

**CREDIT VALUATION ADJUSTMENT**

Bruno Filipe Soares dos Santos Sousa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Finanças

Orientador(a):

Prof. Doutor João Pedro Nunes, Professor Catedrático, ISCTE-IUL

Setembro, 2016

---

## Resumo

O objetivo desta dissertação é proporcionar uma visão mais abrangente da técnica de *Credit Valuation Adjustment* (CVA). A visão que se pretende transmitir vai desde a origem do tema às diferentes abordagens para a implementação do ajustamento, passando obrigatoriamente pela temática das diferentes regulamentações produzidas pelos organismos reguladores europeus. Depois de explicados alguns conceitos chave sobre o tema em apreço, o foco da dissertação será sobre os aspetos de *pricing* do CVA. O CVA e *Debt Valuation Adjustment* (DVA) unilateral são obtidos no caso em que é assumida que uma das partes envolvida numa transação pode entrar em *default*, e o CVA bilateral é adotado quando ambas as partes envolvidas na transação assumem que podem entrar em *default*. Neste contexto, aspetos de cobertura vão ser examinados e o *risk-neutral pricing* do CVA irá ser analisado. Esta dissertação analisa em detalhe dois métodos de apuramento de CVA - *standard* e semi-analítico (*swaption approach*). As diferenças de apuramento dos dois métodos vão ser explicadas e analisadas matematicamente. Esta comparação é suportada por simulações a uma operação de um contrato de *swap* de taxa de juro.

A segunda parte desta dissertação visa explicar a relação entre a perspetiva de CVA regulatório, i.e. a necessidade de apuramento de CVA para requisitos de capital introduzida pelo acordo de Basileia, o CVA numa perspetiva contabilística, i.e. requisitado pela IFRS, e o CVA numa perspetiva de mercado, i.e. como um ativo que pode ser transacionado.

**Palavras-chave:** Credit Valuation Adjustment, Swaption Approach, Counterparty Credit Risk, Interest Rate Swap Price.

**JEL Classification:** G12; G32

---

## **Abstract**

This thesis is intended to give an overview of Credit Valuation Adjustment (CVA) techniques and adjacent concepts. Firstly, the historical events that preceded the initiative to reform the Basel regulations and to introduce CVA are summarized. After some conceptual background material, a journey is taken through the pricing aspects of CVA. The unilateral CVA and Debt Valuation Adjustment (DVA) are derived in the case where one party engaging in a transaction is assumed to be defaultable, while bilateral CVA is derived in the case where both parties in a transaction are assumed to be defaultable. In this context, hedging aspects are also examined and risk-neutral pricing of CVA is discussed. There are several methods for pricing the CVA which will be explained in detail, and potential challenges with the methods will be also addressed. The document analyses in greater depth two of the methods: advanced and semi-analytical (swaption approach). The differences between these two methods are explained mathematically and analyzed. This comparison is supported by simulations of portfolios containing interest rate swaps contracts.

In the second part the thesis, the relation between CVA from a regulatory perspective, i.e. driven by the CVA capital charge introduced in the third Basel accord, CVA from an accounting perspective, i.e. driven by IFRS, and CVA from a market perspective, i.e. as a potentially tradable asset, is discussed.

**Keywords:** Credit Valuation Adjustment, Swaption Approach, Counterparty Credit Risk, Interest Rate Swap Price.

**JEL Classification:** G12; G32

---

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Doutor João Pedro Nunes o meu sincero agradecimento por me ter permitido efetuar a minha dissertação num tema que me é tão próximo. Agradecer também toda a sua disponibilidade e orientação para que a dissertação chegasse a bom porto.

Agradecimento especial à Caixa Geral de Depósitos, na pessoa da Dra. Lurdes Diogo, responsável pela área de risco de mercado, por todo o apoio e incentivo constante demonstrado ao longo do meu percurso na instituição. Agradecer também à instituição pela oportunidade e apoio de me permitir dar continuidade aos meus estudos, apesar do ciclo económico incentivar exatamente o contrário. E ainda aos meus companheiros de equipa pela compreensão das ausências, companheirismo e pelas oportunidades de aprendizagem constante.

Agradeço à minha família por se dedicar com tanto afincos à minha formação, pelo seu apoio incessante e incentivo, pelo carinho, pela paciência nos dias menos fáceis e pela compreensão pelas minhas ausências. Por último, mas certamente não menos importante, aos meus amigos pela amizade, incentivo constante, companheirismo e apoio durante todos os momentos da minha vida e em especial durante este percurso.

---

# Índice

INTRODUÇÃO .....	1
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
1.1. Contexto do mercado.....	4
1.2. Risco de Crédito de Contraparte.....	5
1.3. A emergência do CVA.....	6
<b>2. PRICING DO RISCO DE CRÉDITO DE CONTRAPARTE.....</b>	<b>9</b>
2.1. Conceitos e Terminologia.....	9
2.1.1. Valor Atual.....	9
2.1.2. Exposição.....	10
2.1.3. Probabilidade de <i>default</i> .....	10
2.1.4. Taxa de recuperação e <i>Loss-Given-Default</i> .....	11
2.1.5. Técnicas de Mitigação do Risco de Crédito de Contraparte.....	11
2.1.6. Wrong way risk.....	14
2.2. XVAs – Outros ajustamentos à valorização.....	16
2.2.1. DVA - <i>Debt Valuation Adjustment</i> .....	16
2.2.2. BCVA - <i>Bilateral CVA</i> .....	16
2.2.3. LVA – <i>Liquidity valuation adjustment</i> .....	16
2.2.4. FVA – <i>Funding valuation adjustment</i> .....	17
2.2.5. OCA – <i>Own credit adjustment</i> .....	17
2.2.6. KVA – <i>Capital valuation adjustment</i> .....	17
2.3. Credit Valuation Adjustment – Standard Formula.....	17
2.4. Credit Valuation Adjustment – Método semi-analítico.....	20
<b>3. PERSPECTIVA REGULATÓRIA E CONTABILÍSTICA.....</b>	<b>22</b>
3.1. Acordos de Basileia.....	22
3.1.1. Métodos de apuramento de CVA regulatório.....	23
3.2. CRD IV e CRR.....	24
3.3. MiFID II.....	25
3.4. IFRS13 – Mensuração do Justo Valor.....	25
<b>4. CVA – IMPLEMENTAÇÃO PARA UM INTEREST RATE SWAP .....</b>	<b>26</b>
4.1. Métodos de Cálculo.....	26
4.2. Interest Rate Swap.....	26
4.3. Curva de Desconto.....	28
4.4. Superfície de Volatilidade de Taxa de Juro.....	29
4.5. Exposição Esperada.....	30
4.5.1. Estrutura temporal de taxa de juro – Simulação de Monte Carlo.....	30
4.5.2. Semi-analítico.....	31
4.6. Probabilidades de Default.....	32
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
5.1. Stress test #1 – Exposição Esperada.....	34
5.2. Stress test #2 – Probabilidades de Default.....	36
5.3. Stress test #3 – EE em conjunto com a PD.....	38
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>43</b>

---

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> – Nominal emitido de produtos derivados OTC por tipo de produto. ....	4
<b>Figura 2</b> – Exemplo de efeito do acordo de <i>netting</i> na exposição a uma contraparte. ....	13
<b>Figura 3</b> – Baixa qualidade de crédito aliada a uma elevada exposição - WWR.....	15
<b>Figura 4</b> – Exemplo de um <i>IRS plain vanilla</i> .....	26
<b>Figura 5</b> – Demonstração do perfil assimétrico dos <i>cashflow</i> em função do estado no momento do <i>default</i> . ....	27
<b>Figura 6</b> – Curva de taxa de juro implícita da dívida soberana alemã.....	29
<b>Figura 7</b> – Superfície de Volatilidade utilizada para o apuramento dos prémios das <i>Swaptions</i> na metodologia semi-analítica... 30	30
<b>Figura 8</b> – Comparação da exposição esperada apurada pelas diferentes metodologias ..... 32	32
<b>Figura 9</b> – Prémios de CDS e probabilidades de <i>default</i> para diferentes prazos utilizados no cenário base..... 33	33
<b>Figura 10</b> – Comparação das taxas de juro implícitas à dívida pública alemã para os diferentes cenários estimados ..... 34	34
<b>Figura 11</b> – Comparação da EE para os diferentes cenários através das diferentes metodologias..... 35	35
<b>Figura 12</b> – Valores de CVA apurados para os diferentes cenários através das metodologias Standard e Semi-Analítico ..... 36	36
<b>Figura 13</b> – Prémios dos CDS para cada um dos cenários +100 bps ou +500 bps, respetivamente ..... 36	36
<b>Figura 14</b> – Probabilidades de default implícitas aos prémios dos CDS dos diferentes cenários ..... 37	37
<b>Figura 15</b> – Níveis de CVA para os diferentes cenários em função do modelo de apuramento ..... 38	38
<b>Figura 16</b> – Nível dos prémios de CDS após choque positivo de 250 bps ..... 38	38
<b>Figura 17</b> – Probabilidades de default implícitas aos prémios de CDS após choque positivo de 250 bps..... 39	39
<b>Figura 18</b> - Evolução da exposição esperada após alterações nas taxas de juro implícitas..... 39	39
<b>Figura 19</b> – Comparação dos valores de CVA apurados em função do modelo/cenário escolhido ..... 40	40

---

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1</b> – Peso aplicável à contraparte <i>i</i> , que depende de <i>ratings</i> de crédito externos. (Settlements, 2015) .....	24
<b>Tabela 2</b> – Detalhes do IRS em análise.....	28
<b>Tabela 3</b> – Taxas de juro implícita à dívida soberana alemã .....	29

## Introdução

O âmbito desta dissertação é proporcionar uma visão mais abrangente da temática “*Credit Valuation Adjustment*”. A visão que se pretende transmitir vai desde da origem do tema às diferentes abordagens para a implementação do ajustamento, passando obrigatoriamente pela temática das diferentes regulamentações produzidas pelos organismos reguladores sobretudo europeus.

