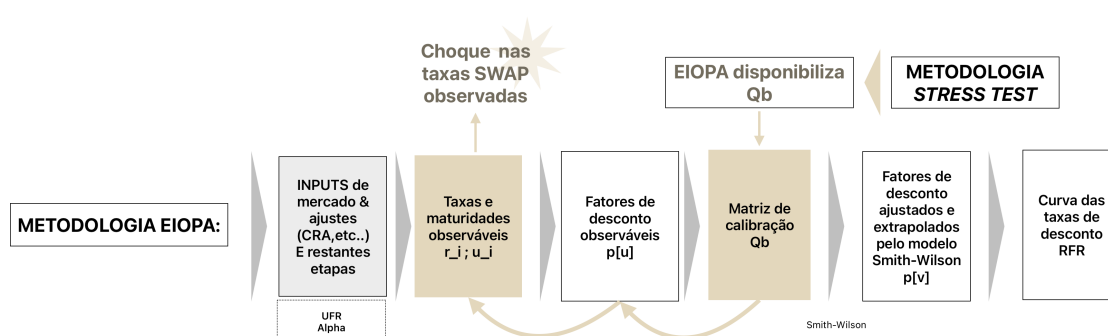


Figura 4.3: Esquema resumo da metodologia de choques na estrutura temporal da taxa de juro.

Fonte: Elaboração própria, com base em EIOPA (2024d).

A metodologia de choques apresentada na Figura 4.3 descreve-se pelos seguintes passos:

1. Após aplicar os choques *Swap*, descritos na secção 4.3, deve-se interpolar por *splines* cúbicos³⁹ para as maturidades observadas, *u* e extrair a o vetor de calibração, *Qb*:

Ficheiro: EIOPA_RFR_data_Qb_SW.xlsx
Folha: SW_Qb_no_VA

PARAMETERS OF THE SMITH-WILSON EXTRAPOLATION METHOD											
BASIC RISK FREE INTEREST RATE TERM STRUCTURE											
	EUR	AT	BE	BG	HR	CY	CZ				
1	0,0000	1 - 1,0000	1 - 2,0000	1 - 2,0000	1 - 0,0000	1 - 0,0000	1 - 11,4000				
2	0,0000	2 - 2,0000	2 - 2,0000	2 - 2,0000	2 - 0,0000	2 - 0,0000	2 - 11,7000				
3	2,1706	3 - 2,1706	3 - 2,1706	3 - 2,1706	3 - 2,1706	3 - 2,1706	3 - 2,5777				
4	3,0602	4 - 3,0602	4 - 3,0602	4 - 3,0602	4 - 2,7400	4 - 3,0602	4 - 3,0204				
5	3,0576	5 - 3,0576	5 - 3,0576	5 - 3,0576	5 - 3,0576	5 - 3,0576	5 - 3,2676				
6	3,2000	6 - 3,2000	6 - 3,2000	6 - 3,2000	6 - 3,2000	6 - 3,2000	6 - 3,2000				
7	0,0000	7 - 0,0000	7 - 0,0000	7 - 0,0000	7 - 0,0000	7 - 0,0000	7 - 0,0000				
8	1,0000	8 - 1,0000	8 - 1,0000	8 - 1,0000	8 - 1,0000	8 - 1,0000	8 - 0,0000				
9	2,0000	9 - 2,0000	9 - 2,0000	9 - 2,0000	9 - 2,0000	9 - 2,0000	9 - 0,0000				
10	4,2500	10 - 4,2500	10 - 4,2500	10 - 4,2500	10 - 4,2500	10 - 4,2500	10 - 0,0000				
11	4,2500	11 - 4,2500	11 - 4,2500	11 - 4,2500	11 - 4,2500	11 - 4,2500	11 - 0,0000				
12	4,2600	12 - 4,2600	12 - 4,2600	12 - 4,2600	12 - 4,2600	12 - 4,2600	12 - 0,0000				
13	2,4000	13 - 2,4000	13 - 2,4000	13 - 2,4000	13 - 2,4000	13 - 2,4000	13 - 0,0000				
14	0,0000	14 - 0,0000	14 - 0,0000	14 - 0,0000	14 - 0,0000	14 - 0,0000	14 - 0,0000				
15	0,0000	15 - 0,0000	15 - 0,0000	15 - 0,0000	15 - 0,0000	15 - 0,0000	15 - 0,0000				
16	0,0000	16 - 0,0000	16 - 0,0000	16 - 0,0000	16 - 0,0000	16 - 0,0000	16 - 0,0000				
17	0,0000	17 - 0,0000	17 - 0,0000	17 - 0,0000	17 - 0,0000	17 - 0,0000	17 - 0,0000				
18	0,0000	18 - 0,0000	18 - 0,0000	18 - 0,0000	18 - 0,0000	18 - 0,0000	18 - 0,0000				
19	0,0000	19 - 0,0000	19 - 0,0000	19 - 0,0000	19 - 0,0000	19 - 0,0000	19 - 0,0000				
20	2,7974	20 - 2,7974	20 - 2,7974	20 - 2,7974	20 - 2,7974	20 - 2,7974	20 - 2,7974				

u Qb

Figura 4.4: Exemplo EUR- Matriz *Qb* e vetor *u* das maturidades observadas, à data de 28 de fevereiro de 2025.

Fonte: EIOPA, ficheiros oficiais de *Risk-Free Interest Rate*. Ver nota de rodapé 25.

³⁹Ver secção 3.2.1 relativamente aos *splines* cúbicos.

A Figura 4.4, bem como a Figura 4.5 exemplifica a extração dos parâmetros do modelo de *Smith-Wilson* relevantes para a construção da RFR;

2. Identificar os parâmetros do método *Smith-Wilson*:⁴⁰;

- UFR⁴¹;
- LLP;
- *Smith-Wilson* (α);
- *Credit Risk Adjustment* (CRA);

Figura 4.5: Exemplo EUR- Parâmetros do modelo de extrapolação de *Smith-Wilson* utilizados pela EIOPA no cálculo da estrutura temporal *Risk-Free Rate*.

Fonte: EIOPA, ficheiros oficiais de *Risk-Free Interest Rate*. Ver nota de rodapé 25.

O vetor v correspondente às maturidades a extrapolar, neste contexto será $v = [1, 2, 3, \dots, 150]^T$

No caso do EUR $u = [1, 2, 3, \dots, 20]^T$ e $Qb = \begin{bmatrix} -6.16439433 & \dots & 3.70438351 \end{bmatrix}^T$

3. Calcular o "coração" de Wilson, H , i.e $H(u, v)$ através da expressão (3.30) tomando $v = u$. Obtendo $H = H(u, u)$;
4. Calcular os vetores d e $d_\Delta = \text{diag}(d)$, ver secção 3.3.5;
5. Calcular os fatores de desconto observáveis ou reais de mercado, $p[u]$, dados pela expressão (3.32);
6. Calcular as taxas de desconto observáveis de mercado, r_i que em tempo discreto são obtidos pela expressão (4.5), e os fatores de desconto $p(u_i)$ da matriz $p[u] = [p(u_1), p(u_2), \dots, p(u_m)]^T$ são dados pela equação (4.4):

$$p(u_i) = \frac{1}{(1 + r_i)^{u_i}} \tag{4.4}$$

$$r_i = \left(\frac{1}{p(u_i)} \right)^{\frac{1}{u_i}} - 1 \tag{4.5}$$

⁴⁰Não são alterados, a não ser que seja explicito através dos *inputs* da Tabela A.1.

⁴¹É uma taxa publicada anualmente pela EIOPA, exemplo em 2025 é de 3.3%.

7. Aplicar o choque aditivo *Swap*, i.e, $r_i^{shocked} = r_i + \Delta SWAP$;
8. Recalcular os novos fatores de desconto, $p[u]^{shocked}$ através da equação (4.4) com as novas taxas $r_i^{shocked}$;
9. Recalibrar o vetor Qb , i.e obter $Qb^{shocked}$, resolvendo a seguinte equação:

$$HQb^{shocked} = d_{\Delta}^{-1}(p[u]^{shocked} - d) \quad (4.6)$$

10. Recalcular $p(v)$ para cada maturidade v através da *discount pricing function*: (EIOPA, 2024d)

$$p(v)^{shocked} = e^{-wv} + e^{-wv} H(v, u) Qb^{shocked} \quad (4.7)$$

11. Obter a RFR chocado para cada maturidade v : (EIOPA, 2024d);

$$RFR^{shocked} = (p(v)^{shocked})^{-\frac{1}{v}} - 1 \quad (4.8)$$

Obtém-se assim o valor $RFR^{shocked}$ para uma determinada maturidade v , tal que $\{v = 1, 2, \dots, 150\}$, que será usada na secção seguinte para a determinação do BE base ⁴² e chocado.

Não descurando a importância dos choques aplicados às taxas RFR, estas não são, por si só, suficientes para captar integralmente os efeitos de um cenário adverso. Qualquer economia é moldada pela combinação das suas políticas monetárias e fiscais, cujos impactos são refletidos de forma direta na dinâmica da inflação.

Neste enquadramento, a metodologia desenvolvida considera de forma integrada os efeitos combinados da inflação e da estrutura temporal de taxas, garantindo que as responsabilidades são reavaliadas de forma realista perante cenários macroeconómicos adversos. A aplicação dos choques no lado das responsabilidades é, assim, dividida entre os ramos Vida e Não Vida, apresentando-se nas secções 4.4.3 e 4.4.4, respetivamente.

4.4.3 Ramo Vida

Após obtenção da primeira componente de choque nas responsabilidades, particularmente a estrutura RFR chocada, é possível, agora com os devidos pressupostos, calcular os valores das responsabilidades após aplicação dos choques específicos de seguros, ou seja, variações que afetam diretamente as responsabilidades das empresas de seguros, tal como longevidade ou mortalidade, resgates, sinistralidade esperada e inflação. Apresenta-se, os passos inerentes aos choques nas responsabilidades no Ramo Vida:

1. Antes da aplicação dos choques propriamente ditos, o primeiro passo consiste na extrapolação dos CFs reportados no *template* S.13.01.01.01 para além do 30.^o ano.

⁴²De forma a melhorar a eficiência da ferramenta, a estrutura RFR de base, no cálculo da BE de base, é calculada pela metodologia desenvolvida, contudo os choques são de zero e sem alteração de parâmetros de *Smith-Wilson*, evitando desta forma, leituras de dados desnecessariamente.

Conforme referido na secção 4.4.1, esta etapa representa um dos maiores desafios metodológicos e computacionais, dada a coexistência de estruturas heterogêneas de CFs entre as entidades supervisionadas pela ASF. Esta discrepância torna inviável a adoção de um procedimento único e linear, exigindo a criação de técnicas de modelação flexíveis⁴³, capazes de tratar de forma consistente as diferentes tendências e garantir coerência temporal para os cálculos subsequentes.

Durante o desenvolvimento da ferramenta, avaliou-se a possibilidade de modelação através de técnicas de séries temporais. Contudo, o reduzido número de observações disponíveis (30 pontos por estrutura de CFs) compromete a robustez da estimação e conduz a ajustamentos sensíveis ao ruído, resultando em projeções de baixa fiabilidade. Por esta razão, optou-se por metodologias paramétricas, baseadas na seleção entre funções de tendência — linear, exponencial, logarítmica ou log-quadrática — descritas em detalhe na secção 3.2.2. A escolha do modelo mais adequado é feita por ajustamento às últimas dez observações desagregadas, recorrendo a critérios de menor erro absoluto para assegurar a melhor representação possível da trajetória decrescente dos CFs.

Adicionalmente, na extrapolação para além do 30.º ano, é tido em consideração o montante agregado reportado sob a forma de *lump-sum*, k , correspondente aos períodos posteriores. Para o Ramo Vida, a distribuição deste montante é realizada de forma segmentada em três blocos temporais — [31–40], [41–50] e [50+], conforme ilustrado no Figura I.4, garantindo que a soma total dos CFs extrapolados coincide com os valores reportados k ⁴⁴;

2. Seguidamente, procede-se ao cálculo da BE em cenário de base, $BE_{baseline}$, para cada LoB do Ramo Vida, de acordo com a equação (3.11)⁴⁵. Neste contexto, é utilizada a estrutura RFR de base (ou reportada pela EIOPA à data de referência);
3. Definir os choques específicos do setor segurador e procede-se à interpolação dos mesmos a um incremento anual pela técnica de *splines* cúbicos. No Ramo Vida, considera-se apenas o acréscimo de inflação, $\Delta\pi$, no choque das responsabilidades através dos CFs⁴⁶;
4. Usando a estrutura RFR chocada, calculada na secção 4.4.2, obter BE num cenário

⁴³Na ferramenta, o módulo que permita a modelação dos CFs denomina-se por “*ModelBuilder*”.

⁴⁴De forma a salvaguardar o custo computacional, os CFs extrapolados ficam limitados até ao 150.º ano, que coincide com os anos máximos da estrutura RFR.

⁴⁵Os valores de BE obtidos poderão apresentar desvios face aos reportados no *template* S.12.01.01.01 ou S.17.01.01.01 pelas entidades. Podem acontecer devido à utilização de estruturas de RFR em datas de referência distintas, ou as aproximações necessárias na inferência dos CFs descritas no primeiro passo pode não ter gerado resultados fiáveis.

⁴⁶A Tabela A.13 representa a estrutura de choques específicos do setor segurador no Ramo Vida.

de choque, para cada LoB, através da seguinte expressão⁴⁷:

$$BE_{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] + E[CF_t^{OUT,expenses}]}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \cdot \left[\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i) - 1 \right] \quad (4.9)$$

5. Para cada LoB, escalar a variação aos valores reportados (no *template* S.12.01), através da seguinte *proxy*:

$$BE^{stressed} = \frac{BE^{shocked}}{BE^{baseline}} \cdot BE^{reported} \quad (4.10)$$

6. Calcular a variação das TP calculadas como um todo inerente aos UL, através da variação da posição dos ativos ligados aos UL, obtidos na secção 4.3, i.e:

$$TP_{UL,whole}^{stressed} = \frac{UL\ assets^{shocked}}{UL\ assets^{baseline}} \cdot TP_{UL,whole}^{reported} \quad (4.11)$$

7. Calcular a nova RM, pela *proxy*, baseada na equação (3.15), para cada LoB:

$$\begin{aligned} RM_{reported} &= \theta \times BE_{NET} \\ \Leftrightarrow \theta &= \frac{RM_{reported}}{BE_{reported} - \text{Reinsurnace Recoverables}} \\ \Rightarrow RM_{stressed} &= \theta \times (BE_{stressed} - \text{Reinsurnace Recoverables}) \end{aligned} \quad (4.12)$$

8. Calcular os novos valores da TP de cada LoB, incluindo os valores transitórios:

$$\begin{aligned} TP_{stressed} &= BE_{stressed} + RM_{stressed} + TP_{whole}^{stressed} \cdot \mathbb{I}_{\{LoB=UL\}} + TP_{whole}^{baseline} \cdot \mathbb{I}_{\{LoB \neq UL\}} \\ &\quad + BE_{transitional} + RM_{transitional} + TP_{whole}^{transitional} \end{aligned} \quad (4.13)$$

9. Somar as TP, de forma a agrupar as responsabilidades pelos seguintes ramos:

- TP_{HSLT} : Acidentes e Doença SLT⁴⁸
- TP_L : Vida, excluindo UL
- TP_{UL} : UL

4.4.4 Ramos Não Vida

Semelhante ao Ramo Vida, os Ramos Não Vida são também sujeitos ao efeitos dos choques da RFR. Não obstante da similitude, os Ramos Não Vida são feitos de uma forma ligeiramente diferente, nomeadamente pelo facto das TPs se separarem por provisão para sinistros e provisão para prémios, e pelo facto de ser menos granular em termos de reporte, por exemplo, o *template* S.18.01.01.01 relativamente aos CFs futuros esperados, não distingue os respetivos CFs por LoB.

Portanto, apresenta-se as etapas a seguir tendo em conta as suas especificidades:

⁴⁷ A dedução da expressão (4.9) pode ser consultada no Anexo C.1.1.

⁴⁸ SLT: *Similar to Life Insurance*.