Durante a primeira década do século XXI, existiu um crescimento de transações em derivados *over-the-counter* (OTC), sobretudo em *Interest Rate Swaps* (IRS), levando a que os principais *players* de mercado tivessem uma elevada exposição a este tipo de produtos. Aliado a este crescimento de mercado, existia a perceção que os principais *players* do mercado eram demasiados grandes e complexos para entrar em *default*.

A crise de 2007/2008 veio expor diversas lacunas no mercado de derivados OTC, sendo a face mais visível a entrada em *default* de alguns dos principais *players*, contrariando a perceção do mercado. Outra lacuna evidenciada foi a fraca existência de ferramentas mitigadoras de risco de contraparte; por exemplo não era comum até então a existência de acordos de garantia ou de troca de colateral neste tipo de operações. No essencial a evolução das transações não foi acompanhada pelos mitigadores de risco, isto é a não foi mensurado corretamente o risco de exposição a uma determinada contraparte, podendo esta entrar em *default*. Face às características deste tipo de instrumento financeiro, as entidades financeiras podem vir a incorrer em perdas totais ou no pagamento integral do valor de mercado das operações sem qualquer retorno, ou seja aquilo que diversos autores designaram de bilateralidade do risco de crédito. Ainda como causa direta da crise, os modelos de avaliação de derivados foram postos em causa, na medida em que uma das premissas assumida desde sempre pelos modelos era não ter em consideração a qualidade de crédito da contraparte com que se efetuava o negócio. Ou seja os modelos pressupõem o desconto dos cash-flows a uma taxa de juro sem risco. Com a crise da dívida soberana ficou evidenciado que não existem taxas de juro sem risco na avaliação do derivado.

Nasce assim a necessidade da criação de um ajustamento em função da qualidade de crédito da contraparte com que o negócio foi efetuado. Este ajustamento ficou denominado de CVA – *Credit Valuation Adjustment*.

O CVA corresponde à estimativa do valor atual do custo esperado associado ao incumprimento de uma contraparte nos pagamentos associados a um derivado ou a um portfólio de derivados.

O valor do CVA não é um valor fixo definido no início da operação, como por exemplo na emissão de uma obrigação de taxa variável em que fica definido o *spread* a aplicar à taxa de cupão, sendo o mesmo normalmente constante durante toda a vida do título, independentemente de no futuro se constatar que é desequilibrado em função da evolução do mercado. O CVA deverá ser ajustado periodicamente em função da evolução da qualidade de crédito da contraparte e das próprias características do negócio. Como tal, matematicamente, o valor de CVA tem em consideração a exposição esperada positiva ponderada pelas probabilidades condicionadas de um evento de *default* ocorrer, sendo descontado para o momento atual. Para determinar o valor de ajustamento existem vários métodos que vão desde os mais complexos, através de simulações de Monte Carlo, aos métodos semi-analíticos em que o apuramento efetuado é mais simplista e menos complexo.

Uma vez definido o conceito e visto que os tempos atuais são de forte regulamentação, são várias as entidades a regular o mercado de derivados OTC no sentido da implementação de medidas que evitem num futuro problemas semelhantes a este. Assim, no que diz respeito a definição dos requisitos mínimos de capital necessário para as instituições financeiras, o acordo de Basileia III, veio instituir a necessidade de apuramento do valor de CVA prudencial. Neste caso particular, existem já abordagens pré-definidas para o apuramento de CVA regulatório, isto é podem ser avançados no caso da instituição financeira deter modelos internos aprovados pela entidade competente ou podem ser apurados pelo modelo *standard*. Por outro lado, também contabilisticamente passa a existir a necessidade de incorporar o valor de CVA através da norma contabilística IFRS13.

Para a aplicação prática do conceito, é intenção desta dissertação fazer uma simulação de apuramento do valor de CVA para um contrato de *IRS* através do método semi-analítico e comparar com método *Standard*. Esta simulação tem como objetivo validar se as duas abordagens têm diferenças significativas nos valores apurados de CVA em função do método utilizado e de variações nos *inputs* utilizados. Esta simulação irá

---

debruçar-se sobre a componente de CVA no *pricing* dos instrumentos e não propriamente na componente regulamentar ou contabilística.

## 1. Contextualização

### 1.1. Contexto do mercado

Ao longo das últimas décadas, o mercado financeiro tem vindo a evoluir em termos de oferta e volume de produtos financeiros transacionados, nomeadamente nos produtos derivados OTC que tiveram um crescimento súbito nos últimos 10 anos. Em 2006, observou-se um crescimento do mercado na ordem dos 120 milhões de US dólares em termos de valor nominal de produtos emitidos, de acordo com os dados divulgados pelo inquérito semestral do (Bank of International Settlements, 2015). Ainda de acordo com este mesmo inquérito, no final do último ano disponível, o ano de 2014, o nominal total de produtos derivados emitidos rondava os 630 milhões de US dólares, dos quais 505 milhões de US dólares diziam respeito a *IRS*, ou seja, quase 80% do total dos produtos emitidos. A Figura 1 ilustra esta evolução bem como a sua distribuição.

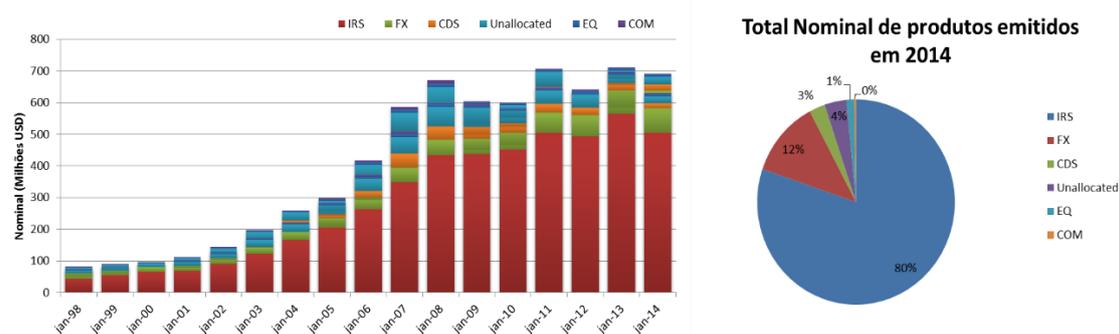


Figura 1 – Nominal emitido de produtos derivados OTC por tipo de produto.

É um dado adquirido que os grandes avanços na indústria financeira advêm dos tempos de crise ou de desastres financeiros. Estes períodos normalmente põem em causa os modelos e os pressupostos seguidos à risca pela indústria.

Exemplo disso foi a falência do *hedge fund* LTCM em 1998, onde era um dado adquirido que um fundo de capital sem risco de longo prazo pudesse falir. Esta falência veio mostrar as falhas que a gestão de risco tinha na altura. Como consequência deste evento, foram desenvolvidos modelos e implementadas medidas para que situações futuras não voltassem a ocorrer, nomeadamente limites de crédito e o aparecimento de medidas como a exposição esperada positiva.

Passando para a crise que nos é mais próxima, “em 2007 começou aquela que deverá ser a pior crise desde dos anos 30” (Gregory, 2010). Começou nos Estados Unidos com

a crise do *subprime* e facilmente se estendeu a todo o sistema financeiro e posteriormente à economia real.

Esta crise veio mais uma vez por em causa o modelo de gestão de risco que é efetuada pela indústria financeira. De acordo com o artigo (Wall Street dispatch: Imagination and common sense brew a safer culture, 2007) “é óbvio que existe um enorme fracasso da gestão de risco a atravessar *Wall Street* (...) em muitos casos os procedimentos funcionam bem. O que correu mal foram as premissas por trás dos procedimentos.” Seguindo esta linha de pensamento, antes da crise de 2007 existia a permissa que os grandes *players* da indústria financeira eram grandes de mais para falir devido à sua complexidade e posição no mercado. No entanto, veio-se a confirmar exatamente o contrário em 2008 com a falência da AIG e da Lehman Brothers. Muitos de outros *players* acabaram por não falir em virtude de ajudas governamentais afim de não provocar mais efeitos de contágio à economia real. Pode-se afirmar que após 2007-2008 a permissa alterou-se para: os grandes *players* são demasiados grandes para se permitir que possam falir, assim o diz (Gregory, 2010). Ainda de acordo com o mesmo autor, a falta de avaliação adequada da exposição de crédito e da probabilidades de *default* foram os fios condutores para a crise, ou seja voltamos a falar das premissas assumidas pela instituições financeiras.

### **1.2. Risco de Crédito de Contraparte**

Uma vez percepcionada a principal razão que levou a que existissem muitos problemas nas instituições financeiras, foi tempo de rever e alterar a forma como eram mensurados e avaliados os riscos de mercado e de crédito mas sobretudo o risco de crédito de contraparte (CCR). Assim afirma (Schanz, et al., 2014) “ (...) a avaliação de risco de crédito de contraparte não poderá mais ser assumida como negligenciável e deverá ser mensurada.”

Numa primeira tentativa de definição de CCR, somos levados a afirmar que se trata de um tipo de risco de crédito. No entanto (Pykhtin, et al., 2007) definiram que CCR “é o risco que a contraparte de um contrato financeiro poderá entrar em *default* antes do mesmo terminar e não haver lugar aos pagamentos definidos no contrato.” É nos contratos negociados em mercado OTC que este risco é mais evidente uma vez que os

---

contratos negociados em bolsa são salvaguardados por mecanismos de salvaguarda geridos pelas *clearing houses*.

O CCR é uma interação entre risco de crédito e risco de mercado. O risco de crédito, associado a perdas económicas causadas pelo *default* de uma contraparte, devido a flutuações nas condições de mercado. Deste modo, este tipo de risco é baseado na ideia de que movimentos nos fatores de risco de mercado são capazes de afetar o risco de crédito de contrapartes de contratos de OTC. Para negociar com CCR é necessário perceber as sinergias existentes entre estes dois tipos de riscos.

De acordo com (Pykhtin, et al., 2007) existem duas características que definem o CCR: a incerteza da exposição e a natureza bilateral do risco de crédito. No que diz respeito à natureza bilateral do risco de contraparte existe um exemplo simples: *Swap* de taxa de juro (IRS). Neste contrato, a parte "A" deve receber da sua contraparte "B" cashflows calculados a uma taxa de juros variável (por exemplo Euribor), enquanto que "B" deve receber da sua contraparte "A", na mesma data, a quantia equivalente em função de uma taxa de juro fixa. Na ausência de qualquer outra especificação, ambas as partes estão sujeitas aos riscos de crédito e de mercado. Quando analisamos especificamente o risco de crédito de contraparte, um cenário de aumento da taxa variável, apesar de gerar para a parte "A" um ganho potencial, expõem-na ao risco caso a parte "B" não honre o acordado no contrato. De maneira similar, cenários de decréscimo na taxa variável afectam "B", pois, neste caso, é "A" que fica com sua capacidade de pagamento comprometida. Quanto à incerteza da exposição, é uma medida que avalia quanto capital está em risco. Por exemplo, em instrumentos de rendimento fixo (obrigações) o risco de crédito de uma posição em obrigações pode ser medido através da determinação da exposição, via *present value* (PV) da obrigação, sendo ponderado pela probabilidade do emitente vir a entrar em incumprimento. No caso de um derivado o racional é semelhante, sendo que valor atual nunca pode ser negativo. No entanto a exposição pode ser mais volátil em função do subjacente que estiver envolvido. No artigo (Pykhtin, et al., 2007) é efetuada uma explicação mais sobre o tema.

### **1.3. A emergência do CVA**

Em função do contexto de mercado e das lacunas anteriormente identificadas na gestão de risco de mercado, de crédito e consequentemente de CCR, os reguladores e a própria

indústria financeira, a partir de 2007, viram-se obrigados a implementar novas métricas e diferentes formas de controlo.

Surgiu então uma nova métrica - o *Credit Valuation Adjustment* - com o objectivo de medir um ajuste de crédito em função da contraparte nas transações de derivados. Ou seja, o CVA corresponde à estimativa do valor atual do custo esperado associado ao incumprimento de uma contraparte nos pagamentos associados a um derivado ou a um portfólio de derivados.

A implementação do CVA começou cada vez mais a ganhar um papel central no mercado de derivados OTC. De acordo com um inquérito da consultora Ernest & Young (*“Reflecting credit and funding adjustment in fair value – Insight into practices”*), inicialmente o cálculo do CVA era efetuado por poucos *players* e com uma periodicidade mensal. Hoje em dia o cálculo do CVA é efetuado pela maioria da indústria e com uma periodicidade diária ou mesmo em tempo real.

A regulamentação, a contabilidade e a valorização são as principais razões para que o cálculo do CVA tenha ganho um papel central nos mercados financeiros. O capítulo da regulamentação ganhou especial enfoque devido, sobretudo, ao acordo de Basileia III, onde foi dado especial ênfase ao apuramento de requisitos de capital que deverá ter em consideração o valor de CVA, existindo mesmo abordagens já definidos pela própria regulamentação, conforme já referido. No que diz respeito à contabilidade, *“a entidade deve incluir na mensuração pelo justo valor o efeito da exposição líquida da entidade ao risco de crédito dessa contraparte ou da exposição líquida da contraparte ao risco de crédito da entidade se os participantes no mercado tivessem normalmente em conta quaisquer acordos existentes que atenuem a exposição ao risco de crédito em caso de incumprimento (...). A mensuração pelo justo valor deve refletir as expectativas dos participantes no mercado relativamente à probabilidade de que tal acordo seja legalmente aplicável em caso de incumprimento.”* (International Accounting Standards Board, 2011).

Por último, a valorização também denominada por *pricing*, é o aspecto com maior destaque no âmbito da dissertação. Ao contrário dos pontos anteriores, não existe uma formalização escrita de que passa a ser necessário incorporar na valorização de derivados OTC o valor de CVA. No entanto, em virtude das perdas avultadas que se verificaram no mercado e o desenvolvimento de sistemas que permitem que o valor de

---

CVA possa ser apurado em tempo real, os operadores de mercado passaram a incluir nos seus *pricings*, deste tipo de produtos, o valor de CVA, ou seja o *pricing* passa a ser diferente em função da contraparte com que é efetuada a operação.

É deste modo evidente que existem inúmeras alterações para quem faz a gestão de um portfólio de derivados OTC. Seja porque habitualmente não é comum fazer uma gestão com uma componente de crédito presente ou porque o P&L (*profit and loss*) da mesa é mais volátil por via de uma nova componente. Estas alterações levaram mesmo ao surgimento de mesas para gestão de CVA.

## 2. Pricing do Risco de Crédito de Contraparte

Para as instituições financeiras é relevante ter em consideração o valor da perda em que poderão incorrer, a qual influenciará a valorização de preços para os produtos derivados que oferecem aos seus clientes.

O *pricing* do CCR é sobretudo feito através do CVA, que se define como o ajustamento à avaliação da cotação da carteira de operações realizadas com uma contraparte. Essa cotação reflete o valor de mercado da CCR decorrente de qualquer incumprimento dos contratos celebrados com a contraparte em questão. De referir que nos últimos anos surgiram novos ajustamentos no *pricing* do CCR, sejam estes ajustamentos ligados ao capital, às taxas de financiamento ou mesmo ao custo de deter *collateral*. Em virtude do crescente número de ajustamento (Gregory, 2010) categorizou estes ajustamentos por XVA's, em que o X define o tipo de ajustamento. Os mesmos serão explicados sumariamente neste capítulo.

Por último, para uma fácil abordagem ao tema e compreensão mais exata é necessário rever os conceitos cruciais para a definição de CVA, a saber: valor atual, exposição, probabilidades de *default*, taxa de recuperação (*recovery rate*), *loss-given-default* (LGD) ou mesmo as definições dos acordos de *netting* e *collateral*, tão importantes na gestão da CCR.

### 2.1. Conceitos e Terminologia

#### 2.1.1. Valor Atual

Quando é efetuado o cálculo do valor de CVA, o valor atual (PV) é um dos *inputs* utilizados para o apuramento do ajuste em virtude da valorização do derivado. O valor atual é talvez o conceito mais consensual e facilmente explicável. De uma forma genérica, valor atual é o valor do fluxo futuro descontado para o momento presente, caso o mesmo já existisse hoje. Como tal, o valor atual é sempre menor ou igual que o valor futuro, a não ser que a taxa de atualização seja negativa. O valor atual em  $t$  é usualmente expresso como sendo

$$V(t, T) = \mathbb{E}\left[\sum_{u \in (t, T)} C(u)B(t, u)\right], \quad (1)$$

Onde  $B(t, u)$  é o fator de desconto entre os momentos  $t$  e  $u$ ,  $C(u)$  é o *payout* no tempo  $u$ ,  $(t, T)$  é o tempo para maturidade do contrato e  $u$  pode ser assumido como um ponto discreto no tempo do intervalo  $(t, T)$ .

### 2.1.2. Exposição

A exposição a um contrato ou portfólio de ativos OTC é por definição o valor que pode ser perdido se uma contraparte entrar em *default*. A exposição depende de que lado o contrato se encontra, ou seja, se é um ativo ou passivo. Se o contrato tiver um valor atual negativo é uma responsabilidade para o investidor e como tal o investidor tem a obrigatoriedade de pagar este valor à contraparte. Se o contrato apresentar um valor atual positivo, então será considerado um ativo e o investidor tem o direito de receber da contraparte. De acordo com (Pykhtin, et al., 2007), num negócio com uma contraparte que entra em incumprimento e não tenha de qualquer forma o risco mitigado<sup>1</sup>, a exposição da instituição financeira a um contrato de derivado com uma contraparte é o máximo entre o valor atual do contrato e zero, isto é:

$$E(t) = \max\{V(t), 0\}. \quad (2)$$

(Gregory, 2010) afirma que o risco de contraparte cria um perfil de risco assimétrico<sup>2</sup>, ou seja, quando uma contraparte entra em *default*, a instituição perde se o *mark to market* (MtM) é positivo mas não ganha se for negativo. Este perfil é semelhante a uma *short option* na medida em que a exposição constitui uma perda.