1. Extrapolar os CFs de acordo com o primeiro passo metodológico do Ramo Vida, descrito na secção 4.4.3;
2. Para cada LoB, calcular a $BE_{baseline}$, utilizando a equação (3.11);
3. Usando a estrutura RFR de choque, calculada na secção 4.4.2, e os choques de acréscimo de inflação na provisão para prémios, $\Delta\pi^{PP}$, na provisão para sinistros, $\Delta\pi^{CP}$, e o agravamento da sinistralidade, $\Delta Claims$, estabelecidos como inputs⁴⁹, calcular a BE chocada através das seguintes expressões⁵⁰:

Na melhor estimativa das provisões para sinistros⁵¹:

$$BE_{CP}^{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] \cdot \prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i^{CP})}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \quad (4.14)$$

Na melhor estimativa das provisões para prémios:

$$BE_{PP}^{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] + \Delta Claims_t \cdot E[CF_t^{Future Benefits}] + E[CF_t^{expenses}] \cdot [\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i^{PP}) - 1]}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \quad (4.15)$$

Em alternativa, para uma maior comparabilidade é possível calcular as BE para provisões para sinistros utilizando triângulos de *run-off* e aplicar o método de *Chain-Ladder*, ver secção 3.3.4, ou outro método estimativo de provisão para sinistros, através do *template* S.19.01.01.02⁵².

4. Calcular o $BE_{shocked}$ utilizando a equação (3.13);
5. Como não existe separação entre linhas de negócio nos CFs reportados nos Ramos Não Vida, a variação, θ , é uma constante para todos os LoBs dada por:

$$\theta = \frac{BE_{shocked}}{BE_{baseline}} \quad (4.16)$$

6. Usando o *template* S.17.01.01.01, escalonar aos valores reportados por LoB:

$$BE_{stressed} = \theta \times BE_{reported} \quad (4.17)$$

7. Calcular a nova RM, pela *proxy* definida na equação (4.12), para cada LoB;
8. Calcular os novos valores da TP de cada LoB, a incluir com os valores transitórios, apesar de residuais, através da equação (4.13);

⁴⁹Ver Figura A.12.

⁵⁰A dedução da expressão (4.14) e da expressão (4.15) pode ser consultada no Anexo C.1.2.

⁵¹A dedução das expressões das BE chocadas nos Ramos Não Vida podem ser consultadas no Anexo (4.9) pode ser consultada no Anexo C.1.2.

⁵²Durante o trabalho empírico, verificou-se que a informação disponível nos dados reportados não era suficiente, pelo que esta opção não é viável ainda.

9. Obter as TPs de forma a agrupar por⁵³:

- TP_{NL} : Não Vida
- TP_{HNSLT} : Acidentes e Doença NSLT⁵⁴

4.4.5 Limitações e simplificações nos choques aos passivos

Entre as limitações identificadas destaca-se a inconsistência de dados presente nas rubricas de despesas e comissões, em particular nos produtos UL. Adicionalmente, o *template* S.18.01 não efetua a discriminação por LoB dos Ramos Não Vida, o que limita a granularidade da análise e a aplicação de metodologias específicas por linha de negócio.

4.5 Constituição do novo balanço, através das rubricas obtidas

Concluída a aplicação dos choques e obtidas as rubricas ajustadas ao cenário de choque, referidas nas secções 4.3 e 4.4 relativas aos ativos e passivos respetivamente, procede-se à constituição do novo balanço, refletindo o impacto integral dos choques. Esta etapa consiste em reorganizar e consolidar as rubricas afetadas. O objetivo é, portanto, obter os valores de Solvência II pós-choque que permita a análise comparativa com o balanço inicial, facilitando o cálculo e a avaliação das variações dos indicadores prudenciais desenvolvidos na ferramenta. A Figura 4.6 representa esquematicamente o racional de reconstrução do balanço:

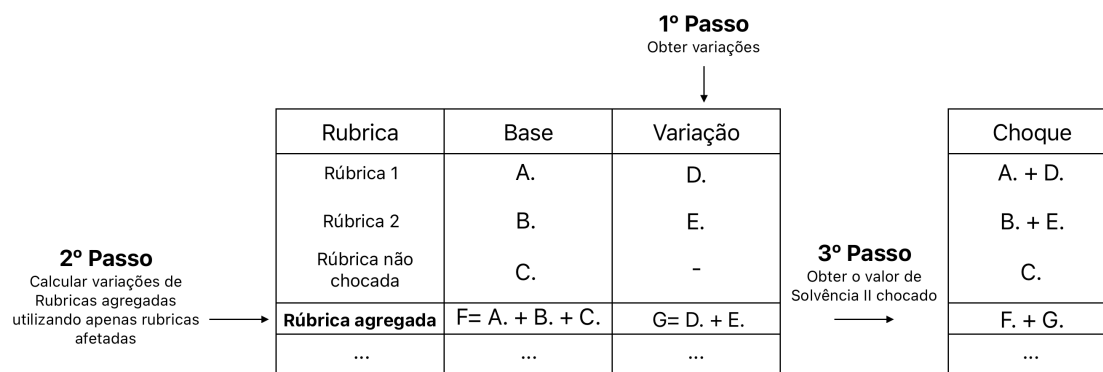


Figura 4.6: Esquema de reconstrução do balanço.

Note-se que esta abordagem simplifica a reconstrução do balanço uma vez que não necessita de incluir rubricas do balanço que não foram afetadas pelos choques. Apresenta-se a agregação de rubricas do lado dos ativos e de seguida do lado dos passivos.

No que respeita aos valores de Solvência II de ativos do balanço económico⁵⁵, estes podem ser obtidos através da carteira de ativos, i.e a partir do *template* S06.02.01.01, pela

⁵³O agrupamento está apresentado na Tabela I.2.

⁵⁴NLSL: *Non-Similar to Life Insurance*.

⁵⁵O *template* do balanço económico (S.02.01.01.01) pode ser consultado no Anexo I.1.

4.5. CONSTITUIÇÃO DO NOVO BALANÇO, ATRAVÉS DAS RUBRICAS OBTIDAS

agregação aditiva por tipologia de ativo. Um determinado ativo é categorizado pelo código CIC, e corresponde a uma determinada rubrica do balanço. A Tabela 4.3 apresenta essa relação:

S.02.01.02	CIC	Exceções CIC
R0060	93 e 95	
R0080	9	93 e 95
R0010	XL/XT 3	
R0010	3	excepto XL/XT
R0140	1	
R0150	2	
R0160	5	
R0170	6	
R0180	4	
R0240	86	
R0250	88	
R0260	8	86 e 88

Tabela 4.3: Mapeamento CIC e exceções no template S.02.01.02.

Contudo, a Tabela 4.3 apenas é válida aos ativos que não estão ligados a uma carteira de investimentos UL. Aos ativos UL, especificados pela coluna C0090 do *template* S.06.02.01.01⁵⁶, o valor de Solvência II no balanço (S.02.01.01.01.R0220.C0010) deve ser a soma total desses ativos na carteira.

Após obter os valores de Solvência II dos ativos chocados, deve-se calcular a variação em termos absolutos e concluir a construção do balanço ao atualizar rubricas agregadas que foram afetadas, fazendo-se de acordo com a Tabela 4.4:

Linha S.02.01.01.01	Rubrica	Fórmula
R0100	Holdings in related undertakings, including Equities	R0100 = R0110 (Equities - listed) + R0120 (Equities - unlisted)
R0130	Bonds	R0130 = R0140 (Government Bonds) + R0150 (Corporate Bonds) + R0160 (Structured notes) + R0170 (Collateralised)
R0070	Investments (other than assets held for index-linked and unit-linked contracts)	R0070 = R0080 (Property other than for own use) + R0100 + R0130 + R0180 (Collective Investments Undertakings)
R0230	Loans and mortgages	R0230 = R0240 (Loans on policies) + R0250 (Loans and mortgages to individuals) + R0260 (Other loans and mortgages)
R0500	Total assets	R0500 = R0070 + R0220 (Assets held for index-linked and unit-linked contracts) + R0230

Tabela 4.4: Atualização de rubricas agregadas no balanço económico.

Relativamente aos passivos, é necessário calcular as variações em termos absolutos das rubricas do Ramo Vida e Ramos Não Vida, obtidos na secção 4.4.3 e secção 4.4.4 respetivamente, e adicionar ao balanço de acordo com a Tabela 4.5:

⁵⁶O *template* da carteira de ativos (S.06.02.01.01) pode ser consultado em https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/supervisory-reporting-dpm-and-xbrl_en.

Descrição	Linha S.02.01.02
TP – Não Vida (excl. acidentes e doença NSLT)	R0530
BE	R0540
RM	R0550
TP – Acidentes e Doença NSLT (similar a Não Vida)	R0570
BE	R0580
RM	R0590
TP – Acidentes e Doença SLT (similar a Vida)	R0620
BE	R0630
RM	R0640
TP – Vida (excl. acidentes & doença SLT e index/unit-linked)	R0660
BE	R0670
RM	R0680
TP – Index/Unit-linked	R0700
BE	R0710
RM	R0720

Tabela 4.5: Mapeamento simplificado do *template* S.02.01.01.01.

Somando os valores das variações das TP, seguindo a disposição do Anexo I.1, para cada entidade, obtém-se a variação total dos passivos (na linha R0900 do *template* S.02.01.01.01).

Calcula-se o excesso de ativos sobre passivos (S.02.01.01.01.R1000) fazendo a diferença entre o a variação do total de ativos e o total da variação dos passivos (R0500-R0900).

Finaliza-se somando os valores reportados, ou de base, com as variações obtidas e obtêm-se os valores de Solvência II chocado das rubricas do balanço. Desta maneira, o balanço final fica concluído podendo proceder às análises de interesse.

4.6 Indicadores relevantes

A metodologia retratada neste documento centra-se na análise do balanço económico das entidades, antes e depois da bateria de choques. Os balanços económicos obtidos na secção 4.5 possibilitam o cálculo de indicadores relevantes na avaliação da capacidade das entidades do setor segurador nacional resistir a cenários adversos.

Neste âmbito, a versão da ferramenta à data de redação deste documento baseia-se principalmente em duas componentes: total de ativos (A) e total de passivos (L).

Destaca-se o indicador, referido na secção 4.5, Excesso de ativos sobre passivos, ou *Excess of Assets over Liabilities* (EAL):

$$EAL = A - L \quad (4.18)$$

Um simples indicador que mede a diferença absoluta entre os ativos e os passivos. Quando positivo, a entidade apresenta um montante de ativos superior aos dos passivos, contudo esta condição não é suficiente mas necessária para garantir a resiliência face aos

cenários adversos, uma vez que não permite saber se os capitais próprios são suficientes para cobrir os requisitos de capital.

O segundo indicador, será o rácio de cobertura, ou *Assets over Liabilities* (AoL), isto é:

$$AoL = \frac{A}{L} \quad (4.19)$$

Esta métrica mede a cobertura que o total de ativos tem sobre o total de passivos. Ou seja, um $AoL = 2$ por exemplo, isto significa que os ativos cobrem 2 vezes os passivos, por outras palavras, existe o dobro do montante de ativos em relação aos passivos. Naturalmente, qualquer valor superior a 1 é condição necessária de um mercado resiliente

A variação percentual AoL é dada pela seguinte expressão:

$$\text{Variação percentual AoL} = \frac{\Delta AoL}{AoL_{Base}} \quad (4.20)$$

Em termos de variações, é possível perceber a forma como estas rubricas foram afetadas. O Rácio da variação relativa indica a rubrica agregada (total de ativos e total de passivos) mais afetada no cenário de choques em termos absolutos:

$$\text{Rácio de variação relativa} = \frac{\Delta A}{\Delta L} \quad (4.21)$$

Um rácio superior a 1, indica que o valor total dos ativos foram afetados com mais intensidade comparativamente aos totais de passivos.

Em termos percentuais o Rácio da intensidade relativa, I_{AL} :

$$I_{AL} = \frac{\Delta A/A_{Base}}{\Delta L/L_{Base}} \quad (4.22)$$

De forma análoga, este rácio mede, em termos percentuais, a rubrica agregada mais afetada, por exemplo, um $I_{AL} > 1$ significa que os totais de ativos sofreram um impacto superior em termos percentuais em relação ao total de passivos.

Por outro lado, importa perceber como é que as restantes rubricas variaram. Seja X uma determinada TP ou qualquer tipologia de ativo, as variações absolutas são dadas de forma geral:

$$\text{Variação absoluta}(\Delta X) = X_{Chocado} - X_{Base} \quad (4.23)$$

E a variação percentual é dada por:

$$\text{Variação percentual} [\Delta X/X(\%)] = \frac{X_{Chocado} - X_{Base}}{X_{Base}} \times 100 \quad (4.24)$$

TESTE E IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DA FERRAMENTA DE *STRESS TEST* NA ABORDAGEM *TOP-DOWN*

Este capítulo apresenta uma demonstração prática da ferramenta de ST desenvolvida na abordagem *Top-down* com o objetivo de evidenciar a estrutura dos resultados e as respectivas funcionalidades.

Inicialmente, procedeu-se à definição do Cenário chocado utilizado na entrada da ferramenta, ao qual foram aplicados choques com base nos dados de reporte QRT. Em seguida, são apresentados os principais resultados obtidos pelo exercício de ST na abordagem *Top-down*, gerados pelos choques do cenário anteriormente estabelecido. Por último, realizou-se uma análise comparativa dos resultados, acompanhada da respetiva validação.

5.1 Cenário de choques

A primeira etapa na utilização da ferramenta, partindo do pressuposto de que os dados foram previamente organizados nas pastas de *input*, é o a elaboração do cenário que culminará na calibragem dos choques a aplicar aos dados. A fim deste exercício prático, utilizado como cenário de referência o cenário do exercício de ST em *Bottom-up* da EIOPA (2024c)⁵⁷, num cenário de "*Reintensificação ou prolongamento das tensões geopolíticas*" no entanto, adaptado às características *Top-down* da ferramenta.

Importa salientar que os resultados obtidos com a presente ferramenta não devem ser diretamente comparados com os do exercício oficial da EIOPA, dado que as metodologias, granularidade dos dados e pressupostos de cálculo diferem substancialmente. Todos os comentários, interpretações e justificações adicionais apresentados ao longo desta dissertação são da exclusiva responsabilidade do autor, não refletindo necessariamente o racional da EIOPA na base do cenário apresentado.

⁵⁷O exercício de ST pode ser consultado em https://www.eiopa.europa.eu/insurance-stress-test-2024_en.

O cenário organiza-se em duas componentes: (i) os choques no mercado e (ii) os choques específicos do setor segurador.

5.1.1 Cenário de choques no mercado

A primeira componente do cenário incide sobre os choques de mercado, sendo subdividida por diferentes categorias de risco financeiro. De entre estas, destacam-se os choques às taxas *Swap*, ou *Interest Rate SWAP* (IRS) dado ao seu impacto transversal nos ativos e nos passivos. Importa salientar que estes incidem sobre diferentes maturidades, afetando simultaneamente a valorização dos títulos de dívida e, através da curva RFR, a avaliação das responsabilidades. A Tabela 5.1 apresenta os choques às taxas *Swap*, expressos em pontos base (*pb*).

País/Região	Maturidade							
	1Y	2Y	3Y	5Y	7Y	10Y	15Y	20Y
Área do Euro (EA)	168,43	157,30	136,91	96,13	71,03	45,93	45,11	44,29
Bulgária	202,43	196,81	191,18	161,32	149,61	136,18	125,40	114,61
Chéquia	174,34	168,12	161,90	133,72	122,58	103,68	92,41	81,13
Dinamarca	161,29	130,96	110,68	78,36	62,71	45,93	45,11	44,29
Hungria	296,68	289,01	281,35	252,25	237,70	214,17	214,05	213,93
Polónia	183,64	179,97	176,30	149,71	141,03	131,74	117,67	103,60
Roménia	220,26	214,14	208,02	177,17	164,47	149,55	137,82	126,09
Suécia	167,66	156,50	145,35	107,61	85,34	57,47	56,57	55,67
Canadá	182,04	170,82	159,60	121,63	99,19	65,54	56,28	53,75
Japão	7,81	12,77	18,37	22,96	29,07	36,21	38,57	40,94
Reino Unido	174,24	163,36	152,49	110,50	87,89	55,77	53,90	52,03
Estados Unidos	187,73	174,85	161,98	118,68	93,15	57,26	55,95	54,64
Outras economias avançadas	163,02	147,57	133,88	103,49	87,82	71,42	68,58	65,47
Economias emergentes e em desenvolvimento	191,00	184,57	178,14	158,39	145,98	129,19	120,26	114,76

Tabela 5.1: Choques aplicados às taxas *swap* por maturidade, em pontos base.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

De forma agregada, verifica-se que os choques são mais intensos nas maturidades curtas, diminuindo gradualmente nas maturidades mais longas. Este padrão poderá decorrer do carácter instantâneo do choque, que afeta de forma mais pronunciada o segmento de curto prazo da curva, enquanto em maturidades mais longas o impacto é naturalmente amortecido pela própria formação das expectativas de médio e longo prazo.

Para além das taxas de juro *Swap*, o cenário contempla ainda choques noutros segmentos de mercado relevantes. Entre estes, destacam-se os choques aos *spreads* de crédito, que refletem a perceção de risco associada às obrigações soberanas e privadas sobre a taxa de juro sem risco. No caso dos choques aos *spreads* da dívida soberana, estes são representados pela Tabela 5.2, e aplicados de acordo com a maturidade do título.