### 2.1.3. Probabilidade de *default*

Sucintamente (Gregory, 2010) define probabilidade de *default* como a “probabilidade de uma entidade entrar em incumprimento num intervalo pré-definido no futuro.”  $PD_i(t, T)$  é a probabilidade de *default* de um devedor  $i$ , desde o instante  $t$  até  $T$ . Por sua vez,  $S_i(t, T)$  é a probabilidade de sobrevivência de um devedor  $i$ , desde o instante  $t$  até  $T$ .

A probabilidade de *default* pode ser representada por uma árvore binomial<sup>3</sup>, ou seja o devedor pode estar em dois estados possíveis: estado de *default* ( $D_1$ ) com probabilidade  $p_1$ , ou o estado de sobrevivência ( $S_1$ ) com probabilidade  $1 - p_1$ . Para o caso de uma árvore com  $n$ -períodos procede-se de forma análoga. Deste modo, pode-se afirmar que a probabilidade cumulativa de sobrevivência desde  $t = 0$  até ao período  $n$  é:

$$S(0, n) = P[\text{sobreviver de 0 a } n] = (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n) \quad (3)$$

<sup>1</sup> Existem várias formas de mitigar o risco nomeadamente os contratos de *netting* ou *collateral*, ver capítulo 2.1.6

<sup>2</sup> Ver Figura 4 do capítulo 4.2

<sup>3</sup> Para mais detalhes sobre a demonstração da árvore binominal consultar (Vale, 2010).

Por sua vez, a probabilidade cumulativa de *default* até ao período  $n$  é a probabilidade de entrar em incumprimento em qualquer instante no tempo antes do período  $n$ , e é dada por:

$$PD(0, n) = 1 - S(0, n) \quad (4)$$

#### 2.1.4. Taxa de recuperação e *Loss-Given-Default*

Em caso de *default*, geralmente existe uma taxa de recuperação (ou *recovery rate*) que irá ser paga aos credores pela contraparte incumpridora. Os investidores de derivados OTC são tipicamente da mesma classe que os investidores em obrigações seniores. Deste modo, em caso de *default* as taxas de recuperação à partida serão elevadas em função da posição que ocupam na hierarquia de responsabilidades. A taxa de recuperação, representada por  $\delta$ , é a parte da exposição que seria recuperada em caso de *default*. A *loss-given-default* (LGD) pode ser expressa em função da taxa de recuperação i.e. a parte da exposição que seria efetivamente perdida. Assim,

$$LGD = 1 - \delta. \quad (5)$$

A taxa de recuperação é um conceito importante para o cálculo do CVA, uma vez que tem um grande efeito sobre as perdas.

#### 2.1.5. Técnicas de Mitigação do Risco de Crédito de Contraparte

Num contexto de risco de crédito de contraparte existem alguns conceitos que são essenciais para perceber como é possível fazer uma gestão do risco. Historicamente a gestão de risco é efetuada através do controlo das linhas de crédito, de limites a exposição a uma determinada contraparte em função da qualidade de crédito ou gestão da concentração a uma determinada contraparte. Quando falamos em redução do risco, e desse modo do CVA, a mesma pode ser efetuada de quatro formas:

##### 2.1.5.1. *Centralised Clearing Houses*

Por vezes também denominadas com o *central counterparty* (CCP), no essencial é transpor para o mercado de derivados a ideia que já existe no mercado de futuros, ou seja as contrapartes não negociam diretamente entre si mas com as CCP, passando assim o risco para uma terceira parte.

### 2.1.5.2. *Netting*

O acordo de *netting*, também conhecido como acordo de compensação, tem por objetivo reduzir o risco de exposição de crédito de uma parte perante a outra, resultante de operações celebradas entre elas, de forma que, em caso de vencimento, após a compensação, seja identificado o valor efetivamente devido pela parte devedora à parte credora. Na ausência deste tipo de acordo, e em caso de *default* de uma contraparte, a posição da parte em cumprimento teria uma perda do valor integral dos negócios *out-of-the-money* (OTM) contra um crédito sobre o valor total dos negócios *in-the-money* (ITM).

Em suma, a exposição, no caso de existir acordo de *netting* é determinada pela combinação do valor atual do acordo. Deste modo, a exposição do acordo de *netting*, sabendo que  $S$  significa o acordo de *netting* que contém  $N$  negócios, é dado por:

$$E^S(t) = \max\{\sum_{i=1}^N V_i(t, T); 0\}. \quad (6)$$

Assim a exposição sem acordo de *netting* é a soma da exposição de cada negócio, determinado em (2). Como tal, a exposição com acordo de *netting* é sempre menor ou igual à soma das exposições sem acordo.

(Canabarro, et al., 2003) apresenta um exemplo ilustrativo da utilidade dos acordos de *netting* na mitigação do risco, onde demonstra que caso não existam políticas de mitigação de risco, em caso de incumprimento, a exposição a uma determinada contraparte pode gerar elevados prejuízos para o investidor. Veja-se o exemplo da Figura 2. No 4º ano, os negócios 001 e 002 constituem as responsabilidades próprias, i.e. são passivos. Os restantes negócios são responsabilidades da contraparte, i.e. ativos. Ou seja, em caso de *default* da contraparte e na ausência de acordo de *netting* as responsabilidades próprias perante a contraparte seriam de US\$ 6.4 e os restantes US\$ 3.5 só seriam reembolsados depois de se determinar qual a taxa de recuperação e tendo em conta a hierarquia de credores. Caso exista acordo, as nossas responsabilidades seriam apenas de US\$ 2.9, ou seja os US\$ 6.4 deduzidos dos US\$ 3.5. Concluindo, em todos os anos seria sempre ou mais vantajoso ou indiferente a existência deste tipo de acordo.

	Time (years)					
	0	1	2	3	4	5
Trade 001	-0,9	-1,4	0,5	0,1	-0,8	0,5
Trade 002	-0,4	-0,1	0,1	-1,4	-2,7	-3,2
Trade 003	1,1	2	1,7	1,2	1,4	0,8
Trade 004	-0,4	1,6	1,4	1,9	3,5	2,7
Trade 005	0,6	1,8	1,1	1,3	1,5	1,4
Exposure (US\$)						
Without netting	1,7	5,4	4,8	4,5	6,4	5,4
With netting	0	3,9	4,8	3,1	2,9	2,2

Figura 2 – Exemplo de efeito do acordo de *netting* na exposição a uma contraparte.

### 2.1.5.3. Collateral

Existe outro tipo de contractos efetuados pelas contrapartes, nomeadamente os acordos de troca de *collateral*. O *collateral* refere-se à condição elegível<sup>4</sup> que a contraparte fornecerá à instituição de forma a atenuar a sua exposição ao risco. Assim, entende-se por *collateral* como sendo um instrumento financeiro de salvaguarda requerido à contraparte, visando compensar o risco que lhe está associado. Os colaterais podem ser financeiros (como por exemplo ações e depósitos em numerário), bens imóveis (como seja imóveis de habitação ou imóveis comerciais) ou físicos (tal como veículos ligeiros ou máquinas industriais). Normalmente o *collateral* trocado no caso dos derivados é dinheiro (*cash collateral*), baseado no valor MtM. É garantido à instituição financeira o direito legal de liquidar ou tomar posse do mesmo, em tempo útil, no caso de incumprimento, insolvência ou falência do mutuário.

De acordo com (Gregory, 2010), normalmente os acordos de troca de *collateral* estão regulados no *credit support annex* (CSA) e incluem:

- Período Close-Out – é o tempo efetivo assumido entre a chamada do *collateral* até ao seu recebimento;
- Montante Independente (MI) - por vezes referido como margem inicial, corresponde normalmente a uma quantidade de *collateral* que é adiantada no início do contrato e é independente de qualquer troca de *collateral* subsequente. Corresponde, portanto, a um nível desejado de *collateral* e muitas vezes é exigido pela contraparte com qualidade de crédito mais forte.
- Montante Limite (ML) - nível de desvio da exposição que as duas contrapartes estão dispostas a aceitar antes da chamada do *collateral*;

<sup>4</sup> Conforme definido na Parte 1 do Anexo VI de (Banco de Portugal, 2007)

- Montante Mínimo de Transferência (MMT) - valor mínimo permitido para a chamada do *collateral*. De forma a evitar que quantidades pequenas de *collateral* sejam requeridas nas situações diárias de oscilações insignificantes no valor *MtM*;

A existência deste tipo de acordo faz com que o risco de exposição a uma determinada contraparte seja inferior, nomeadamente se os períodos de *close out* forem reduzidos. Assumindo que  $Coll(t)$  é o valor do colateral que o investidor tinha disponível no momento  $t$  se a contraparte entrasse em *default* nesse ponto do tempo, então a exposição de um contrato ao abrigo de um acordo de *collateral* é dado por

$$E_{coll}(t) = \max\{V(t, T) - Coll(t); 0\} \quad (7)$$

#### 2.1.5.4. Hedging

A cobertura das carteiras é uma das estratégias há muito implementada no mercado, permitindo diminuir a volatilidade dos resultados e consequentemente diminuir os riscos. Com o intuito de fazer uma gestão adequada do risco de crédito, ao longo dos últimos anos houve o aparecimento do mercado de derivados de crédito, como os *Credit Default Swaps* (CDS). Estes consistem num contrato de seguro entre um comprador de proteção e um vendedor de proteção que cobre determinados riscos em caso de incumprimento de uma terceira parte, mediante o pagamento/recebimento de um prémio (normalmente trimestral). Quanto mais elevado é o risco de incumprimento maior é a cotação dos CDS para essa instituição. De salientar que, um contrato de compra de proteção cria uma nova exposição na perspetiva do risco de contraparte.