CAPÍTULO 5. TESTE E IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DA FERRAMENTA DE STRESS TEST NA ABORDAGEM TOP-DOWN

País/Região	Maturidade							
	1Y	2Y	3Y	5Y	7Y	10Y	15Y	20Y
Áustria	57,29	59,04	61,66	64,28	68,65	73,02	76,22	79,42
Bélgica	64,01	65,76	68,38	71,57	75,37	79,74	82,94	86,13
Bulgária	104,86	109,27	115,89	122,51	133,54	144,58	147,77	150,97
Croácia	106,17	110,59	117,21	123,83	134,86	145,89	149,09	152,29
Chipre	91,60	95,48	101,29	107,11	116,81	126,52	129,72	132,89
Chéquia	70,80	72,55	75,17	77,79	82,16	86,53	89,72	92,92
Dinamarca	40,14	42,13	45,12	48,11	53,09	58,07	61,27	64,46
Estónia	60,01	62,66	66,65	70,63	77,26	83,89	87,09	90,29
Finlândia	61,61	63,36	65,98	68,60	72,97	77,34	80,54	83,73
França	44,99	47,31	50,79	54,27	60,07	65,87	69,07	72,26
Alemanha	36,20	38,14	41,05	43,95	48,79	53,64	56,83	60,03
Grécia	109,56	113,97	120,59	127,21	138,25	149,28	152,48	155,67
Hungria	98,71	103,12	109,74	116,36	127,39	138,43	141,62	144,82
Irlanda	55,15	56,83	59,34	61,86	65,60	70,24	73,44	76,63
Itália	96,21	100,62	107,24	113,86	124,90	135,93	139,13	142,32
Letónia	92,42	96,83	103,45	110,07	119,54	129,01	132,21	135,42
Lituânia	95,58	99,99	106,61	113,23	124,27	135,30	138,50	141,69
Luxemburgo	48,12	50,64	54,40	58,17	63,59	69,01	72,20	75,40
Malta	89,14	91,40	94,78	98,16	103,79	109,42	112,62	115,82
Países Baixos	44,17	46,50	49,98	53,46	59,26	65,06	68,25	71,45
Polónia	95,07	99,13	105,23	111,33	121,49	131,65	134,85	138,05
Portugal	85,44	87,18	89,80	92,43	96,80	101,17	104,36	107,56
Roménia	98,84	103,25	109,88	116,52	127,53	138,56	141,76	144,96
Eslováquia	79,66	80,88	82,71	84,53	87,58	90,63	93,83	97,03
Eslovénia	83,77	85,52	88,14	90,76	95,19	99,63	102,76	105,96
Espanha	92,27	96,15	101,97	107,78	117,48	127,17	130,37	133,57
Suécia	59,93	61,68	64,30	66,92	71,29	75,66	78,86	82,05
Instituições da União Europeia	60,01	62,66	66,65	70,63	77,26	83,89	87,09	90,29
Emitentes supranacionais	62,34	65,04	69,10	73,15	79,91	86,66	89,86	93,05
Canadá	53,02	54,88	57,68	60,47	65,12	69,78	72,97	76,17
Japão	41,16	42,80	45,27	47,73	51,84	55,95	59,14	62,34
Reino Unido	78,49	79,15	80,14	81,13	82,78	84,43	87,62	90,82
Estados Unidos	44,88	47,49	51,40	55,31	61,84	68,36	71,56	74,76
Outras economias avançadas	53,02	54,88	57,68	60,47	65,12	69,78	72,97	76,17
Economias emergentes e em desenvolvimento	171,09	176,78	185,33	193,88	208,13	222,37	225,57	228,77

Tabela 5.2: Choques aos *spread* da dívida soberana por maturidade e País/Região, em pontos base.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Os choques à dívida privada, bem como sobre títulos de dívida estruturados e sobre títulos de dívida garantidos com colateral, são definidos em concordância na Tabela 5.3.

País/Região	Indústria	Qualidade de Crédito						
		AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC
União Europeia	Financeira	147,17	170,29	194,42	252,80	396,70	424,44	483,76
	Não Financeira	126,35	148,10	171,83	241,62	388,99	413,65	472,97
Reino Unido	Financeira	153,39	177,15	200,51	257,69	405,06	432,82	492,12
	Não Financeira	132,94	154,09	177,35	246,81	394,18	421,92	481,24
Estados Unidos	Financeira	166,50	189,62	213,75	272,13	419,11	443,77	503,09
	Não Financeira	158,60	180,35	204,08	261,05	408,42	433,08	492,40
Outras economias avançadas	Financeira	155,68	179,02	202,89	260,87	406,95	433,67	492,99
	Não Financeira	139,30	160,85	184,42	249,83	397,20	422,88	482,21
Economias emergentes e em desenvolvimento	Financeira	280,54	303,88	327,75	385,73	531,81	558,52	617,85
	Não Financeira	264,15	285,70	309,28	374,68	522,05	547,74	607,06

Tabela 5.3: Choques sobre os *spread* da dívida privada por qualidade creditícia, setor e País/Região, em pontos base.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Os choques observados na dívida privada do setor financeiro revelam-se mais severos do que no setor não financeiro. Esta diferença, poderá estar associada à percepção acrescida do risco sistémico e de alavancagem associada às instituições financeiras, cuja exposição direta a choques de mercado e de crédito conduz a uma maior volatilidade dos *spreads* em cenários de *stress*.

Em relação aos *spreads* das obrigações cobertas e aos *spreads* das hipotecas e empréstimos, *RMBS*, os choques a aplicar são os apresentados na Tabela 5.4.

País/Região	Segmento	Qualidade de crédito			
		AAA	AA	A	BBB
União Europeia	Obrigações cobertas	108,65	130,60	162,56	219,00
	RMBS	157,39	186,64	230,20	286,63
Reino Unido	Obrigações cobertas	122,63	144,17	178,11	234,54
	RMBS	156,26	185,51	229,07	285,50
Estados Unidos	Obrigações cobertas	117,93	139,10	171,06	227,49
	RMBS	199,71	251,42	286,02	342,45
Outras economias avançadas	Obrigações cobertas	127,23	151,87	188,81	232,84
	RMBS	191,07	227,10	270,00	314,03
Economias emergentes e em desenvolvimento	Obrigações cobertas	252,09	276,73	313,66	357,69
	RMBS	315,93	351,96	394,86	438,89

Tabela 5.4: Choques aos *spread* da dívida coberta e dos empréstimos e hipotecas por qualidade creditícia e País/Região em pontos base.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Em geral, é de realçar nas Tabelas 5.3 e 5.4 que títulos com uma qualidade creditícia baixa apresentam choques mais severos. Tal poderá dever-se ao maior risco de incumprimento que lhes é associado, gerando desconfiança por parte dos investidores, e conduzindo a uma menor procura destes instrumentos, em detrimento da maior procura por ativos considerados seguros e líquidos, como a dívida soberana de curto prazo — conforme

ilustrado na Tabela 5.2.

Nas economias emergentes e em desenvolvimento, os choques assumem maior intensidade. Entende-se que este comportamento decorre do risco acrescido de incumprimento soberano, da menor profundidade e liquidez dos seus mercados financeiros e da maior vulnerabilidade a choques externos, conduzindo a uma percepção de risco significativamente superior por parte dos investidores.

A Tabela 5.5 sintetiza os choques aplicados ao mercado acionista, diferenciando entre empresas cotadas e não cotadas em bolsa.

País/Região	Cotado em bolsa	Não cotado em bolsa
União Europeia	-42,13	-60,25
Canadá	-44,38	-66,13
Japão	-42,28	-62,99
Reino Unido	-49,21	-73,32
Estados Unidos	-49,08	-73,13
Outras economias avançadas	-44,38	-66,13
Economias emergentes e em desenvolvimento	-47,38	-70,60

Tabela 5.5: Choques aplicados a ações por tipo de capital, em pontos percentuais.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

É expectável que ações não cotadas em bolsa apresentem choques relativamente mais severos o que, de certa forma, poderá estar associado à conjugação de três fatores: a ausência de liquidez em mercados secundários, a menor transparência relativamente a empresas cotadas e a maior dificuldade de acesso a financiamento em contextos de *stress*, que amplificam a percepção de risco dos investidores.

Os choques ao setor imobiliário são descritos pela Tabela 5.6:

País/Região	Residenciais	Comerciais e Escritórios
União Europeia	-8,73	-16,88
França	-7,46	-15,55
Luxemburgo	-10,72	-16,72
Portugal	-10,18	-17,75
Espanha	-7,61	-14,84
Outras economias avançadas	-13,43	-16,58
Economias emergentes e em desenvolvimento	-13,43	-16,58

Tabela 5.6: Choques aplicados ao mercado imobiliário por tipologia, em pontos percentuais.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Os fundos de investimento são divididos em duas componentes, a primeira com LTA, pela Tabela 5.7, e a segunda quando os fundos que não dispõem de LTA, chocados a partir da Tabela 5.8.

5.1. CENÁRIO DE CHOQUES

País/Região	Dívida Soberana	Dívida Privada	Fundos de investimento	Hipotécas e empréstimos	Imobiliário
União Europeia	-0,75	-2,88	-31,26	-2,15	-12,81
Outras economias avançadas	-0,64	-2,98	-35,06	-2,51	-15,00
Economias emergentes e em desenvolvimento	-2,01	-3,60	-38,56	-3,75	-15,00

Tabela 5.7: Choques aplicados aos fundos que dispõem de *Look-through*, em pontos percentuais.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

País/Região	Dívida	Mercado monetário	Alocação de ativos ⁵⁸	Imobiliário	Alternativos	Infraestrutura
União Europeia	-1,70	0	0	-12,81	0	-31,26
Canadá	-1,77	0	0	-15,00	0	-35,06
Japão	-0,77	0	0	-15,00	0	-35,06
Reino Unido	-1,89	0	0	-15,00	0	-35,06
Estados Unidos	-1,72	0	0	-15,00	0	-35,06
Outras economias avançadas	-1,69	0	0	-15,00	0	-35,06
Economias emergentes e em desenvolvimento	-3,54	0	0	-15,00	0	-38,56

Tabela 5.8: Choques aplicados a ativos sem *Look-through*, em pontos percentuais.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Numa índole mais agregada, os choques a investimentos em infraestrutura são expostos de acordo com a Tabela 5.9.

País/Região	Títulos de dívida	Ações	Outros
União Europeia	-22,06	-40,46	-31,26
Outras economias avançadas	-26,72	-43,39	-35,06
Economias emergentes e em desenvolvimento	-29,39	-47,73	-38,56

Tabela 5.9: Choques aplicados a ativos de infraestrutura por classe, em pontos percentuais.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

5.1.2 Choques específicos do setor segurador

Segue-se a apresentação dos choques aplicados às responsabilidades das seguradoras, iniciando-se pela RFR, prosseguindo com as responsabilidades dos Ramos Não Vida e, por fim, com as do Ramo Vida.

5.1.2.1 Choques à estrutura temporal das taxas de juro, ou *Risk-Free Rate*

A primeira componente considerada corresponde à RFR, que, embora surja como um valor intermédio nos cálculos, é determinante para a avaliação do valor atual das responsabilidades, conforme apresentado na equação (3.11). Esta curva é sujeita a dois tipos de choques: i) os choques às taxas *Swap*, já apresentados na Tabela 5.1; e ii) a alteração dos pressupostos associados aos parâmetros do modelo de *Smith–Wilson*, cujos valores de referência e de cenário de choque se encontram sintetizados na Tabela 5.10. A redução da UFR e do parâmetro α traduz expectativas mais baixas para o nível de equilíbrio de longo

⁵⁸A alocação de ativos representa a distribuição do portefólio por diferentes classes de investimento (Banco Santander Totta, 2021).

CAPÍTULO 5. TESTE E IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DA FERRAMENTA DE STRESS TEST NA ABORDAGEM TOP-DOWN

prazo das taxas de juro, bem como maior incerteza quanto à velocidade de convergência da curva para esse valor, respetivamente.

Parâmetros	Referência ^a	Cenário de choque
Alpha (α)	0,1155	0,1041
Ultimate Forward Rate (UFR)	3,45%	3,30%

^a A Figura 4.5 apresenta um exemplo donde os dados podem ser retirados. Neste contexto, os parâmetros de *Smith-Wilson* são referentes à data de 31 de dezembro de 2023.

Tabela 5.10: Parâmetros do modelo *Smith-Wilson*: valores de referência e sob choque.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Por conseguinte, os choques às taxas *Swap* e aos parâmetros de *Smith-Wilson* resultam numa nova curva taxa de juro RFR, representada na Figura 5.1.

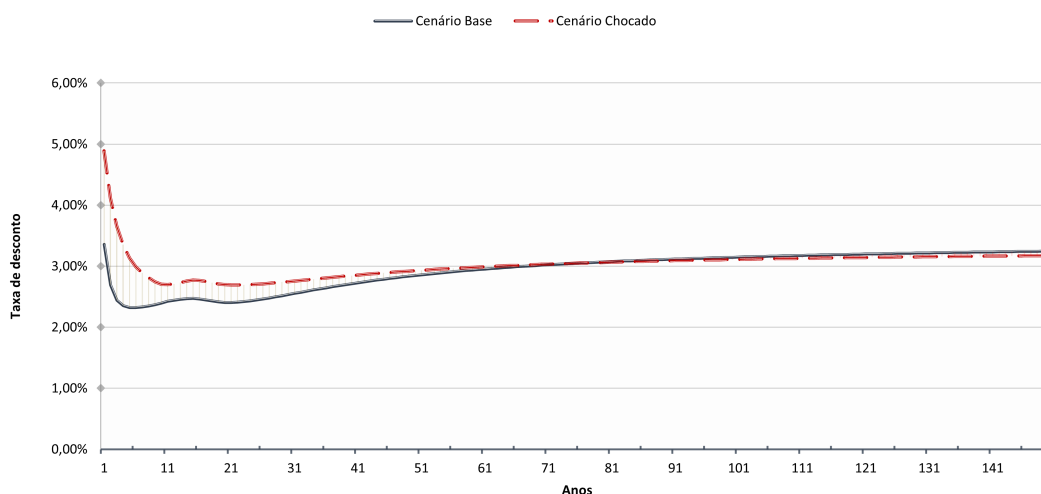


Figura 5.1: Estrutura taxa de juro, antes e pós cenário de choque.

Observa-se que nas maturidades de curta duração, as taxas RFR são superiores, cujo efeito dominante é os choques às taxas *Swap*. Em oposição, as taxas de juro em maturidades longas são sobrepostas pelo efeito da diminuição da UFR, levando a que para essas maturidades, as taxas RFRs sejam inferiores comparativamente ao cenário base.

5.1.2.2 Choques às responsabilidades dos Ramos Não Vida

No que concerne ao choques aplicados às responsabilidades dos Ramos Não Vida, representados na Tabela 5.11, estes concentram-se nos primeiros anos do horizonte temporal, refletindo a natureza de curto prazo destas provisões. Observa-se um acréscimo inicial da inflação, tanto nas despesas de sinistros como nas de prémios, que se dissipa

progressivamente até desaparecer após o décimo ano. Em paralelo, o agravamento da sinistralidade futura apresenta valores mais elevados nos primeiros anos (5% no ano 1), reduzindo-se de forma gradual nos anos seguintes. Este padrão poderá estar relacionado a maior incerteza e volatilidade associadas aos CFs de curto prazo típicos dos Ramos Não Vida, em contraste com a relativa estabilidade projetada para horizontes mais longos.

Horizonte temporal (anos)	Acréscimo da inflação nas despesas de provisões de sinistros	Acréscimo da inflação nas despesas de provisões de prémios	Agravamento na sinistralidade futura (provisões de prémios)
1	1,50 %	1,50 %	5,00 %
2	0,80 %	0,80 %	3,50 %
3	0,20 %	0,20 %	2,50 %
4	0,20 %	0,20 %	1,50 %
5	0,20 %	0,20 %	1,00 %
7	0,15 %	0,15 %	0,50 %
9	0,10 %	0,10 %	0,50 %
10	0,00 %	0,00 %	0,25 %
15	0,00 %	0,00 %	0,25 %
20	0,00 %	0,00 %	0,00 %
25	0,00 %	0,00 %	0,00 %
30	0,00 %	0,00 %	0,00 %
>30	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Tabela 5.11: Choques aplicados às responsabilidades dos Ramos Não Vida.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Note-se que, os acréscimos de inflação aplicados às despesas das provisões para sinistros e para prémios são idênticos, conforme definido pela EIOPA (2024c). A apresentação separada destes resultados visa apenas refletir a estrutura da ferramenta desenvolvida, que aplica o mesmo valor de choque de forma independente às duas componentes das responsabilidades Não Vida.

5.1.2.3 Choques às responsabilidades do Ramo Vida

Analogamente aos choques específicos do setor segurador dos Ramos Não Vida, a Tabela 5.12 apresenta os choques da inflação ($\Delta\pi$) no Ramo Vida:

Horizonte temporal (anos)	Acréscimo da inflação
1	1,50 %
2	0,80 %
3	0,20 %
4	0,20 %
5	0,20 %
7	0,15 %
9	0,10 %
10	0,00 %
15	0,00 %
20	0,00 %
25	0,00 %
30	0,00 %
40	0,00 %
50	0,00 %
>50	0,00 %

Tabela 5.12: Acréscimo da inflação no Ramo Vida por horizonte temporal.

Fonte: Tabela adaptada do exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

5.2 Principais resultados da ferramenta

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta de ST desenvolvida.

Após a aplicação de choques, a ferramenta exporta automaticamente um ficheiro em *Excel* que contém tanto os resultados do exercício bem como o conjunto de choques aplicados. Os dados utilizados referem-se ao mercado segurador português em 2023. Contudo, por razões de confidencialidade, os nomes das entidades foram substituídos por designações fictícias.

Apesar da ferramenta ser a primeira versão de desenvolvimentos, os resultados obtidos constituem uma validação à sua consistência, na medida em que permitem testar a coerência dos dados e a robustez da modelação implementada. Inspirados no exercício de ST da EIOPA numa abordagem *Bottom-up*, aqui adaptada para um enquadramento *Top-down*, estes resultados devem ser entendidos como teste da ferramenta: valores plausíveis reforçam a fiabilidade da ferramenta, enquanto eventuais incoerências funcionam como sinal de alerta útil para o seu aperfeiçoamento.

Embora nesta fase os requisitos de capital de Solvência II (SCR e MCR) bem como os fundos próprios elegíveis não estejam ainda deduzidos, é possível avaliar a capacidade do setor segurador de absorver perdas face aos cenários adversos através dos indicadores apresentados na secção 4.6. Para tal, considera-se, por exemplo, o indicador do excesso de ativos sobre passivos, que quando positivo, sugere que as entidades permanecem resilientes face ao cenário aplicado. Não obstante o foco principal da ferramenta seja essa avaliação, ainda possibilita uma análise desagregada das rubricas ou entidades mais afetadas pelo cenário, permitindo, de forma eficiente, identificar potenciais fragilidades individualmente.

Não sendo portanto o âmbito desta tese de avaliar e inferir a resiliência do setor segurador nacional, apresenta-se os principais resultados do teste à ferramenta, iniciando-se pela análise da componente dos ativos, seguida dos passivos, pela sua combinação no balanço agregado e, por último, pelo efeito dos choques nos fundos de investimento e pela decomposição dos efeitos isolados (semelhante a uma análise de sensibilidade).

5.2.1 Análise global

Num panorama global, os resultados obtidos permitem comparar a evolução conjunta dos ativos e dos passivos entre o Cenário base e o Cenário chocado.

A Tabela 5.13 apresenta, de um lado, o valor agregado dos ativos e passivos no Cenário base, isto é, à data de referência, e do outro, o Cenário chocado. Apresenta-se ainda as variações absolutas e as variações percentuais entre estes dois cenários.

Rúbricas	Cenário Base	Cenário Chocado	Varição Absoluta	Varição Percentual
Ativos	53 238,91	48 045,51	-5 193,40	-9,75%
Passivos	46 715,46	41 894,98	-4 820,47	-10,32%

Tabela 5.13: Comparação entre cenário base e chocado: evolução de ativos e passivos, em milhões de euros.

Como é observável na Tabela 5.13, os ativos e os passivos registaram uma contração da sua posição agregada de Solvência II. Este comportamento resulta, naturalmente, da bateria de choques do cenário descrito na secção 5.1, que quando aplicada aos dados reportados geram efeitos negativos na valorização das rubricas agregadas. Desta forma, do ponto de vista conceptual, os resultados poderão sugerir consistência com a metodologia.

Graficamente, a Figura 5.2 apresenta esse efeito ao comparar a posição dos ativos e dos passivos entre os cenários:

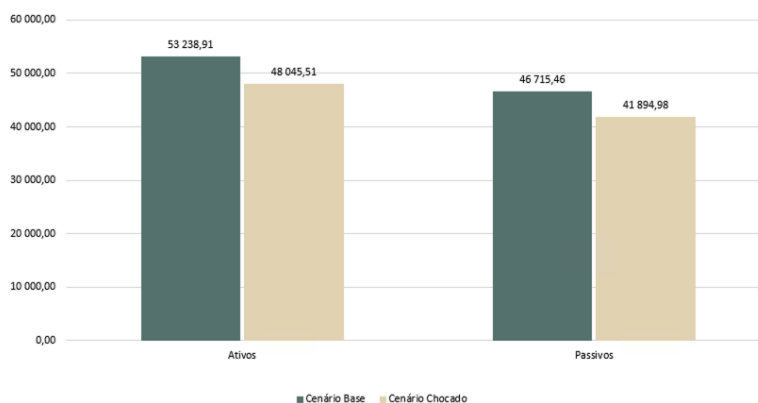


Figura 5.2: Análise global da evolução de ativos e passivos nos cenários base e chocado.

Observe-se ainda que, de acordo com a Tabela 5.13, os passivos das empresas de seguros sofreram, em termos percentuais, uma queda mais intensa em relação aos ativos. A Figura 5.3 caracteriza a distribuição da variação das posições totais de ativos e passivos das empresas de seguros em Portugal.

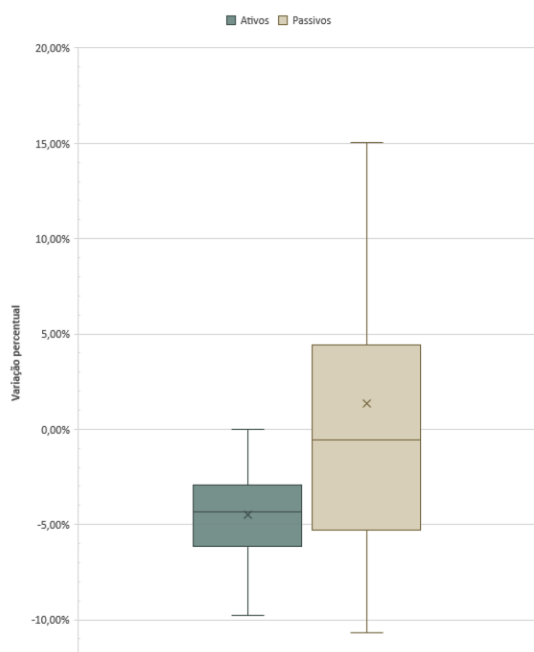


Figura 5.3: Distribuição das variações percentuais.

É interessante perceber a Figura 5.3 por duas razões: (i) A primeira, a dispersão das variações dos passivos nas empresas de seguros é superior à dos ativos. Como será visto na Tabela 5.2.3, esta observação poderá estar relacionada com a presença de múltiplas LoBs e pela plausibilidade de poderem existir variações positivas e negativas; (ii) A segunda, por existir variações positivas nos passivos mas não nos ativos. Acredita-se, portanto, que a BE chocada das responsabilidades, ao estar exposta ao efeito de desconto da RFR, sofre um efeito redutor (dessa taxa) superior ao efeito inflacionista.

5.2.2 Indicadores relevantes

Em complemento da análise direta dos montantes totais, os indicadores possibilitam uma interpretação adicional dos resultados obtidos no exercício de ST na abordagem *Top-down*.

De forma a garantir uma condição necessária (mas não suficiente) de um setor resiliente, o indicador AoL, que traduz o rácio entre ativos e passivos, deve assumir um valor superior a 1, e o EAL superior a um montante de zero (euros). Estes indicadores evidenciam a existência de cobertura de ativos sobre os passivos, i.e. $Ativos > Passivos$. Neste contexto, a Tabela 5.14 sintetiza os resultados dos indicadores obtidos pela ferramenta de ST em abordagem *Top-down*, face ao cenário descrito na secção 5.1, do mercado segurador agregado:

Indicadores	Cenário Base	Cenário Chocado	Variação Absoluta	Variação Percentual
AoL	1,14	1,15	0,01	0,63%
Excesso de Ativos sobre Passivos	6 523,45 M€	6 150,53 M€	-372,92 M€	-5,72%

Tabela 5.14: Indicadores — comparação entre cenário base e chocado.

A Tabela 5.14 revela que três aspetos fundamentais: (i) a proporção entre ativos e passivos, observada através do AoL, manteve-se aproximadamente constante, com uma ligeira diferença a favor dos ativos; (ii) embora a proporção entre ativos e passivos se mantenha no mesmo nível, o mercado segurador desvalorizou-se em aproximadamente 6%, ou no montante de $\Delta EAL = -373$ milhões de euros; (iii) o último, mas não menos importante, a tabela evidencia cobertura de ativos sobre os passivos.

Em complemento à Tabela 5.14, é possível ainda derivar, partindo da Tabela 5.13, métricas adicionais sobre o setor segurador:

Indicador	Valor
Rácio de variação relativa Ativos/Passivos ($\Delta A/\Delta P$)	1,08
Varição relativa do AoL ($\Delta AoL/AoL_{Base}$)	0,63%
Rácio de intensidade relativa (I_{AL})	0,95

Tabela 5.15: Indicadores derivados de resiliência sob cenário de choque.

A Tabela 5.15 evidencia, em diferentes perspetivas, as variações registadas nos ativos e nos passivos. Em primeiro lugar, o rácio entre as variações absolutas dos Ativos e dos Passivos ($\Delta A/\Delta P = 1,08$) indica que, em termos de montante, a redução dos ativos foi 8% superior à dos passivos. Todavia, numa análise relativa observa-se o inverso, uma vez que $I_{AL} = \frac{\Delta A/A_{Base}}{\Delta L/L_{Base}} < 1$. Em consequência, a variação relativa do rácio AoL ($\Delta AoL/AoL_{Base} = 0,63\%$) revela um ligeiro aumento da proporção de ativos face aos passivos, correspondendo a uma maior cobertura.

Analogamente à Tabela 5.14 e à Tabela 5.15, a ferramenta fornece esses indicadores ainda numa esfera individual do setor. Por razões de confidencialidade, não serão divulgados tais resultados, contudo foi possível verificar que todas as empresas de seguros

apresentam cobertura de ativos sobre os passivos.

5.2.3 Impacto dos choques nas responsabilidades das empresas de seguros

Todavia, uma leitura apenas agregada das responsabilidades pode ocultar fragilidades relevantes. Por esse motivo, prossegue-se com uma análise mais aprofundada, incidindo sobre a variação das responsabilidades por ramo, de modo a identificar quais os segmentos mais sensíveis ao cenário aplicado:

Provisão Técnica	Cenário Base	Cenário Chocado	Varição Absoluta	Varição Percentual
(1) Acidente e Doença NSLT	901,00	933,28	32,28	3,58%
(2) Não Vida (excluindo Acidente e Doença NSLT)	2 898,39	2 945,79	47,40	1,64%
(1)+(2) Ramo Não Vida	3 799,39	3 879,07	79,68	2,10%
(3) Acidente e Doença SLT	2 619,57	2 510,30	-109,27	-4,17%
(4) Vida (excluindo SLT e Unit-linked)	19 385,99	18 787,79	-598,20	-3,09%
(5) Unit-linked	16 709,04	14 758,57	-1 950,47	-11,67%
(3)+(4) Vida (excluindo Unit-linked)	22 005,55	21 298,09	-707,47	-3,21%
(3)+(4)+(5) Ramo Vida	38 714,59	36 056,66	-2 657,93	-6,87%

Tabela 5.16: Provisão Técnica — comparação entre cenário base e chocado, em milhões de euros.

Avaliando as variações das TPs do mercado segurador, constata-se um comportamento heterogêneo entre o Ramo Vida e os Ramos Não Vida. Enquanto que os Ramos Não Vida apresentam um agravamento nas suas responsabilidades, o Ramo Vida das seguradoras acaba por beneficiar de um alívio nas suas responsabilidades. Os resultados sugerem uma causa estrutural para tal comportamento: a formulação das expressões que definem o cálculo dos choques nas BEs. Nos Ramos Não Vida, os valores de BE chocados resultam das expressões (4.14) e (4.15), que incorporam três componentes de agravamento, ou seja $\Delta\pi^{CP}$, $\Delta\pi^{PP}$ e $\Delta Claims$, podendo estes efeitos, em conjunto, superar o impacto redutor associado ao desconto pela RFR. No Ramo Vida, por sua vez, apenas é aplicado um componente de agravamento ($\Delta\pi$), cuja magnitude tende a ser inferior ao efeito do desconto, conduzindo a uma redução líquida da BE.

Nos contratos UL, este efeito é ainda reforçado pela desvalorização dos ativos subjacentes decorrentes da secção 4.3, que reduz proporcionalmente as responsabilidades associadas.

5.2.4 Análise do impacto na melhor estimativa das responsabilidades

Uma qualidade útil da ferramenta de ST na abordagem *Top-down* é a sua arquitetura modular, que através da função `AplicarChoquesMercado()` e `AplicarChoquesSegurador()`, permite aplicar inúmeros cenários simultaneamente. Perante esta poderosa funcionalidade, a ferramenta foi construída, por defeito e de forma otimizada, para fazer análises de sensibilidade. Para o efeito, a ferramenta calcula as variações das BEs por LoB, considerando, neste contexto, três fatores de choque: (i) Choque RFR; (ii) Choque do acréscimo de inflação; e (iii) Choque na sinistralidade.

Embora a funcionalidade esteja implementada na ferramenta, os resultados não foram, à data da redação deste documento, validados, e por isso a sua apresentação fica dispensada neste trabalho. Espera-se, no entanto, dois aspetos relevantes para garantir a sua consistência à metodologia, com base no cenário descrito: (i) que o efeito RFR traduza uma redução das BEs para todas as LoBs; (ii) que o efeito isolado do agravamento da sinistralidade futura ($\Delta Claims$) deve ser exclusivamente superior a zero para os Ramos Não Vida.

5.3 Validações

As validações dos resultados são importantes para garantir a fiabilidade da metodologia desenvolvida na ferramenta de ST na abordagem *Top-down*. Esta fase permite verificar se os cálculos efetuados e os impactos observados estão alinhados com as expectativas metodológicas. Ao proceder à validação, identificam-se eventuais discrepâncias ou incoerências que possam comprometer a robustez dos resultados, possibilitando, dessa forma, sua correção antes da interpretação final.

Nesta secção apresentam-se as validações, começando por testar os resultados do mecanismo de choques na curva RFR, seguidamente apresentam-se o procedimento de validação dos cálculos.

5.3.1 Validação metodológica do choque à estrutura temporal da taxa de juro

Embora a metodologia de choques na curva taxa de juro RFR seja fundamentalmente a formulação matemática da metodologia de *Smith-Wilson*, a sua implementação no presente trabalho encontra-se inserida num enquadramento mais amplo de ST e exige, por isso, uma validação computacional.

A validação computacional é feita por via da comparação com as curvas de referência divulgadas pela EIOPA no exercício de ST na abordagem *Bottom-up*, assegurando que os resultados obtidos são consistentes e que a aplicação prática da metodologia é fiável no contexto dos exercícios de ST.

No cenário base, a validação é apresentada na Figura 5.4, através dos resíduos, isto é, da diferença entre a RFR calculada e a RFR publicada pela EIOPA.

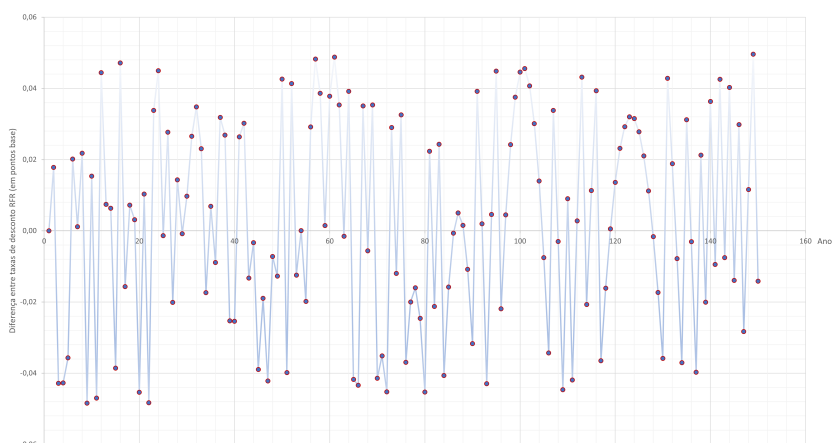


Figura 5.4: Resíduos da estrutura taxa de juro da EIOPA vs ferramenta — cenário base.