#### 2.1.6. Wrong way risk

De acordo com (Franzén, et al., 2014) a exposição que uma instituição tem para com uma contraparte específica é dependente da qualidade de crédito dessa mesma contraparte. Quando esta dependência tem uma correlação negativa, de modo que uma maior exposição está correlacionada com uma degradação da qualidade de crédito, então denomina-se esta relação por *wrong way risk* (WWR), como é possível observar na Figura 3.

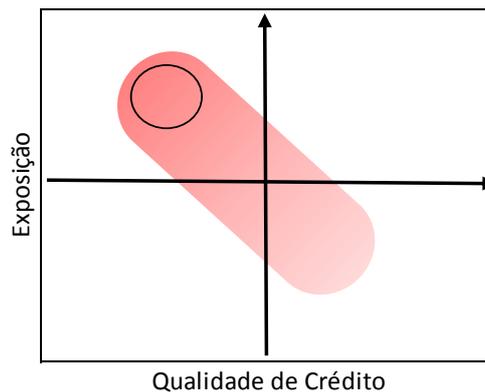


Figura 3 – Baixa qualidade de crédito aliada a uma elevada exposição - WWR

O WWR é normalmente dividido em WWR geral e específico. Entende-se por WWR geral “o risco que ocorre quando a probabilidade de incumprimento (*PD*) da contraparte se encontra positivamente correlacionada com fatores gerais de risco de mercado” (Banco de Portugal, 2007). Quanto ao WWR específico é “risco que ocorre quando a posição em risco sobre uma contraparte específica se encontra positivamente correlacionada com a *PD* dessa contraparte, devido à natureza das operações realizadas. Considera-se que uma instituição se encontra exposta a risco específico de correlação desfavorável caso se preveja que as posições em risco futuras sobre uma contraparte específica venham a ser elevadas quando a *PD* da contraparte também seja elevada” (Banco de Portugal, 2007).

(Hull, et al., 2012) ilustra WWR com um exemplo de uma contraparte que vende proteção de crédito do seu investidor, tendo em conta que os *spreads* de crédito estão correlacionados. Quando os *spreads* de crédito são altos, o valor da proteção do investidor é elevado e resulta numa larga exposição do investidor à contraparte. Ao mesmo tempo, os *spreads* de crédito da contraparte também estão elevados indicando uma elevada probabilidade de *default* da contraparte.

Na prática, a exposição a uma transação e o risco de crédito da contraparte são geralmente mensurados e modelados de forma independente. Especialmente, quando se calcula CVA, a exposição é parametrizada como independente do risco de crédito de uma contraparte específica. Como consequência, o WWR tornar-se invisível no cálculo do CVA. Isto é, evidentemente, uma grande desvantagem de CVA, mas ao mesmo tempo algo que é extremamente difícil de evitar. Em virtude de inumeráveis

possibilidades de existência de WWR para uma transação específica, esse tipo de risco é extremamente difícil de estimar.

## **2.2. XVAs – Outros ajustamentos à valorização**

Em virtude da tomada de consciência da importância da CCR estão a ser implementados uma série de ajustamentos à valorização. Neste ponto serão desenvolvidos sumariamente os principais ajustamentos praticados no mercado.

### **2.2.1. DVA - *Debt Valuation Adjustment***

O CVA por si só é um ajustamento unilateral ao risco de crédito da contraparte, que se baseia no pressuposto de que a contraparte possui risco, mas o investidor é livre de risco. Em função dos acontecimentos já anteriormente explicados, este pressuposto veio a verificar-se incorreto e os grandes *players* da indústria financeira começaram a calcular o seu próprio CVA, ou seja, *Debt Valuation Adjustment* (DVA). Esta medida é o equivalente ao CVA mas na perspectiva do investidor, i.e. é o risco do investidor entrar em *default* antes da maturidade do contrato de derivado e falhar as suas obrigações para com a contraparte. Embora pareça contraintuitivo, pode ser percecionado como uma vantagem económica do incumprimento da própria instituição, ou seja o facto de o banco ganhar com a deterioração do seu próprio crédito é consistente com, por exemplo, a redução do valor de um passivo mensurado pelo justo valor através de resultados. Assim, CVA e DVA têm sempre sinal oposto, ou seja, quando o CVA diminuiu o valor do contrato, o DVA aumenta o valor.

### **2.2.2. BCVA - *Bilateral CVA***

Na avaliação do CCR, poderá ser levado em conta o facto de a maioria dos instrumentos derivados terem pagamentos fixos ou variáveis que são feitos em ambos os sentidos e, para este efeito, o *Bilateral CVA* (BCVA) é mais apropriado que o CVA unilateral. Assim, o BCVA corresponde à diferença do ajustamento da avaliação de crédito com o ajustamento da avaliação de débito. Este ajustamento é aplicado a um contrato de derivado OTC pressupondo que ambas as partes podem entrar em *default*.

### **2.2.3. LVA – *Liquidity valuation adjustment***

*Liquidity valuation adjustment* (LVA) é o valor descontado da diferença entre a taxa de juro sem risco e a taxa do *collateral* paga (ou recebida) sobre o *collateral*. É responsável por custos relacionados com a liquidez sobre o índice de referência que ainda não foram

contabilizados pelo CVA. Para obtenção do valor, não é apropriado usar o BCVA e aplicar LVA com base nas taxas de financiamento no mercado. Isso resultaria em dupla contagem. Então, o que fará sentido é calcular CVA unilateral e adicionar LVA. Pode-se interpretar o LVA como o ganho (ou perda) produzido pela liquidação do valor atual do contrato de derivativos, em virtude do acordo de *collateral*.

#### **2.2.4. FVA – *Funding valuation adjustment***

*Funding valuation adjustment* (FVA) diz respeito às condições de financiamento de uma operação quando o tipo de garantia e os termos do contrato negociado com o cliente não estão em consonância com o tipo de garantias e as condições de mercado em que o banco vai cobrir o derivado. Por exemplo, se é exigido à instituição financeira deixar garantias em dinheiro na cobertura do contrato e não receber o retorno do cliente, o banco terá de aumentar as suas reversas em dinheiro para fazer face às suas operações de financiamento habituais. Matematicamente, o FVA é formulado como o valor descontado do *spread* pago pelo banco sobre a taxa de juro sem risco para financiar o valor líquido do dinheiro necessário para a conta de *collateral* e a posição sobre o ativo subjacente. Pode ser visto como um ajuste ao preço sem risco de um derivado OTC para ter em conta o custo de financiamento de uma instituição financeira.

#### **2.2.5. OCA – *Own credit adjustment***

*Own credit adjustment* (OCA) é efetuado em emissões de instrumentos de dívida contabilizados sob a opção do justo valor para refletir o risco de incumprimento da entidade. Como resultado do alargamento de *spreads* nos últimos anos e a variabilidade destes *spreads*, o OCA na dívida emitida gera volatilidade significativa na demonstração de resultados.

#### **2.2.6. KVA – *Capital valuation adjustment***

*Capital valuation adjustment* (KVA) é o custo de financiamento de uma certa quantidade de capital para atuar como uma reserva no caso de ocorrer em perdas inesperadas.

### **2.3. *Credit Valuation Adjustment – Standard Formula***

Recorde-se que o CVA corresponde à estimativa do valor atual do custo esperado associado ao incumprimento de uma contraparte nos pagamentos associados a um derivado ou a um portfólio de derivados. Visto que estamos a tratar de contratos de

derivados OTC, geralmente os modelos de avaliação têm em consideração uma medida neutral risco. Entende-se por medida neutral risco quando o mercado não permite oportunidades de arbitragem e a medida é única apenas e só se o mercado for completo, de acordo com o teorema fundamental da atribuição de preços a ativos financeiros. A completude do mercado requer que existe perfeita cobertura do portfólio para cada dívida contingente, caso contrário existe possibilidade de arbitragem. Por último, de referir que para apurar o valor do CVA unilateral há que assumir que apenas existe risco de incumprimento da contraparte, sendo o risco próprio equiparado a uma *risk-free*. De acordo com (Gregory, 2010) podemos obter o valor de CVA sabendo que  $\tau$  representa o momento do incumprimento da contraparte,  $V(t, T)$  o valor da posição sem risco, e consideram-se as seguintes situações:

- (1) **Se a contraparte não incumpre antes de T**, a posição em risco é equivalente à posição sem risco e o correspondente *payoff* é dado por

$$I(\tau > T)V(t, T), \quad (8)$$

onde  $I(\tau > T)$  é uma função indicatriz do incumprimento (assume o valor 1 se o incumprimento não tiver ocorrido e 0 no caso contrário)

- (2) **Se a contraparte incumpre antes de T**, o *payoff* consiste em dois termos, o valor da posição que deveria ter sido paga antes do incumprimento e o *payoff* no incumprimento, ou seja,

- (i) Se os *cash-flows* foram pagos antes do incumprimento então

$$I(\tau \leq T)V(t, \tau). \quad (9)$$

- (ii) O *payoff* no momento do incumprimento corresponde a uma das duas situações seguintes:

- Se  $V(\tau, T) > 0$ , então a instituição receberá a taxa de recuperação ( $\delta$ ) do valor sem risco das posições dos derivados.
- Se  $V(\tau, T) \leq 0$ , então a liquidação do montante ainda tem que ser resolvida, podendo até não haver liquidação.

Após a considerações destas últimas duas hipóteses, o *payoff* é dado por

$$I(\tau \leq T)(\delta V(\tau, T)^+ + V(\tau, T)^-), \quad (10)$$

onde  $V(\tau, T)^+ = \max(V(\tau, T), 0)$  e  $V(\tau, T)^- = \min(V(\tau, T), 0)$ .

Juntando os *payoffs* acima indicados (8, 9 e 10), o valor da posição em risco  $\tilde{V}(t, T)$  é dado por

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} I(\tau > T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)V(t, \tau) + \\ I(\tau \leq T)(\delta V(\tau, T)^+ + V(\tau, T)^-) \end{array} \right] \quad (11)$$

Tendo em consideração que  $V(\tau, T)^- = V(\tau, T) - V(\tau, T)^+$  obtém-se

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} I(\tau > T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)V(t, \tau) + \\ I(\tau \leq T)(\delta V(\tau, T)^+ + V(\tau, T) - V(\tau, T)^+) \end{array} \right] \quad (12)$$

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} I(\tau > T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)V(t, \tau) + \\ I(\tau \leq T)((\delta - 1)V(\tau, T)^+ + V(\tau, T)) \end{array} \right] \quad (13)$$

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} I(\tau > T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)V(t, \tau) + \\ I(\tau \leq T)V(\tau, T) + I(\tau \leq T)(\delta - 1)V(\tau, T)^+ \end{array} \right]. \quad (14)$$

Sabendo que  $V(t, \tau) + V(\tau, T) \equiv V(t, T)$  então

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} I(\tau > T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)(\delta - 1)V(\tau, T)^+ \end{array} \right] \quad (15)$$

Finalmente, visto que  $I(\tau > T)V(t, T) + I(\tau \leq T)V(t, T) \equiv V(t, T)$  então

$$\tilde{V}(t, T) = E^Q \left[ \begin{array}{c} V(t, T) + \\ I(\tau \leq T)((\delta - 1)V(\tau, T)^+) \end{array} \right] \quad (16)$$

$$= V(t, T) + E^Q[I(\tau \leq T)((\delta - 1)V(\tau, T)^+)] \quad (17)$$

$$= V(t, T) - E^Q[I(\tau \leq T)((1 - \delta)V(\tau, T)^+)] \quad (18)$$

$$= V(t, T) - \text{CVA}(t, T). \quad (19)$$

De acordo com (Pykhtin, et al., 2007), o WWR é mais importante para contratos de derivados sobre mercadorias, crédito ou ações e menos importante para contratos de taxa de câmbio e taxa de juro. Sabendo que grande parte dos portfólios das instituições financeiras são contratos de taxas de juro, então a maioria das instituições financeiras está confortável em assumir a independência entre a exposição e qualidade de crédito da contraparte. Deste modo, assumindo a não existência de WWR, mais

especificamente a não dependência entre *recovery rate* e a exposição ou evento de *default*, então

$$\text{CVA}(t, T) = E^Q [I(\tau \leq T) ((1 - \delta)V(\tau, T)^+)] \quad (20)$$

$$= (1 - \bar{\delta}) E^Q [I(\tau \leq T)V(\tau, T)^+], \quad (21)$$

onde  $\bar{\delta}$  é a média ou o valor esperado da *recovery rate*. Assim é possível deduzir a fórmula do CVA de forma análoga à valorização de um CDS<sup>5</sup>:

$$\text{CVA}(t, T) = -(1 - \bar{\delta}) E^Q \left[ \int_t^T B(t, u) V(u, T)^+ dS(t, u) \right], \quad (22)$$

onde  $B(t, u)$  é o fator de desconto à taxa de juro sem risco e  $S(t, u)$  é a probabilidade de sobrevivência.

Então,

$$\text{CVA}(t, T) = -(1 - \bar{\delta}) E^Q \left[ \int_t^T B(t, u) \text{EPE}(u, T) dS(t, u) \right]. \quad (23)$$

onde  $V(u, T)^+ = \text{EPE}(u, T)$  é a posição em risco esperada positiva. Discretizando a equação (23), em  $m$  períodos tais que  $[t_0 = t, \dots, t_m = T]$ , tem-se que

$$\text{CVA}(t, T) \approx (1 - \bar{\delta}) \sum_{i=1}^m B(t, t_i) \text{EPE}(t, t_i) [S(t, t_{i-1}) - S(t, t_i)]. \quad (24)$$

Tal como referido anteriormente, o cálculo do CVA requer a mensuração da cobertura (*hedging*) da possibilidade de uma contraparte incumprir, cobertura essa que se pode conseguir por meio de um CDS.

Portanto, a probabilidade de uma contraparte incumprir pode ser calculada através do *spread* do CDS, ou seja, do prémio que o comprador de proteção paga no contrato CDS para cobrir a componente de incumprimento da contraparte.

#### 2.4. Credit Valuation Adjustment – Método semi-analítico

Uma vez deduzida a fórmula de apuramento do valor de CVA é perceptível alcançar que a sua implementação não é de todo fácil, nomeadamente o apuramento do valor da exposição esperada positiva (EPE). Ainda assim, para alguns produtos específicos, é possível derivar analiticamente a fórmula do CVA, tendo em consideração que esta fórmula não tem em conta a possibilidade de *netting* ou *collateral*<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Integrando em ordem à probabilidade de sobrevivência em vez da probabilidade de *default*.

<sup>6</sup> De referir que existe a possibilidade de incorporar a troca de *collateral*, sendo apenas necessário que as *Swaptions* tenham *strikes at-the-money* (ATM) e com uma volatilidade ponderada pelo *margin period of risk*, também conhecido com o período de liquidação.

A primeira vez que a implementação do CVA é referida nos artigos científicos, apesar de nunca ser designada como tal, foi no artigo de (Sorensen, et al., 1994). No essencial, os autores demonstram que o risco de contraparte de um *Swap* pode ser expresso em função de (*reverse*) *Swaptions* com diferentes datas de exercício. Ou seja, num cenário de *default* a contraparte só age de acordo com o contrato subjacente ao derivado se o pagamento for a seu favor. Este perfil corresponde precisamente ao de uma opção que a contraparte só “exerce” se lhe for favorável. O subjacente desta opção é um *Swap* inverso ao que se encontra contratado, ou seja, a opção de a contraparte não cumprir o *Swap* equivale à opção de entrar no *Swap* oposto ao que foi contratado originalmente. Esta situação só é aplicável num cenário de *default* da contraparte e por isso repete-se em todos os intervalos temporais onde pode ser considerado esse cenário.

Retomando a fórmula de apuramento (24) de CVA anteriormente explicada e juntando a abordagem anterior, de acordo com (Gregory, 2010) o valor de CVA pode ser expresso como:

$$CVA_{\text{swap}} \approx (1 - \delta) \sum_{j=i}^m [S(t, t_{i-1}) - S(t, t_i)] V_{\text{swaption}}(t; t_j, T), \quad (25)$$

onde  $V_{\text{swaption}}(t; t_j, T)$  é o valor hoje de uma *Swaption* sobre um *reverse Swap* com maturidade na data  $T$  e data de exercício  $t_j$ . O valor da *Swaption* é ponderado pela probabilidade de sobrevivência e respetiva taxa de recuperação. De referir que a *Swaption* deverá ser avaliada através do modelo de *Black* (1976).

### 3. Perspetiva Regulatória e Contabilística

Se olharmos para a história, a regulamentação sempre fez parte dos mercados financeiros. Até agora tem sido evidenciada uma perspetiva de mercado do CVA, no entanto, não são só as práticas de mercado que definem regras no espaço em que as instituições financeiras operam. Como referido anteriormente, existe um contexto de CVA regulatório e também contabilístico. Assim neste capítulo é nossa intenção elaborar uma breve sùmula das regulamentações mais importantes no que diz respeito a CVA.

#### 3.1. Acordos de Basileia

Os acordos de Basileia são talvez a face mais visível da regulamentação existente para CVA. Em 1988 quando foi efetuada a primeira versão dos acordos de Basileia foram instituídas regras de apuramento de requisitos de capital mínimo para as instituições financeiras. A principal novidade foi a criação do rácio *Risk-weighted Assets* (RWA). Este rácio é usado para calcular o *Capital Adequacy Ratio* (CAR), que é uma medida de quanto capital um banco tem em relação ao seu RWA, em outras palavras, a forma como o balanço do banco pode absorver prejuízos.

Na revisão de 2004, os requisitos de capital foram alargadas a risco de mercado e operacional, além do risco de crédito que tinha sido o principal foco do primeiro acordo. Neste acordo a principal novidade foi a inclusão dos derivados OTC no cálculo do RWA, ou seja as instituições financeiras quando efetuam o cálculo de requisitos de capital passam a ter em consideração este tipo de instrumentos. Existem diversos métodos de fazer o apuramento.

A crise financeira veio mostrar que algumas das metodologias utilizadas estavam a mitigar o risco de crédito, levando a perdas avultadas. Estas perdas resultaram em mudanças nas metodologias de apuramento de CVA que estava definido em Basileia II, surgindo assim a necessidade de fazer uma terceira revisão do acordo. Em 2009, em que foram introduzidas alterações no sentido de construir reservas contra perdas do valor de mercado dos ativos e incentivada a adoção de políticas mitigadoras de risco, tais como a existência de *collateral* ou a negociação de derivados OTC em CCP's.