A comparação entre a curva obtida pela ferramenta e a curva de referência da EIOPA revelou desvios residuais. O erro médio absoluto ($MAE = 0,025$ pb) e a raiz do erro quadrático médio ($RMSE = 0,029$ pb) encontram-se em níveis imateriais, reforçando a precisão da implementação. Tais desvios podem resultar de arredondamentos ou da precisão limitada dos parâmetros publicados pela EIOPA, bem como de erros numéricos residuais inerentes ao processo computacional.

Adicionalmente, o teste de correlação de *Pearson*, que consiste na avaliação da dependência linear entre variáveis, não indicou evidência estatisticamente significativa de correlação linear entre os resíduos e as maturidades ($p\text{-value} = 0,922132$). Este resultado confirma que as diferenças observadas são aleatórias e não apresentam qualquer padrão sistemático ao longo da estrutura temporal, reforçando a robustez da metodologia aplicada.

A segunda validação, relativa às curvas RFR sob choque, apresenta resultados ligeiramente distintos da validação do cenário base, conforme ilustrado na Figura 5.5. Tal diferença pode ser explicada pelo facto de o tipo de interpolação aplicado aos choques poder divergir do utilizado pela EIOPA, bem como pela opção metodológica de forçar os valores das maturidades de 3 e 7 anos nas taxas *Swap* a corresponderem ao ponto médio entre as maturidades adjacentes. Este ajustamento, embora tecnicamente justificado, pode introduzir pequenas discrepâncias na comparação direta.

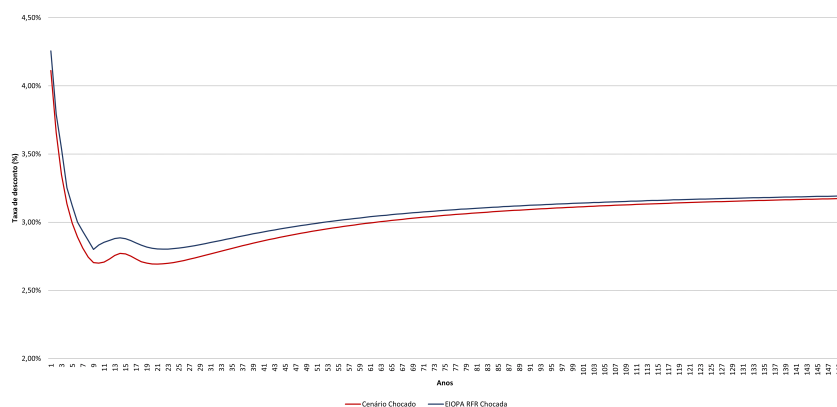


Figura 5.5: Taxas de juro obtidas pela ferramenta (vermelho) vs publicadas pela EIOPA (azul) — cenário chocado.

O teste de correlação de *Pearson* indicou correlação linear estatisticamente significativa entre os resíduos e as maturidades ($p\text{-value} = 0$), visualmente perceptível na Figura 5.6. Contudo, os valores absolutos dos resíduos são reduzidos (máximo de 0,24 pb) e a origem dessa correlação é atribuível aos fatores anteriormente descritos. Assim, considera-se que tal efeito é imaterial para a análise e não compromete a robustez da curva resultante.

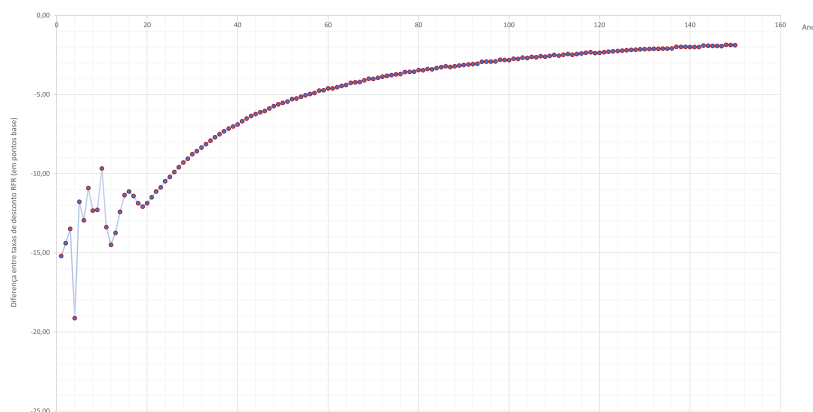


Figura 5.6: Resíduos da estrutura temporal de juro — EIOPA vs ferramenta, cenário de choque.

Conclui-se, portanto, que a metodologia de cálculo e aplicação de choques à RFR se encontra devidamente validada, produzindo resultados fiáveis e consistentes, tanto para o cenário base como para o cenário chocado.

5.3.2 Validações na implementação dos choques

A validação da implementação dos choques constitui uma etapa indispensável para garantir a fiabilidade do exercício. Esta validação permite assegurar que os impactos observados decorrem exclusivamente da metodologia definida e não de inconsistências no tratamento dos dados ou de erros de codificação.

Neste contexto, a validação da ferramenta decorreu durante o próprio processo de implementação, recorrendo a testes unitários e de integração para confirmar, passo a passo, que os módulos reagem corretamente às variações introduzidas e que a agregação final dos resultados se mantinha consistente. Este procedimento reforçou a robustez do modelo e aumentou a confiança nos resultados produzidos, reduzindo o risco de conclusões enviesadas decorrentes de falhas técnicas ou de pressupostos incorretamente aplicados

TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta foi intencionalmente concebida pelo autor de forma modular, assegurando flexibilidade e escalabilidade. Esta decisão metodológica reflete a opção de criar uma solução não apenas aplicável no presente, mas também preparada para incorporar uma panóplia de desenvolvimentos futuros, reforçando a sua utilidade como instrumento de supervisão prudencial.

6.1 O estado atual da ferramenta

É sabido que a ferramenta desenvolvida emprega simplificações metodológicas e computacionais. Nesta secção caracteriza-se o seu estado atual, destacando não apenas os principais méritos, mas também as limitações e pontos de melhoria identificados. A análise organiza-se em duas vertentes: a metodológica e a de implementação computacional.

6.1.1 Recomendações metodológicas

Como referido na secção 2.3, o trabalho realizado durante o estágio na ASF permitiu o desenvolvimento de uma metodologia de ST, numa abordagem *Top-down*. Devido à abrangência dos tópicos envolvidos, à falta de fontes oficiais, e ao tempo de desenvolvimento limitado, o verdadeiro desafio consistiu em conceber uma metodologia e uma ferramenta plenamente funcional para os exercícios de ST nesta perspetiva, apesar das características dos reportes de QRT.

O primeiro desafio foi a consolidação da metodologia no âmbito dos resultados obtidos, uma vez que, embora tenha por base os princípios de Solvência II, adota simplificações metodológicas que ainda não foram avaliadas no contexto da fiabilidade dos resultados. Por conseguinte, a abordagem *Top-down* carece de comparação direta aos exercícios *Bottom-up* não apenas para garantir a fiabilidade das análises, mas também incorporar novas abordagens de índole exploratória, sejam elas econométricas ou até *machine learning*.

Um aspeto que carece de desenvolvimento adicional prende-se com a incorporação da capacidade de absorção de perdas, designadamente através de impostos diferidos (*LACDT*) e da flexibilidade nos passivos técnicos (*LACTP*). A ausência destes mecanismos

na metodologia atual implica que os resultados obtidos poderão sobrestimar os impactos dos choques, pelo que a sua modelação constitui uma extensão natural e necessária para aumentar a robustez da ferramenta.

Outro aspeto a referir é a necessidade de consideração das rubricas que no presente trabalho não foram alvo de choque, mas que são também importantes para um aspeto mais realista da ferramenta. Destacam-se algumas componentes, tais como (i) Choques nos CFs de resseguro (ou *Reinsurance inflows*); (ii) Choque de resgates (ou *Mass Lapse*); (iii) Prémios subscritos (ou *Written premia*), entre outros.

Para investigações futuras, sugere-se ainda a utilização de bases de dados financeiros avançados, tais como a *Bloomberg* ou a *Refinitiv*, de forma a capturar o efeito da convexidade dos ativos.

Por fim, propõe-se que, nos choques relativos a ações, seja incorporada maior granularidade ao nível da indústria, permitindo avaliar impactos diferenciados consoante o setor de atividade.

6.1.2 Recomendações na implementação computacional

Na implementação computacional, destaca-se a necessidade de maior flexibilidade no tratamento das maturidades ao interpolar os choques, conforme discutido na secção 5.3.1. A utilização dos *splines* cúbicos, na forma atual, obriga à introdução de pontos em todas as maturidades, mesmo quando não existem observações diretas. Uma melhoria natural seria permitir a interpolação apenas com base nos pontos efetivamente disponíveis, preservando a suavidade da curva ao longo de todo o horizonte temporal. Esta adaptação reduziria a carga manual, aumentaria a eficiência e tornaria a ferramenta mais prática neste contexto.

6.2 Reflexão sobre o estado futuro da ferramenta

A arquitetura modular da ferramenta, apresentada no Apêndice B.1, poderia permitir a execução de múltiplas iterações de cenários, de forma eficiente, recorrendo apenas a duas funções que a compõem: `AplicarChoquesMercado()`, para o lado dos ativos, e `AplicarChoquesSegurador()`, para o lado dos passivos. Esta estrutura viabilizaria a realização de análises de sensibilidade⁵⁹ e simulações estocásticas, incluindo as Simulações de *Monte Carlo* (SMC), de forma integrada.

A aplicação de SMC neste contexto traduzia-se num avanço significativo face à abordagem determinística tradicional dos exercícios de ST. Enquanto os cenários determinísticos respondem à questão “o que acontece se este choque ocorrer?”, a SMC permitiria quantificar a distribuição completa de resultados decorrentes da incerteza associada aos choques — por exemplo, variações nas taxas *Swap*, inflação, frequência e severidade de sinistros. Assim, cada iteração combina aleatoriamente as variáveis de choque, gerando um novo balanço projetado e capturando interações complexas entre ativos e passivos.

⁵⁹Efetivamente, a secção 5.2.4 já dispõe de um resultado gerado dessa funcionalidade.

Com esta abordagem, é possível estimar métricas probabilísticas de risco, como o *Value-at-Risk* (VaR) e o *Tail-Value-at-Risk* (TVaR), não apenas para rubricas específicas do balanço, mas também para *proxies* do SCR e do MCR, acrescentando desta forma valor analítico e exploratórios na gestão de riscos.

CONCLUSÃO

O setor segurador na economia é fundamental para promover os investimentos e a mitigação dos riscos dos operadores económicos. Porém, a prática do mercado segurador diverge, por vezes, dos pressupostos teóricos, necessitando, desta forma, de um regulador que garanta a coesão entre os agentes envolvidos.

A adoção do regime de Solvência II após a crise financeira de 2008 veio acompanhada da adoção de instrumentos macroprudenciais. A nível europeu, a EIOPA institucionalizou os exercícios de ST em abordagem *Bottom-up* na sua supervisão macroprudencial, visando avaliar, com um elevado nível de detalhe, a resiliência do setor segurador face a cenários adversos. Todavia, estes exercícios implicam um esforço operacional significativo, exigindo a participação dos operadores de mercado. Adicionalmente, os choques verificados nos últimos anos e a crescente probabilidade de materialização do risco sistémico tornaram necessária a adoção de ferramentas mais ágeis para a realização dos exercícios de ST.

Desta forma, a metodologia e a ferramenta de implementação dos exercícios de ST numa abordagem *Top-down* desenvolvidas neste trabalho foram concebidas para reforçar a supervisão prudencial da ASF a nível nacional, oferecendo um instrumento operacional e eficiente para avaliar a resiliência do setor segurador face a choques de mercado e específicos do setor. O contributo desta abordagem *Top-down* centra-se na capacidade de superar as limitações subjacentes dos exercícios de ST na abordagem *Bottom-up* ao produzir, com rapidez e sem esforço operacional acrescido, uma leitura integrada do balanço económico sob cenários adversos, tanto ao nível agregado do mercado como ao nível individual das empresas de seguros.

Do ponto de vista metodológico, o trabalho realizado consolidou uma cadeia de conteúdos de vertente atuarial, matemática e de computação. Desenvolveu-se e implementou-se metodologias de choques de mercado, choques específicos do setor segurador, e a reconstrução da metodologia que a EIOPA emprega no cálculo da curva das taxas de juro (RFR). A esta metodologia, reconhecem-se, contudo, limitações que balizam o perímetro dos resultados, nomeadamente à falta de informação oficial no âmbito da abordagem de *Top-down*, às características pouco granulares dos dados de reporte regular (as ARS e QRS), e ao limitado tempo de desenvolvimento e implementação da metodologia.

Em termos práticos, a ferramenta de ST desenvolvida neste trabalho conta com um total de 15 tabelas de choques, das quais 10 correspondem aos choques mercado, quatro aos choques específicos do setor segurador, e uma de alteração dos parâmetros de *Smith-Wilson* que refletem as perspetivas de longo prazo (UFR) e a taxa (α) a que a curva converge para a UFR. Complementarmente, a ferramenta foi validada ao longo da sua construção e testada com um cenário adaptado do exercício de ST de 2024 da EIOPA. Clarificando que os comentários, interpretações e justificações neste documento são da exclusiva responsabilidade do autor e não têm o objetivo de vincular conclusões assertivas sobre o setor segurador ou entidades sediadas em Portugal.

Neste exercício de validação, os ativos agregados reduziram-se de 53 238,91 M€ para 48 045,51 M€ (-9,75%) e os passivos de 46 715,46 M€ para 41 894,98 M€ (-10,32%). Esta evolução traduziu-se num decréscimo do EAL de 6 523,45 M€ para 6 150,53 M€ (-372,92 M€; -5,72%), apesar de uma ligeira subida do AoL de 1,14 para 1,15 (+0,01; +0,63%). As TPs aumentaram 2,10% nos Ramos Não Vida (+79,68 M€), enquanto que no Ramo Vida diminuíram de 6,87% (-2 657,93 M€), e um alívio adicional nas carteiras UL. Estes resultados, meramente ilustrativos e obtidos em ambiente de teste, confirmam a consistência interna da abordagem *Top-down* e a capacidade da ferramenta para produzir leituras plausíveis sob o cenário adverso.

Convém acrescentar que, tratando-se de uma abordagem *Top-down*, subsiste um *trade-off* entre, por um lado, a rapidez e o custo operacional da metodologia e, por outro, a fiabilidade dos resultados obtidos face aos exercícios de ST conduzidos segundo a abordagem *Bottom-up*. Por conseguinte, identificam-se oportunidades de melhoria interna tanto na metodologia como na própria ferramenta. Sugere-se ainda que os exercícios de ST com base na abordagem *Top-down* sejam realizados em paralelo com os exercícios *Bottom-up*, de modo a permitir a sua calibração e a reforçar a fiabilidade dos resultados produzidos.

Por fim, importa referir que a presente arquitetura de cálculo, organizada em módulos *python*, permitiria que o processo de ST se posicionasse aquém dos exercícios tradicionais. De forma ótima⁶⁰, seria possível implementar múltiplos cenários simultaneamente e condicionados por uma ou mais distribuições conjuntas de choques, resultando não de um balanço único por entidade, mas numa distribuição empírica de balanços. Através dessa distribuição, seria possível inferir novos indicadores, tais como o VaR e TVaR, bem como captar variações perante os cenários adversos, ficando estas reservadas a desenvolvimentos futuros.

⁶⁰A ferramenta já está otimizada neste âmbito.