### 3.1.1. Métodos de apuramento de CVA regulatório

A evolução dos acordos de Basileia tornou evidente que a CCR é a chave do risco financeiro e exigiu que as instituições financeiras determinassem reservas de capital sobretudo em períodos de *stress*. É requerido que introduzam um encargo de capital para cobrir o risco de perdas do MtM do risco de crédito decorrente de qualquer incumprimento dos contratos celebrados com uma contraparte – CVA. Assim são propostas duas metodologias para determinar o risco de crédito de capital regulatório.

#### 3.1.1.1. CVA Padrão

O comité propõe que o CVA seja determinado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{CVA} = 2.33\sqrt{h} \times \left\{ \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} w_i (M_i \text{EAD}_i^{\text{total}} - M_i^{\text{hedge}} B_i) - \sum_{j=1}^m w_j M_j^{\text{ind}} B_j^{\text{ind}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \frac{3}{4} w_i^2 (M_i \text{EAD}_i^{\text{total}} - M_i^{\text{hedge}} B_i)^2 \right\}^{1/2} \quad (26)$$

onde

$h=1$  e corresponde ao risco no horizonte temporal de um ano;

$n$  é o número de contrapartes;

$w_i$  é o peso aplicável à contraparte  $i$ , que depende de ratings de crédito externos (os pesos podem ser encontrados na Tabela 1);

$M_i$  é a maturidade das operações com a contraparte  $i$ ;

$\text{EAD}_i^{\text{total}}$  é o valor da posição em risco da contraparte  $i$ , que deverá ser descontado com o fator  $\frac{1-e^{-0.05 \times M_i}}{0.05 \times M_i}$ . De referir que EAD pode ser calculado de acordo com dois métodos diferentes definidos por (Settlements, 2015);

$B_i$  é o montante nominal da compra de CDS para cobertura do risco do CVA, referente à contraparte  $i$ , e que deve ser descontado com o fator  $\frac{1-e^{-0.05 \times M_i^{\text{hedge}}}}{0.05 \times M_i^{\text{hedge}}}$ ;

$M_i^{\text{hedge}}$  é a maturidade dos instrumentos de cobertura com o montante  $B_i$ ;

$M_j^{\text{ind}}$  é a maturidade indexada à cobertura;

$B_j^{\text{ind}}$  é o montante nominal, indexado a um ou mais CDS comprados para a cobertura do risco do CVA, referente à contraparte  $i$ , e que deve ser descontado com o fator  $\frac{1-e^{-0.05 \times M_j^{\text{ind}}}}{0.05 \times M_j^{\text{ind}}}$ .

Rating	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC
Peso	0.7%	0.7%	0.8%	1.0%	2.0%	3.0%	10.0%

Tabela 1 – Peso aplicável à contraparte  $i$ , que depende de *ratings* de crédito externos. (Settlements, 2015)

### 3.1.1.2. CVA Avançado

Para as instituições financeiras que utilizem o Método do Modelo Interno, aprovado pelas autoridades competentes, é proposto que o CVA seja calculado da seguinte forma:

$$CVA = LGD_{MKT} \sum_{i=1}^T \max(q(t_{i-1}) - q(t), 0) \left( \frac{EE(t_{i-1}) + EE(t_i)}{2} \right) \quad (27)$$

$$q(t) = e^{-\frac{s_t t}{LGD_{MKT}}}$$

Onde,

$t_i$  é o tempo da  $i$ -ésima reavaliação num determinado período (*time bucket*) a partir de  $t_0 = 0$ ;

$t_T$  é a maturidade do contrato com a contraparte  $t$ ;

$s_t$  é o spread de crédito da contraparte no momento  $t$ ;

$LGD_{MKT}$  é a perda dado o incumprimento da contraparte e deve ser baseada no spread de um instrumento de mercado da contraparte  $t$ ;

$EE(t)$  é exposição esperada para a contraparte no momento de reavaliação  $t$ ;

$q(t)$  é a probabilidade de sobrevivência da contraparte  $t$ ;

### 3.2. CRD IV e CRR

A Comissão Europeia propôs uma divisão da *Capital Requirements Directive* (CRD) em duas legislações: a *Capital Requirements Regulation* (CRR) e a *CRD IV*. De forma breve, a CRR inclui a maior parte das provisões previstas pelo novo regime prudencial bancário, ou seja o acordo de Basileia III introduziu requisitos mínimos aos seguintes rácios para a mitigação do risco de liquidez: o rácio de cobertura de liquidez (*liquidity coverage ratio* – LCR) e o rácio de financiamento líquido estável (*Net stable funding ratio* – NSFR). De referir que estes limites são impostos apenas enquanto mínimos regulamentares, não tendo sido ainda estudada a possibilidade de os ajustar em função do ciclo financeiro ou de características estruturais do sistema financeiro, como é o caso dos instrumentos de política macroprudencial. De qualquer forma, as medidas que venham a ser adotadas a nível macroprudencial terão de ter estes requisitos mínimos em conta. Enquanto que a CRD IV introduz provisões relativas a remunerações,

melhoria da transparência e governação e introdução de reservas de capital além dos requisitos de fundos próprios, ou seja passa a existir a necessidade de uma reserva de conservação de fundos próprios para garantir que acumulam, durante os períodos de crescimento económico, uma base de capitais próprios suficiente para absorver as perdas em períodos adversos.

### **3.3. MiFID II**

Também no mercado de instrumentos derivados está planeado a introdução de nova regulamentação *The Markets in Financial Instruments Directive II* (MiFID II). Esta regulamentação visa aumentar a eficiência dos mercados, bem como a sua transparência e resistência face a choques inesperados; incrementar os níveis de proteção dos investidores; modernizar as estruturas de mercado; promover a competitividade e a confiança nos mercados financeiros europeus; reduzir a fragmentação dos dados; harmonizar regimes regulatórios das diferentes jurisdições e analisar a estratégia e os modelos de negócios das contrapartes financeiras.

### **3.4. IFRS13 – Mensuração do Justo Valor**

Por último, no que diz respeito à perspetiva de contabilidade o CVA é regulado pela Normal Internacional de Reporte Financeiro (IFRS), nomeadamente a (International Accounting Standards Board, 2011) que refere que “a entidade deve incluir na mensuração pelo justo valor o efeito da exposição líquida da entidade ao risco de crédito dessa contraparte ou da exposição líquida da contraparte ao risco de crédito da entidade se os participantes no mercado tivessem normalmente em conta quaisquer acordos existentes que atenuem a exposição ao risco de crédito em caso de incumprimento (...). A mensuração pelo justo valor deve refletir as expectativas dos participantes no mercado relativamente à probabilidade de que tal acordo seja legalmente aplicável em casa de incumprimento.” Deste modo, os reportes financeiros passam a ter uma volatilidade acrescida na medida em que caso exista alterações nos *spreads* de crédito das contrapartes com as quais existem derivados OTC, obviamente que os resultados terão um impacto imediato. De referir ainda que a mesma norma estabelece que a metodologia adotada para calcular o *pricing* do CCR deverá ser a mesma que é utilizada para contabilizar ao justo valor a carteira de derivados OTC.

## 4. CVA – Implementação para um *Interest Rate Swap*

### 4.1. Métodos de Cálculo

O objetivo deste capítulo é demonstrar como é calculado o CVA unilateral para um IRS em função do método escolhido para o apuramento.

Os modelos apresentados anteriormente<sup>7</sup> - Standard ou Semi-analítico – diferenciam-se sobretudo na forma de apuramento da exposição esperada (EE). Assim, é intenção desta dissertação dar especial enfoque ao apuramento da EE e das PD, visto que são os principais fatores que influenciam os valores apurados de CVA. De referir que, para esta implementação, não foram tidos em consideração quaisquer formas de mitigação do CCR, entenda-se acordos de *netting* ou colateral. Também para o efeito assumiu-se a não existência de WWR.

### 4.2. *Interest Rate Swap*

Como referido anteriormente, é intenção desta dissertação efetuar o apuramento de CVA para um IRS. A escolha deste instrumento financeiro prende-se sobretudo com o facto de este ser o instrumento predominante no mercado; recorde-se os dados apresentados na Figura 1. Em termos financeiros, um *swap* de taxa de juro (*IRS*) é um contrato entre duas partes onde estas acordam trocar fluxos de taxa de juro com uma periodicidade previamente acordada. Recuperando um exemplo já dado em capítulos anteriores, a parte "A" deve receber da sua contraparte "B" cashflows calculados a uma taxa de juro fixa enquanto que "B" deve receber da sua contraparte "A", na mesma data, a quantia equivalente em função de uma taxa de juro variável (por exemplo Euribor), podendo ou não ser adicionada de um *spread*. Na ausência de qualquer outra especificação, ambas as partes estão sujeitas aos riscos de crédito e de mercado. Este tipo de *IRS* é usualmente denominado por *Plain Vanilla*. A Figura 4 ilustra os fluxos do IRS anteriormente exemplificados.

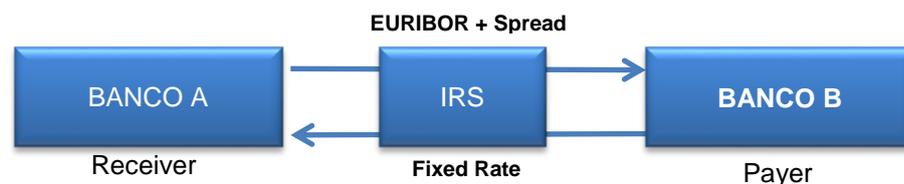


Figura 4 – Exemplo de um *IRS plain vanilla*

<sup>7</sup>Os métodos referidos não dizem respeito aos métodos previstos para o apuramento de CVA regulatório especificados no capítulo 3.1.1

Defina-se agora que  $V(t)$  é o valor de um qualquer *swap* no momento  $t$ , ignorando o CCR e definindo a taxa de recuperação por  $R$ . Então, se a contraparte entrar em *default* no momento  $\tau$  podemos terminar com seguintes situações:

- (i) Se  $V(\tau) \geq 0$  recebemos  $R \times V(\tau)$ ,
- (ii) Se  $V(\tau) \leq 0$  devemos  $V(\tau)$  para a massa falida.