BIBLIOGRAFIA

- Arena, M. (2008). Does insurance market activity promote economic growth? A cross-country study for industrialized and developing countries. *Journal of Risk and Insurance*, 75, 921–946 (ver p. 3).
- ASF. (2023, junho). *Relatório de Estabilidade Financeira* ([Online; accessed 08-March-2025]). Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões (ASF). https://www.asf.com.pt/documents/d/site-asf/ref_jun23-1? (ver p. 1).
- ASF. (2025). *Balanço do Plano Estratégico 2020–2024*. Obtido 2025-05-25, de <https://www.asf.com.pt/w/asf-publica-balan%C3%A7o-do-plano-estrat%C3%A9gico-2020-2024> (ver p. 4).
- Banco Santander Totta. (2021). O que é a alocação de ativos? [acessado em 1 de setembro de 2025]. (Ver p. 47).
- Bravo, J. M. V. (2007). *Tábuas de Mortalidade Contemporâneas e Prospectivas: Modelos Estocásticos, Aplicações Atuariais e Cobertura do Risco de Longevidade* [Tese de Doutoramento em Economia]. Universidade de Évora [Orientador: Prof. Doutor Carlos Manuel Pereira da Silva; Co-orientador: Prof. Doutor Carlos Alberto dos Santos Braumann]. (Ver p. 9).
- Chandel, P., & Kumar, N. (2016). An Analysis of the Growth of Indian Insurance Industry with Reference to Top Ten Economies of the World. *Studies in Asian Social Science*, 3 (ver p. 3).
- de Boor, C. (2001). *A Practical Guide to Splines* (Revised Edition, Vol. 27). Springer-Verlag. (Ver pp. 9, 10).
- EIOPA. (2022). Guidelines on Valuation of Technical Provisions – Consolidated Version [EIOPA-BoS-14/166 and EIOPA-BoS-22/217]. https://www.eiopa.europa.eu/publications/revised-guidelines-valuation-technical-provisions_en (ver p. 12).
- EIOPA. (2024a). *2024 Insurance Stress Test – Technical Specifications* (Technical Report N.º EIOPA-BoS-24-087) (Accessed: 2025-04-16). EIOPA. https://www.eiopa.europa.eu/document/download/919c2f02-923b-45be-8115-7b979b24abf0_en?filename=EIOPA-BoS-24-087_2024%20Stress%20test%20-%20Technical%20specifications_v04.pdf (ver pp. 20, 21).

- EIOPA. (2024b). *Financial Stability Report*. <https://www.eiopa.europa.eu> (ver p. 5).
- EIOPA. (2024c). *Insurance stress test 2024*. Obtido 2025-05-26, de https://www.eiopa.europa.eu/insurance-stress-test-2024_en#:~:text=EIOPA%20carriers%20out%20regular%20insurance,liquidity%20position%20of%20European%20insurers (ver pp. 4, 26, 29, 42–49, 67–72).
- EIOPA. (2024d, setembro). *Updated Technical Documentation for the Calculation of the Risk-Free Interest Rate Term Structures* (rel. téc.) (Applicable as of 1 January 2025). EIOPA. https://www.eiopa.europa.eu/updated-technical-rfr-documentation-applicable-1-january-2025-2024-09-24_en (ver pp. 15, 16, 18, 19, 32, 34).
- EIOPA. (2025a). EIOPA-14-052 Annex IV V — CIC Table (Excel) [Accessed: 2025-09-30]. (Ver pp. xvii, 84, 85).
- EIOPA. (2025b). Supervisory reporting — DPM and XBRL — The PEPP Data Point Models and XBRL Taxonomies [Accessed: 2025-09-30]. (Ver pp. 81–83).
- ESRB. (2022, novembro). Alerta do Comité Europeu do Risco Sistémico de 22 de setembro de 2022 relativo a vulnerabilidades no sistema financeiro da União [Jornal Oficial da União Europeia C 423/1]. https://esrb.europa.eu/pub/pdf/warnings/esrb_warning220929_on_vulnerabilities_union_financial_system-6ae5572939.pt.pdf (ver p. 1).
- Eurostat. (2023). Glossary:Expert judgment [Accessed: 2025-07-30]. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Expert_judgment (ver p. xvi).
- Gillespie, O., Hutchinson, E., Reynolds, S., & Tassoni, M. L. (2017, julho). *Solvency II: Recalculation of the Transitional Measure on Technical Provisions* (rel. téc.) (Milliman Solvency II Update). Milliman. <https://www.milliman.com/en/insight/solvency-ii-recalculation-of-the-transitional-measure-on-technical-provisions> (ver p. 31).
- Hindley, D. (2018). *Claims Reserving in General Insurance*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107076938> (ver pp. 13, 14).
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2014). *Forecasting: Principles and Practice*. OTexts. robjhyndman.com/uwa (ver p. 10).
- Investopedia. (2023a). Modified Duration [Accessed: 2025-07-30]. <https://www.investopedia.com/terms/m/modifiedduration.asp> (ver p. xvi).
- Investopedia. (2023b). Swap [Accessed: 2025-07-30]. <https://www.investopedia.com/terms/s/swap.asp> (ver p. xvi).
- Lourenço, J. M. (2021). *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. <https://github.com/joaoLourenco/novathesis/raw/main/template.pdf> (ver p. i).
- Mack, T. (1993). Distribution-free calculation of the standard error of chain ladder reserve estimates. *Astin Bulletin*, 23(2), 213–225 (ver p. 14).
- OECD. (2024). *Global Insurance Market Trends 2024*. <https://doi.org/10.1787/5b740371-en> (ver p. 3).

- Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. (2009). Diretiva 2009/138/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de novembro de 2009, relativa ao acesso à atividade das empresas de seguros e resseguros e ao seu exercício (Solvência II) [Acedido em: 26 de fevereiro de 2025]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32009L0138> (ver pp. 4, 11, 13).
- Portugal. (2015). Decreto-Lei n.º 1/2015, de 6 de janeiro [Diário da República, I Série]. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/1-2015> (ver p. 4).
- Qin, C., Xu, F., Chen, Y., Tian, M., & Liu, Z. (2021). Research report on domestic and foreign insurance products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 692(4), 042122. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/692/4/042122> (ver p. 3).
- Radtke, M., Schmidt, K. D., & Schnaus, A. (Eds.). (2012). *Handbook on Loss Reserving*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30056-6> (ver p. 14).
- Schoenberg, I. J. (1988). Contributions to the Problem of Approximation of Equidistant Data by Analytic Functions. Em C. de Boor (Ed.), *I. J. Schoenberg Selected Papers* (pp. 3–57). Birkhäuser Boston. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0433-1_1 (ver p. 9).
- Smith, A., & Wilson, T. (2001). *Fitting Yield Curves with Long Term Constraints* (rel. téc.) (Technical Report). Bacon & Woodrow. London. (Ver p. 18).
- Starita, M. G., & Malafronte, I. (2014). *Capital Requirements, Disclosure, and Supervision in the European Insurance Industry: New Challenges towards Solvency II* (1ª ed.). Palgrave Macmillan London. <https://doi.org/10.1057/9781137390844> (ver pp. 4, 5, 7, 12).

TABELAS DE CHOQUES

Este apêndice destina-se a apresentar a estrutura das tabelas choques da ferramenta de ST na abordagem *Top-down*, e divide-se em duas vertentes: (i) tabelas inerentes aos choques no mercado, e (ii) tabelas de choques específicos ao setor segurador. Para efeitos de simplicidade, a Tabela dos novos parâmetros do modelo *Smith-Wilson* enquadra-se na primeira tipologia de choques uma vez se encontra no âmbito dos choques às taxas *Swaps* na ferramenta.

A.1 Tabelas de choques de mercado

Como referido na secção 4.3, os primeiros choques a serem aplicados durante o exercício de ST na abordagem *Top-down* serão os de mercado uma vez que estes se repercutem posteriormente nas responsabilidades das empresas de seguros. Os choques apresentados subdividem-se em duas componentes, dependendo se estão integradas na equação (3.38), sejam doravante designadas por "ativos de tipologia semelhante a títulos da dívida", ou a equação (3.39), por "ativos de tipologia semelhante a ações", respetivamente.

A Figura A.1 apresenta a tabela, da ferramenta desenvolvida, inerente aos parâmetros do modelo de extrapolação de *Smith-Wilson*, ver secção 3.3.5.2. Quando não é preenchida, a ferramenta assume os parâmetros de base previamente definidos na RFR de base da EIOPA à data de referência.

Parâmetros Smith-Wilson	Valor
Alpha (α)	
Ultimate Forward rate (UFR)	

Figura A.1: Tabela dos parâmetros do modelo de *Smith-Wilson*.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A.1.1 Tabelas de choques de mercado em ativos com tipologia semelhante a títulos de dívida

A primeira tabela de choques a considerar é a tabela relativa aos choques às taxas *Swap*, em *pb*.

A Tabela apresentada na Figura A.2 assume particular relevância no funcionamento global do motor dos STs. Em primeiro lugar, integra a equação (3.37), a qual, em conjunto com os choques nos *spreads* definidos nas tabelas subsequentes da mesma tipologia, permite a aplicação dos choques através da equação (3.38). Em segundo lugar, a curva de desconto RFR EUR⁶¹ é construída com base neste instrumento financeiro — os *Interest Rate Swaps* — pelo que qualquer alteração nesta tabela se reflete diretamente na estrutura de desconto.

Choques aos SWAPs, nomeadamente IRS (pontos base)								
País/Região	1Y	2Y	3Y	5Y	7Y	10Y	15Y	20Y
Euro Area (EA)								
BULGARIA								
CZECHIA								
DENMARK								
HUNGARY								
POLAND								
ROMANIA								
SWEDEN								
CANADA								
JAPAN								
UNITED KINGDOM								
UNITED STATES								
Other Advanced Economies								
Emerging and Developing Economies								

Figura A.2: Tabela dos choques a aplicar às taxas *swap*, por região e maturidade, em pontos base.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A segunda Tabela, representada na Figura A.3, refere-se aos choques aos *spreads* dos títulos de dívida soberana, em *pb*.

Como referido anteriormente no documento, os choques por maturidade, Figura A.2 e Figura A.3, são interpolados pela técnica de *splines* cúbicos a uma precisão de 1 ano na extrapolação de *Smith-Wilson* e 0,01 anos nos restantes casos.

Choques aos Spreads das Dívidas Soberanas (pontos base)								
País/Região	1Y	2Y	3Y	5Y	7Y	10Y	15Y	20Y
AUSTRIA								
BELGIUM								
BULGARIA								
CROATIA								
CYPRUS								
CZECHIA								
DENMARK								
ESTONIA								
FINLAND								
FRANCE								
GERMANY								
GREECE								
HUNGARY								
IRELAND								
ITALY								
LATVIA								
LITHUANIA								
LUXEMBOURG								
MALTA								
NETHERLANDS								
POLAND								
PORTUGAL								
ROMANIA								
SLOVAKIA								
SLOVENIA								
SPAIN								
SWEDEN								
European Union Institutions								
Supranational Issuers								
CANADA								
JAPAN								
UNITED KINGDOM								
UNITED STATES								
Other Advanced Economies								
Other Emerging and Developing Economies								

Figura A.3: Tabela de choques, em pontos base, a aplicar nos *spreads* da dívida soberana.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

As tabelas subsequentes aplicam choques à dívida privada, à dívida coberta e aos empréstimos e hipotecas, respetivamente. E estão desagregadas pela qualidade creditícia

⁶¹Recorde-se que esta curva é relativa às economias que adotam a moeda do euro.

(CQS), país/região e a Tabela A.4 também se divide por indústria (financeira ou não financeira).

Choques aos Spreads das Dívidas Privadas (pontos base)								
País/Região	Indústria	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC
European Union	Financeira							
	Não Financeira							
UNITED KINGDOM	Financeira							
	Não Financeira							
UNITED STATES	Financeira							
	Não Financeira							
Other Advanced Economies	Financeira							
	Não Financeira							
Other Emerging and Developing Economies	Financeira							
	Não Financeira							

Figura A.4: Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos *spreads* da dívida privada.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Choques aos Spreads das obrigações cobertas (pontos base)				
País/Região	AAA	AA	A	BBB
European Union				
UNITED KINGDOM				
UNITED STATES				
Other Advanced Economies				
Other Emerging and Developing Economies				

Figura A.5: Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos *spreads* da dívida coberta.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Choques aos Spreads dos empréstimos - Mortgages and loans (RMBS) (pontos base)				
País/Região	AAA	AA	A	BBB
European Union				
UNITED KINGDOM				
UNITED STATES				
Other Advanced Economies				
Other Emerging and Developing Economies				

Figura A.6: Tabela de choques, em pontos base, a aplicar aos *spreads* nos empréstimos e hipotecas.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A.1.2 Tabelas de choques de mercado em ativos com tipologia semelhante a participações

As tabelas exibidas nesta secção aplicam os choques, em *pp*, por meio da equação (3.39).

A primeira, afeta às ações, emprega os choques a duas categorias: (i) Capital aberto, ou simplesmente ações cotadas em bolsa, e (ii) ao capital fechado, ou no termo inglês de *private equity*.

Choques aos mercados de ações e Capital fechado (pontos percentuais)		
País/Região	Capital aberto	Capital fechado
European Union		
CANADA		
JAPAN		
UNITED KINGDOM		
UNITED STATES		
Other Advanced Economies		
Other Emerging and Developing Economies		

Figura A.7: Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar às ações de mercado.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A segunda, na Figura A.8 corresponde aos choques aos ativos imobiliários, em *pp*. Estes choques são subdivididos por imobiliário residencial e imobiliário comercial e escritórios.

Choques ao Imobiliário (pontos percentuais)		
Pais/Região	Residencial	Comercial e Escritório
European Union		
FRANCE		
LUXEMBOURG		
PORTUGAL		
SPAIN		
Other Advanced Economies		
Other Emerging and Developing Economies		

Figura A.8: Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar no imobiliário.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A.1.2.1 Tabelas de choques nos fundos de investimento

Devido à característica apresentada na secção 4.3.2, foi necessário construir duas tabelas centralizadas nos choques aos CIUs. A primeira dirigida aos fundos de investimento com LTA, Figura A.9, e a segunda, fundos de investimentos sem LTA e que se baseia nos códigos CIC proveniente do *tempate* S.06.02.01.02.C0290, Figura A.10.

Choques aos Fundos (pontos percentuais)					
Pais/Região	Dívida Soberana	Dívida Privada	Fundos	RMBS	Imobiliários
European Union					
Other Advanced Economies					
Other Emerging and Developing Economies					

Figura A.9: Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar nos fundos de investimento (CIUs) com *Look-through approach*.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Choques aos Fundos sem <i>look-through</i> (pontos percentuais)						
Pais/Região	Dívida	Mercado monetário	Alocação de Ativos	Imobiliários	Alternativos	Infraestrutura
European Union						
CANADA						
JAPAN						
UNITED KINGDOM						
UNITED STATES						
Other Advanced Economies						
Other Emerging and Developing Economies						

Figura A.10: Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar nos fundos de investimento (CIUs) sem *Look-through approach*.

Uma particularidade destas tabelas é o facto dos choques às ações (capital aberto ou fechado) não ser explícito. Em vez disso, os choques das ações aplicam-se aos fundos de investimento através da Tabela A.7.

No entanto, a inexistência de informação sobre a *Duração Modificada* das obrigações impossibilitou a aplicação da equação (3.39), que combina o choque às taxas *spreads* com o efeito aditivo das taxas *Swap*. Deste modo, as obrigações foram tratadas de forma análoga às restantes classes de ativos, aplicando-se uniformemente o choque definido na equação (3.39).

A.1.3 Tabela de choques em investimentos em infraestrutura

Por último, a estrutura de choques em investimentos em infraestrutura é evidenciada pela Figura A.11. Esta tabela combina choques da secção A.1.1 e da secção A.1.2.

Choques à infraestrutura (pontos percentuais)			
País/Região	Títulos de dívida	Ações	Outros
European Union			
Other Advanced Economies			
Other Emerging and Developing Economies			

Figura A.11: Tabela de choques, em pontos percentuais, a aplicar aos investimentos na infraestrutura.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

A tabela referente aos investimentos em infraestrutura apresenta uma menor granularidade relativamente às anteriores. O cálculo dos choques depende da tabela das taxas *SWAP*, sendo que a rubrica “Títulos de dívida” segue os choques nos *spreads* descritos na secção A.1.1, aplicando-se de acordo com as equações (3.31) e (3.32).

A.2 Tabelas de choques específicos do setor segurador

Posteriormente aos choques de mercado, a ferramenta de ST na abordagem *Top-down* permite aplicar choques específicos ao setor segurador. Neste contexto, o acréscimo na inflação esperada ($\Delta\pi$), por outras palavras o montante em *pp* extra sobre a taxa de inflação utilizada pelas empresas de seguros, é o fator predominante, tanto nas tabelas dos Ramos Não Vida, expostas de forma agregada na Figura A.12, como no Ramo Vida, na Figura A.13.

NÃO VIDA

Acréscimo da inflação nas despesas de provisões de sinistros		Acréscimo da inflação nas despesas de provisões de prémios		Agravamento na sinistralidade futura, provisões de prémios	
Horizonte temporal (anos)	Acréscimo de inflação	Horizonte temporal (anos)	Acréscimo de inflação	Horizonte temporal (anos)	Agravamento
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
7		7		7	
9		9		9	
10		10		10	
15		15		15	
20		20		20	
25		25		25	
30		30		30	
>30		>30		>30	

Figura A.12: Choques específicos do setor segurador, Ramos Não Vida.

Fonte: Tabelas inspiradas no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

Dentro da Figura A.12 observa-se à esquerda o $\Delta\pi^{CP}$ nas despesas de provisões para sinistros, ao centro $\Delta\pi^{PP}$ nas despesas de provisões para prémios e à direita, diferente das outras, o agravamento no custo na sinistralidade futura ($\Delta Claims$), que é um fator

que combina o número de sinistros e o custo médio por sinistro que se espera ocorrer (na provisão para prémios).

Acréscimo da inflação	
Horizonte temporal (anos)	Acréscimo de inflação
1	
2	
3	
4	
5	
7	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
40	
50	
>50	

Figura A.13: Choques específicos do setor segurador, Ramo Vida.

Fonte: Tabela inspirada no exercício de *Stress Test* de 2024 da EIOPA (2024c) na abordagem *Bottom-up*.

APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta desenvolvida em *Python* tem o intuito de automatizar os cálculos do *Stress Test* abordado neste documento. Começa-se por apresentar a sua arquitetura modular e os passos a seguir na utilização da mesma e por último, os resultados que se esperam obter.

B.1 Arquitetura da ferramenta de *Stress Test* na abordagem *Top-down*

O entendimento sobre a ferramenta parte da análise da estrutura que compõe o processo. A Figura B.1 apresenta de forma esquemática as principais peças que formam o programa desenvolvido:

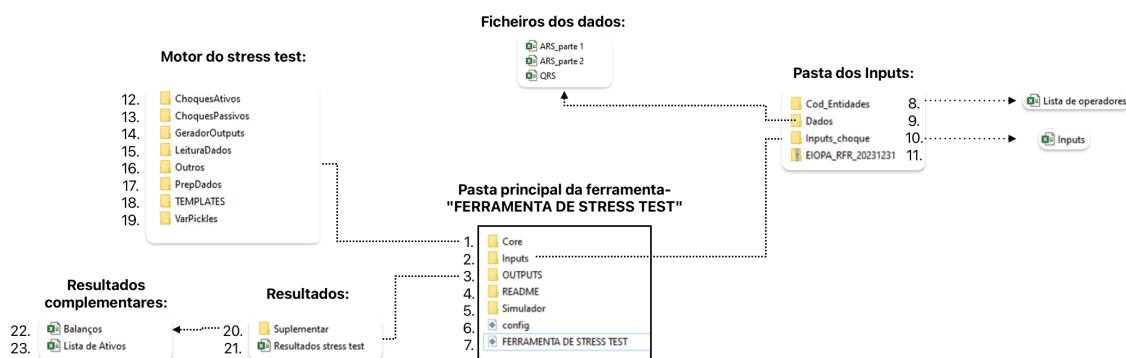


Figura B.1: Arquitetura da ferramenta de *Stress tests Top-down*. Para a identificação das componentes, estas estão enumeradas de 1 a 23.

Face à complexidade da análise proposta, a implementação computacional exigiu a criação de uma estrutura organizada, tal como demonstra a Figura B.1, composta por múltiplos módulos interdependentes. A ferramenta foi desenhada para permitir a atualização automática dos inputs, a aplicação dos múltiplos choques, e a exportação sistemática dos resultados, com mínima intervenção manual.

Adicionalmente, a mesma estrutura apresenta duas *features future-proof* para futuros desenvolvedores. A primeira destaca-se pela facilidade de acessar o código correspondente

APÊNDICE B. APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA

a uma determinada secção. Por exemplo, considere-se que se pretende alterar ou reforçar a metodologia de automatização da modelação dos *cash-flows*, então o processo resume-se intuitivamente da seguinte forma: aceder à pasta 1, ou seja o "Core", seguidamente à pasta 17 da preparação dos dados, aceder à pasta *ModelData* e o ficheiro *script* de *python* *ModelBuilder*, esquematicamente apresentada pela Figura B.2:

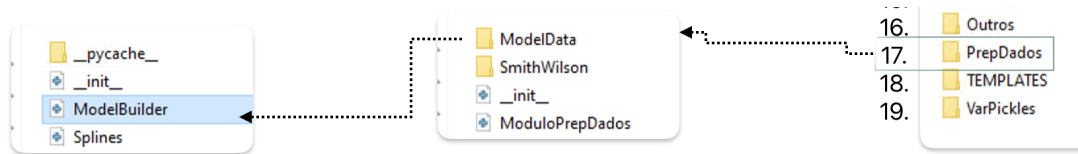


Figura B.2: Exemplo de atualização do *ModelBuilder*, o módulo de modelação dos dados.

A segunda *feature* desta arquitetura reside no "configurador", isto é o ficheiro *script* 6 da Figura B.1. Durante o processo de desenvolvimento ou de atualização da ferramenta, este *script* é útil pois permite trabalhar de forma inteligente e eficiente, evitando leituras desnecessárias de dados. Ou seja, além de ser o ficheiro que define o caminho das pastas, este apresenta o denominado "Developer Mode", que quando ativado (ou seja `DEBUG=True`) reduz a um tempo significativamente menor:

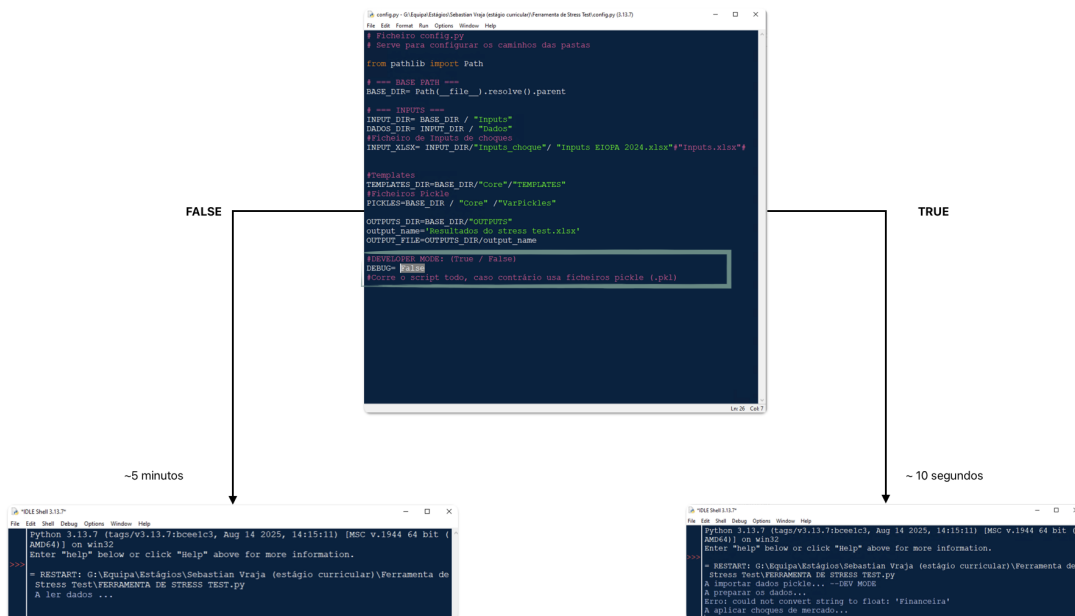


Figura B.3: Modo de Desenvolvedor - Permite reduzir o tempo de leitura para eventuais alterações na ferramenta.

É de salientar a existência da pasta 5 na Figura B.1 para o âmbito das simulações ou análises de múltiplos cenários, no entanto esta não foi possível desenvolver devido ao período de tempo limitado.

Em suma, a ferramenta desenvolvida de *Stress Test* na abordagem *Top-down* não se resume a um simples desenvolvimento, mas a uma infraestrutura de base e inovadora no

âmbito destes exercícios. Segue-se os passos na utilização do programa.

B.2 Manual do utilizador

O processo de *Stress Test* só é iniciado após a execução do código 7 da Figura B.1. Esta peça é fundamental na articulação de todos os módulos da ferramenta garantindo a coerência da lógica. No entanto, é necessário assegurar algumas condições essenciais previamente para que se obtenha o comportamento esperado:

1. Em primeiro lugar, toda a estrutura de ficheiros deve corresponder à da Figura B.1. Caso se pretenda alterar o nome os ficheiros ou pastas, deve ser conferido com o "configurador"⁽⁷⁾, porém não é recomendado pelo autor;
2. No mesmo contexto, certificar-se que o ficheiro de *input* e/ou de *output* (ou saída) corresponde ao pretendido. Tendo a devida atenção aos nomes dos ficheiros *output*, quando existentes são substituídos pelo novo exercício de *Stress Test*;
3. Verificar que não existe nenhum ficheiro aberto com o nome igual do output;
4. No ficheiro de inputs, da pasta 10 da ferramenta, preencher com os choques do cenário definido. Quando não são referidos, a ferramenta assume igual a zero;
5. Verificar se a lista de operadores está atualizada;
6. Arrastar a pasta *ZIP*, relativa às taxas de juro, para a pasta 2 da ferramenta⁶². Em casos de coexistir mais que uma pasta *ZIP*, a ferramenta utilizará a mais a recente.
7. Desligar o modo de "desenvolvedor" para que o programa possa ler os dados. Caso os dados já tenham sido lidos anteriormente, e se pretenda trabalhar constantemente com os mesmos dados, o modo pode ser ativado.

Desta forma, assegurando a condições acima descrita, deve-se executar as ferramenta no *script 7*, obtendo os resultados do exercício numa folha *Excel*. A título de demonstração, a secção seguinte apresenta algumas estruturas.

⁶²A EIOPA publica mensalmente as taxas RFR: https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/risk-free-interest-rate-term-structures_en.

B.3 Estrutura visual da ferramenta

Esta secção visa, a título de exemplo, demonstrar a estrutura de resultados⁶³ que se espera.

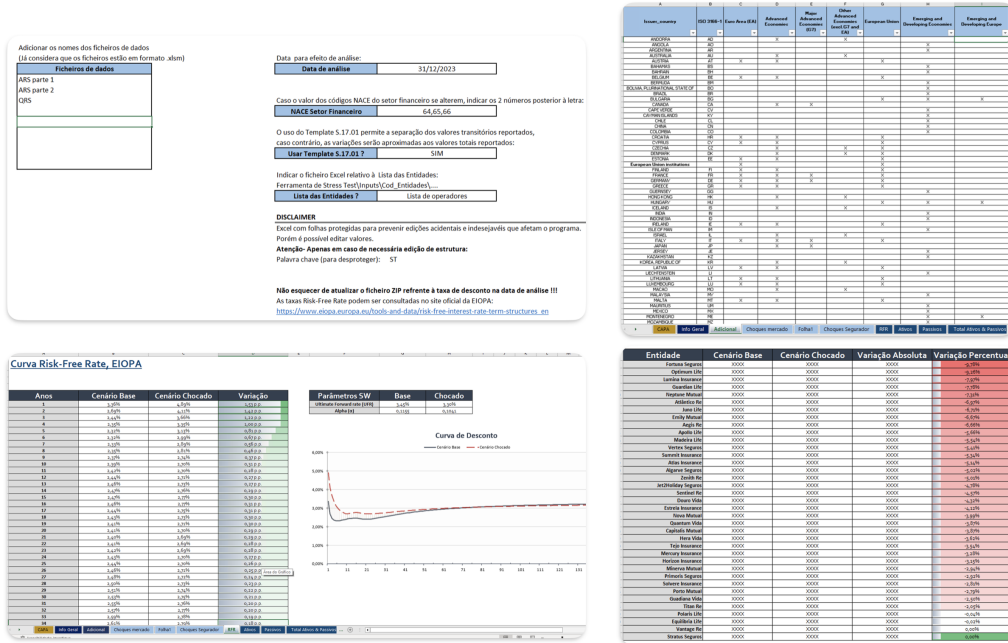


Figura B.4: Exemplo 1- Apresentação da ferramenta.



Figura B.5: Exemplo 2- Apresentação da ferramenta.

Em termos práticos e visuais, a ferramenta conta com tabelas e gráficos de *Excel*, bem como formatações avançadas.

⁶³Nota: Os valores apresentados são fictícios e servem apenas para fins ilustrativos.

FORMALIZAÇÃO ALGÉBRICA E ALGORITMO DE IMPLEMENTAÇÃO

Esta secção apresenta o racional de alguns desenvolvimentos na metodologia de ST em abordagem *Top-down*. Apresenta-se primeiramente a dedução das melhores estimativas face ao cenário de choques e de seguida o algoritmo implementado na dedução da curva taxa de juro RFR.

C.1 Dedução das melhores estimativas das responsabilidades em cenário de choques

Esta secção tem como objetivo apresentar o racional subjacente à obtenção das expressões das BEs ajustadas, resultantes da aplicação da bateria de choques definida na metodologia.

C.1.1 Dedução das melhores estimativas do Ramo Vida

A primeira formalização apresentada é a dedução da expressão (4.9) no cálculo da $BE_{shocked}$ do Ramo Vida.

Como referido na secção 4.4.1, a metodologia de ST no Ramo Vida baseia-se no pressuposto de que a inflação apenas afeta os CFs das despesas, isto é:

$$E[CF_t^{Expenses}]^{shocked} = E[CF_t^{Expenses}] \cdot \prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i) \quad (C.1)$$

Ora, a variação absoluta do BE neste ramo é dada por:

$$\Delta E[CF_t^{OUT,expenses}] = E[CF_t^{OUT,expenses}] - E[CF_t^{shocked}^{OUT,expenses}] \quad (C.2)$$

Substituindo a expressão (C.1) na equação (C.2), obtém-se:

$$\Delta E[CF_t^{OUT,expenses}] = E[CF_t^{OUT,expenses}] \cdot \left[\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i) - 1 \right] \quad (C.3)$$

APÊNDICE C. FORMALIZAÇÃO ALGÉBRICA E ALGORITMO DE IMPLEMENTAÇÃO

Deste modo, o valor dos CFs no Ramo Vida após o choque, $E[CF_t^{shocked}]$, é dado pela expressão:

$$E[CF_t^{shocked}] = E[CF_t] + \Delta E[CF_t^{OUT,expenses}] \quad (C.4)$$

E substituindo a expressão (C.3) em (C.4), obtém-se:

$$E[CF_t^{shocked}] = E[CF_t] + E[CF_t^{OUT,expenses}] \cdot \left[\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i) - 1 \right] \quad (C.5)$$

Finalmente, obtendo o valor atual desses CF utilizando a taxa de juro chocada, $RFR_t^{shocked}$, obtém-se a melhor estimativa das responsabilidades chocada, $BE_{shocked}$:

$$BE_{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] + E[CF_t^{OUT,expenses}] \cdot \left[\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i) - 1 \right]}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \quad (C.6)$$

C.1.2 Dedução das melhores estimativas nos Ramos Não Vida

Nos Ramos Não Vida, a BE distingue-se em duas vertentes: (i) Provisões para sinistros, BE^{CP} ; e (ii) Provisões para prémios, BE^{PP} .

Na vertente das provisões para sinistros, o acréscimo de inflação ($\Delta\pi^{CP}$) na BE afeta integralmente o CF:

$$E[CF_t^{shocked}] = E[CF_t] \cdot \prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i^{CP}) \quad (C.7)$$

E, obtendo o valor atualizado com a curva taxa de juro chocada ($RFR_t^{shocked}$), obtém-se a BE_{CP} :

$$BE_{CP}^{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] \cdot \prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i^{CP})}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \quad (C.8)$$

A segunda, segue o mesmo racional da equação C.6, mas inclui adicionalmente o agravamento da sinistralidade futura ($\Delta Claims$), isto é:

$$BE_{PP}^{shocked} = \sum_{t=1}^n \frac{E[CF_t] + \Delta Claims_t \cdot E[CF_t^{Future Benefits}] + E[CF_t^{expenses}] \cdot \left[\prod_{i=1}^t (1 + \Delta\pi_i^{PP}) - 1 \right]}{(1 + RFR_t^{shocked})^t} \quad (C.9)$$

C.2 Algoritmo

Esta secção apresenta o algoritmo (com o pseudocódigo) inerente à obtenção da curva de juro chocada RFR.

Algorithm 1: Extrapolação Smith–Wilson com Choques de Mercado

Input: $M_{\text{Target}} = \{v\}$; $M_{\text{Obs}} = \{u\}$; Q_b ; UFR , α ; vetor de choques Δr ; parâmetros α^* , UFR^* .

Output: Taxas de juro (spot, anualizadas) para M_{Target} .

Coração de Wilson:

$$H(u, v; \alpha) = \frac{1}{2}(\alpha(u + v) + e^{-\alpha(u+v)} - \alpha|u - v| - e^{-\alpha|u-v|}).$$

Passo 1. Fatores de desconto base.

$$H_{uu} \leftarrow H(M_{\text{Obs}}, M_{\text{Obs}}; \alpha);$$

$$d \leftarrow \exp[-\ln(1 + UFR) \cdot M_{\text{Obs}}], D \leftarrow \text{diag}(d);$$

$$p_u \leftarrow d + D H_{uu} Q_b.$$

Passo 2. Aplicação de choques.

$$r \leftarrow (1/p_u)^{1/M_{\text{Obs}}} - 1 \text{ (discreto);}$$

$$r^* \leftarrow r + \Delta r;$$

$$p_u^* \leftarrow (1 + r^*)^{-M_{\text{Obs}}}.$$

Passo 3. Recalibração.

$$H_{uu}^* \leftarrow H(M_{\text{Obs}}, M_{\text{Obs}}; \alpha^*);$$

$$Q_b^* \leftarrow (H_{uu}^*)^{-1}((p_u^* - d)/d).$$

Passo 4. Extrapolação.

$$H_{vu}^* \leftarrow H(M_{\text{Target}}, M_{\text{Obs}}; \alpha^*);$$

$$p(v) \leftarrow \exp[-\ln(1 + UFR^*) \cdot M_{\text{Target}}] \cdot (1 + H_{vu}^* Q_b^*).$$

$$r_{\text{out}}(v) \leftarrow p(v)^{-1/M_{\text{Target}}} - 1.$$

TABELAS RELEVANTES

Este anexo reúne as tabelas consideradas mais relevantes para a compreensão da metodologia desenvolvida. Incluem-se: (i) os mapas dos QRTs; (ii) a classificação dos ativos segundo o código CIC; e (iii) a agregação das linhas de negócio dos Ramos Não Vida.

I.1 Mapas dos *Quantitative Reporting Templates*

Incluem-se, em anexo, mapas QRT. A versão completa pode ser consultada em:

https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/supervisory-reporting-dpm-and-xbrl_en.

I.1.1 S.02.01.01.01- Balanço económico

			Solvency II value C0010	Statutory accounts value C0020	
Assets	Goodwill		R0010		
	Deferred acquisition costs		R0020		
	Intangible assets		R0030		
	Deferred tax assets		R0040		
	Pension benefit surplus		R0050		
	Property, plant & equipment held for own use		R0060		
			R0070		
		Property (other than for own use)	R0080		
		Holdings in related undertakings, including	R0090		
			R0100		
	Investments (other than assets held for index-linked and unit-linked contracts)	Equities	Equities - listed	R0110	
			Equities - unlisted	R0120	
		Bonds	Government Bonds	R0130	
			Corporate Bonds	R0140	
			Structured notes	R0150	
			Collateralised securities	R0160	
		Collective Investments Undertakings	R0170		
		Derivatives	R0180		
		Deposits other than cash equivalents	R0190		
		Other investments	R0200		
		Assets held for index-linked and unit-linked contracts	R0210		
			R0220		
	Loans and mortgages	Loans on policies	R0230		
		Loans and mortgages to individuals	R0240		
		Other loans and mortgages	R0250		
		R0260			
		R0270			
	Reinsurance recoverables from:	Non-life and health similar to non-life	Non-life excluding	R0280	
			Health similar to non-	R0290	
		Life and health similar to life, excluding health and index-linked and	Health similar to life	R0300	
			Life excluding health and index-linked and unit-linked	R0310	
		Life index-linked and unit-linked	R0320		
		R0330			
	Deposits to cedants		R0340		
	Insurance and intermediaries receivables		R0350		
	Reinsurance receivables		R0360		
	Receivables (trade, not insurance)		R0370		
	Own shares (held directly)		R0380		
	Amounts due in respect of own fund items or initial fund called up but		R0390		
	Cash and cash equivalents		R0400		
	Any other assets, not elsewhere shown		R0410		
			R0420		
	Total assets		R0500		
			R0510		
	Liabilities	Technical provisions - non-life	Technical provisions - non-life (excluding health)	R0520	
Technical provisions			R0530		
Best Estimate			R0540		
		Risk margin	R0550		
		R0560			
Technical provisions - health (similar to non-life)		Technical provisions - health (similar to non-life)	R0570		
		Technical provisions	R0580		
		Best Estimate	R0590		
		Risk margin	R0600		
		R0610			
Technical provisions - life (excluding index-linked and unit-linked)		Technical provisions - health (similar to life)	R0620		
		Technical provisions	R0630		
	Best Estimate	R0640			
	Risk margin	R0650			
	R0660				
Technical provisions - life (excluding health and index-linked and unit-linked)	Technical provisions - life (excluding health and index-linked and unit-linked)	R0670			
	Technical provisions	R0680			
	Best Estimate	R0690			
	Risk margin	R0700			
	R0710				
Technical provisions - index-linked and unit-linked	Technical provisions calculated as a whole	R0720			
	Technical provisions	R0730			
	Best Estimate	R0740			
	Risk margin	R0750			
Other technical provisions		R0760			
Contingent liabilities		R0770			
Provisions other than technical provisions		R0780			
Pension benefit obligations		R0790			
Deposits from reinsurers		R0800			
Deferred tax liabilities		R0810			
Derivatives		R0820			
Debts owed to credit institutions		R0830			
Financial liabilities other than debts owed to credit institutions		R0840			
Insurance & intermediaries payables		R0850			
Reinsurance payables		R0860			
Payables (trade, not insurance)		R0870			
		R0880			
Subordinated liabilities	Subordinated liabilities not in Basic Own Funds	R0890			
	Subordinated liabilities in Basic Own Funds	R0900			
Any other liabilities, not elsewhere shown		R0910			
Total liabilities		R1000			
Excess of assets over liabilities					

Figura I.1: Template S.02.01.01.01- Balanço económico.

Fonte: EIOPA (2025b).

I.1.2 S.06.03.01.01- Fundos de investimento (abordagem Look-through)

Line identification *mandatory* (C0100) *artificial key* *mandatory*	Underlying asset	Country of issue	Currency	Total amount
Collective Investments Undertaking ID Code and Type of code *mandatory* (C0010) *natural key* *mandatory*	C0030	C0040	C0050	C0060

Figura I.2: Template S.06.03.01.01- Fundos de investimento (abordagem Look-through).

Fonte: EIOPA (2025b).

ANNEX I. TABELAS RELEVANTES

I.1.3 S.12.01.01.01- Provisões Técnicas Ramo Vida

			Insurance with profit participation	Index-linked and unit-linked insurance		Other life insurance	
			C0020	C0030	Contracts without options	C0070	
					C0040	C0050	
					C0060	Contracts with options	
Technical provisions calculated as a whole			R0010				
Total Recoverables from reinsurance/SPV and Finite Re after the adjustment for expected losses			R0020				
Technical provisions calculated as a sum of BE and RM	Best Estimate	Gross Best Estimate	R0030				
		Total recoverables	R0040				
		from reinsurance/SPV	R0050				
		and Finite Re before the adjustment for	R0060				
		Recoverables from SPV	R0070				
		Total Recoverables from reinsurance/SPV and Best estimate minus recoverables from	R0080				
	Risk Margin	R0090					
	Risk Margin	R0100					
Amount of the transitional on Best estimate			R0110				
Technical Provisions calculated as a whole			R0120				
Best estimate			R0130				
Technical Provisions - total			R0200				
Technical provisions minus recoverables from reinsurance/SPV and Finite Re - total			R0210				
Best Estimate of products with a surrender option			R0220				
Gross BE for Cash flow	Cash out-flows	Future guaranteed and discretionary benefits	R0230				
		Future guaranteed Future discretionary	R0240				
	Future expenses and other cash out-flows	R0250					
	Cash in-flows	Future premiums	R0270				
	Other cash in-flows	R0280					
Percentage of gross Best Estimate calculated using approximations			R0290				
Surrender value			R0300				
Best estimate subject to transitional of the interest rate			R0310				
Technical provisions without transitional on interest rate			R0320				
Best estimate subject to volatility adjustment			R0330				
Technical provisions without volatility adjustment and without others transitional measures			R0340				
Best estimate subject to matching adjustment			R0350				
Technical provisions without matching adjustment and without all the others			R0360				
Expected profits included in future premiums (EPIFP)			R0370				

Figura I.3: Template S.12.01.01.01- Provisões Técnicas Ramo Vida.

Fonte: EIOPA (2025b).

I.1.4 S.13.01.01.01- Projeções futuras no Ramo Vida

			Insurance with profit participation					Total recoverable from reinsurance (after the	Cash out-flows	
			Future guaranteed	Future discretionary	Future expenses and	Future premiums	Other cash in-flows	C0045	Future guaranteed	Future discretionary
			C0011	C0015	C0020	C0030	C0040		C0051	C0055
1		R0010								
2		R0020								
3		R0030								
4		R0040								
5		R0050								
6		R0060								
7		R0070								
8		R0080								
9		R0090								
10		R0100								
11		R0110								
12		R0120								
13		R0130								
14		R0140								
15		R0150								
16		R0160								
17		R0170								
18		R0180								
19		R0190								
20		R0200								
21		R0210								
22		R0220								
23		R0230								
24		R0240								
25		R0250								
26		R0260								
27		R0270								
28		R0280								
29		R0290								
30		R0300								
31-40		R0310								
41-50		R0320								
51 & after		R0330								

Figura I.4: Template S.13.01.01.01- Projeções futuras no Ramo Vida.

Fonte: EIOPA (2025b).

I.1.5 S.17.01.01.01- Provisões Técnicas Ramos Não Vida

			Direct business and accepted proportional reinsurance							General liability	Credit and suretyship	L
			Medical expense C0020	Income protection C0030	Workers' compensation C0040	Motor vehicle liability C0050	Other motor insurance C0060	Marine, aviation and C0070	First and other damage C0080			
Technical provisions calculated as a whole	Direct business											
	Accepted proportional reinsurance business											
	Accepted non-proportional reinsurance											
	Total Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re after the adjustment for expected losses due to counterparty default											
	Technical provisions calculated as a sum of BE and BE*	Premium provisions	Gross - Total									
			Gross - direct business									
			Gross - accepted									
			Gross - accepted non-									
			Total recoverable from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses									
		Claims provisions	Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses									
Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses												
Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses												
Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses												
Recoverables from reinsurance/SPV and Finita Re before the adjustment for expected losses												

Figura I.5: Template S.17.01.01.01- Provisões Técnicas Ramos Não Vida.

Fonte: EIOPA (2025b).

I.1.6 S.18.01.01.01- Projeções futuras nos Ramos Não Vida

			Best Estimate Premium Provision (Gross)				Best Estimate Claim Provision (Gross)				Total recoverable from reinsurance (after the adjustment)
			Cash out-flows		Cash in-flows		Cash out-flows		Cash in-flows		
			Future benefits C0010	Future expenses and C0020	Future premiums C0030	Other cash-in flows C0040	Future benefits C0050	Future expenses and C0060	Future premiums C0070	Other cash-in flows C0080	
Year (projection of undiscounted expected cash-flows)	1	R0010									
	2	R0020									
	3	R0030									
	4	R0040									
	5	R0050									
	6	R0060									
	7	R0070									
	8	R0080									
	9	R0090									
	10	R0100									
	11	R0110									
	12	R0120									
	13	R0130									
	14	R0140									
	15	R0150									
	16	R0160									
	17	R0170									
	18	R0180									
	19	R0190									
	20	R0200									
	21	R0210									
	22	R0220									
	23	R0230									
	24	R0240									
	25	R0250									
	26	R0260									
	27	R0270									
	28	R0280									
	29	R0290									
	30	R0300									
	31 & after	R0310									

Figura I.6: Template S.18.01.01.01- Projeções futuras nos Ramos Não Vida.

Fonte: EIOPA (2025b).

I.2 Tabela dos Complementary Identification Codes

CIC (Grupo)	CIC (Subgrupo)	Descrição do grupo	Descrição do subgrupo
1	11	Obrigações de dívida pública	Obrigações da administração central
1	12	Obrigações de dívida pública	Obrigações supranacionais
1	13	Obrigações de dívida pública	Obrigações de administrações regionais
1	14	Obrigações de dívida pública	Obrigações de autoridades locais
1	15	Obrigações de dívida pública	Obrigações do tesouro
1	16	Obrigações de dívida pública	Obrigações cobertas
1	17	Obrigações de dívida pública	Bancos centrais nacionais
1	18	Obrigações de dívida pública	Obrigações de dívida pública não denominadas na moeda nacional
1	19	Obrigações de dívida pública	Outras obrigações de dívida pública
2	21	Obrigações de empresas	Obrigações de empresas
2	22	Obrigações de empresas	Obrigações convertíveis
2	23	Obrigações de empresas	Papel comercial
2	24	Obrigações de empresas	Instrumentos de mercado monetário
2	25	Obrigações de empresas	Obrigações híbridas
2	26	Obrigações de empresas	Obrigações cobertas ordinárias
2	27	Obrigações de empresas	Obrigações cobertas sujeitas a legislação especial
2	28	Obrigações de empresas	Obrigações subordinadas
2	29	Obrigações de empresas	Outras obrigações de empresas
3	31	Ações e outros títulos representativos de capital	Ações ordinárias
3	32	Ações e outros títulos representativos de capital	Ações de empresas do setor imobiliário
3	33	Ações e outros títulos representativos de capital	Direitos de subscrição de ações
3	34	Ações e outros títulos representativos de capital	Ações preferenciais
3	39	Ações e outros títulos representativos de capital	Outras ações
4	41	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de ações
4	42	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de dívida
4	43	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de mercado monetário
4	44	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de alocação de ativos
4	45	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos imobiliários
4	46	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos alternativos
4	47	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de investimento em participações de capital fechado
4	48	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Fundos de infraestruturas
4	49	Fundos de investimento Organismos de Investimento Coletivo	Outros fundos de investimento
5	51	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco acionista)
5	52	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco de taxa de juro)
5	53	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco cambial)
5	54	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco de crédito)
5	55	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco imobiliário)
5	56	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco de mercadorias)
5	57	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco de catástrofe ou meteorológico)
5	58	Títulos de dívida estruturados	Produtos estruturados (Risco de mortalidade)
5	59	Títulos de dívida estruturados	Outros produtos estruturados
6	61	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco acionista)
6	62	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco de taxa de juro)
6	63	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco cambial)
6	64	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco de crédito)
6	65	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco imobiliário)
6	66	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco de mercadorias)
6	67	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco de catástrofe ou meteorológico)
6	68	Títulos de dívida garantidos com colateral	Collateralised securities (Risco de mortalidade)
6	69	Títulos de dívida garantidos com colateral	Outras títulos de dívida garantidos com colateral
7	71	Numerário e depósitos	Numerário
7	72	Numerário e depósitos	Depósitos transferíveis (equivalentes a numerário)
7	73	Numerário e depósitos	Outros depósitos a curto prazo (inferior ou igual a um ano)
7	74	Numerário e depósitos	Outros depósitos a prazo, com prazo superior a um ano
7	75	Numerário e depósitos	Depósitos em cedentes
7	79	Numerário e depósitos	Outros numerários ou depósitos
8	81	Hipotecas e empréstimos	Empréstimos não garantidos concedidos
8	82	Hipotecas e empréstimos	Empréstimos concedidos garantidos por títulos
8	84	Hipotecas e empréstimos	Hipotecas
8	85	Hipotecas e empréstimos	Outros empréstimos garantidos efetuados
8	86	Hipotecas e empréstimos	Empréstimos sobre apólices de seguro
8	87	Hipotecas e empréstimos	Empréstimos a membros do AMSB
8	88	Hipotecas e empréstimos	Empréstimos a outras pessoas singulares
8	89	Hipotecas e empréstimos	Outras hipotecas e empréstimos
9	91	Imobiliário	Imóveis (de escritórios e comerciais)
9	92	Imobiliário	Imóveis (residenciais)
9	93	Imobiliário	Imóveis (para uso próprio)
9	94	Imobiliário	Imóveis (em construção para investimento)
9	95	Imobiliário	Instalações e equipamento (para uso próprio)
9	96	Imobiliário	Imóveis (em construção para uso próprio)
9	99	Imobiliário	Outro imobiliário

Tabela I.1: Classificação dos Ativos com base no *Complementary Identification Code* (CIC).

Fonte: Adaptado de EIOPA (2025a).

I.3 Agregação das linhas de negócio por responsabilidade nos Ramos Não Vida

Tipo de TP	Linha de Negócio (LoB)	Código (S.17.01.01.01.CXXXX)
<i>TP_{NSLT}</i>	Medical expense	C0020
	Income protection	C0030
	Workers' compensation	C0040
<i>TP_{NL}</i>	Motor vehicle liability	C0050
	Other motor insurance	C0060
	Marine, aviation and transport	C0070
	Fire and other damage	C0080
	General liability	C0090
	Credit and suretyship	C0100
	Legal expenses	C0110
	Assistance	C0120
	Miscellaneous financial loss	C0130

Tabela I.2: Classificação das linhas de negócio por Provisão Técnica nos Ramos Não Vida.

Fonte: Adaptado de EIOPA (2025a).



2025 Metodologia de testes de stress ao setor segurador em base Top-down Sebastian Vraja