Podemos aqui ver o desequilíbrio no *cashflow*, dependendo se o valor MtM é positivo ou negativo. Assim o *payoff* ( $P$ ) pode ser calculado através de uma única expressão:

$$P = V(\tau) - (1 - R) \max(V(\tau), 0). \quad (28)$$

De acordo com os estudos efetuados por (Altman, et al., 1996), a taxa de recuperação deverá ser cerca de 40%. Adicionalmente, se tivermos em consideração o último período de crise, e consultarmos as taxas de recuperação implícitas nos *Credit Default Swaps* (CDS), constatamos que as mesmas, grosso modo, mantiveram-se nos 40%. Assim, pode assumir-se uma LGD de 60%.

Graficamente é mais perceptível identificar as duas situações acima referidas. A Figura 5 demonstra a assimetria dos *cashflow* quando uma contraparte entra em default em função da posição que o valor do *swap* representa nesse momento. No caso do MtM negativo, o valor do *swap* é pago integralmente à massa falida; por outro lado no caso do MtM positivo, ao valor do MtM é deduzido o valor da LGD.

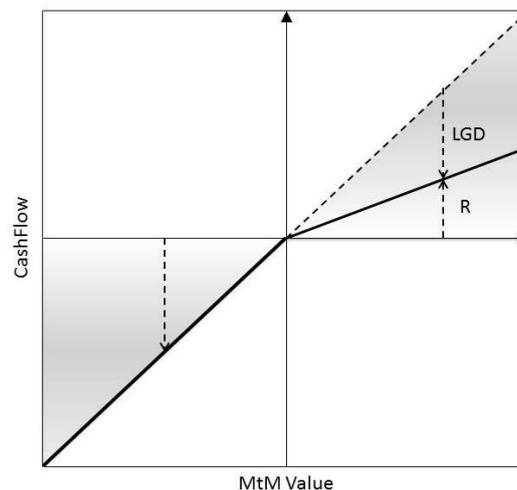


Figura 5 – Demonstração do perfil assimétrico dos *cashflow* em função do estado no momento do *default*.

Assim, a valorização do IRS corresponde à diferença entre o valor MtM fixo e o valor MtM variável. As valorizações são determinadas através das fórmulas:

$$\text{Valor MtM}_{\text{Fixo}} = C \sum_{i=1}^M \left( \text{VN} \frac{t_i}{T_i} df_i \right) \quad (29)$$

e

$$\text{Valor MtM}_{\text{Variável}} = \sum_{i=1}^M \left( f_i \text{VN} \frac{t_i}{T_i} df_i \right), \quad (30)$$

onde o  $C$  é a taxa fixa (taxa *swap*),  $M$  é o número de pagamentos fixos/variáveis,  $\text{VN}$  é o valor nocional,  $t_i$  é o número de dias no período  $i$ ,  $T_i$  é o número de dias acordados para a conversão,  $df_i$  é o fator de desconto e  $f_i$  é a taxa *forward*.

Para o efeito do exercício proposto, irá ser efetuada uma valorização de um *receiver IRS* (paga taxa variável e recebe taxa fixa) com as características apresentadas na Tabela 2.

<b>Swap Details</b>	
Rec Swap Rate	<b>2.00%</b>
Pay Swap Rate	<b>Euribor 6M</b>
Notional €	<b>100,000,000</b>
Pay/Rec	<b>Receiver</b>
Fixed Freq	<b>Quarterly</b>
Floating Freq	<b>Quarterly</b>
Maturity	<b>10Y</b>

Tabela 2 – Detalhes do *IRS* em análise

#### 4.3. Curva de Desconto

Para se proceder a uma correta avaliação de um *IRS* é necessário uma curva de desconto adequada ao indexante e periodicidade dos pagamentos. Uma vez que se vai examinar um *IRS Plain Vanilla*, a curva habitualmente usada pelo mercado é a curva *swap* implícitas ao mercado LIBOR. A LIBOR é a taxa de referência para este tipo de transações, visto que se trata de uma média das taxas de depósitos interbancários. Existem alguns autores (Gregory, 2010) e (Hull, et al., 2013) que defendem que com a crise, esta taxa deixou de ser considerada como *risk free* devido a existência de um largo *spread* entre as taxas *Overnight Indexed Swap* (OIS) e a LIBOR. Assim para se proceder à valorização dos instrumentos, assumiu-se que as *yield* implícitas à dívida soberana alemã representa uma estrutura temporal de taxa de juro sem risco. Para o efeito de apuramento de valores do cenário base considerou-se o nível de taxas disponível na Tabela 3 e na Figura 6. Considera-se que este nível de taxas está de acordo com os níveis que o mercado tem disponível no presente momento.

Tenor	Par Rate
3M	-0.99%
6M	-0.96%
9M	-0.92%
1Y	-0.88%
2Y	-0.74%
3Y	-0.60%
5Y	-0.34%
7Y	-0.12%
10Y	0.17%

Tabela 3 – Taxas de juro implícita à dívida soberana alemã

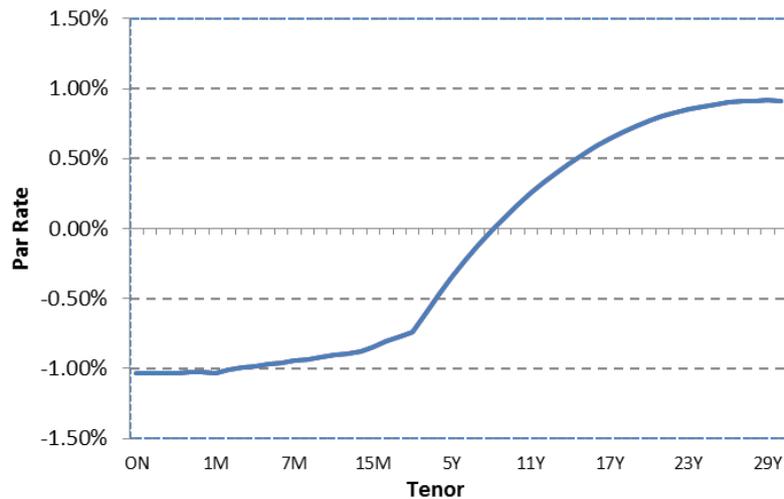


Figura 6 – Curva de taxa de juro implícita da dívida soberana alemã

#### 4.4. Superfície de Volatilidade de Taxa de Juro

Para se proceder ao apuramento da exposição esperada, nomeadamente para o modelo semi-analítico, é necessário uma superfície de volatilidade com diferentes *tenors* e *strikes*. Uma vez que existe a premissa, por parte dos reguladores, que sempre que exista informação de mercado a mesma deve ser utilizada, então para o efeito vai ser utilizada a informação da volatilidade implícita de *swaptions at-the-money*, disponibilizada na *Bloomberg* para o contribuidor ICAP, representada graficamente na Figura 7.

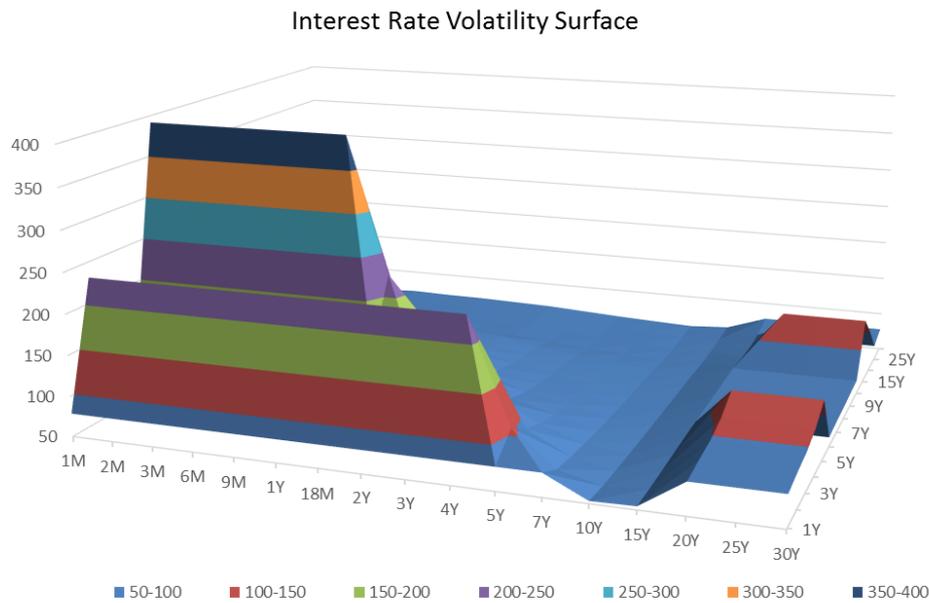


Figura 7 – Superfície de Volatilidade utilizada para o apuramento dos prémios das *Swaptions* na metodologia semi-analítica

#### 4.5. *Exposição Esperada*

Tal como referido anteriormente, a exposição esperada positiva é um conceito chave para o cálculo do CVA. O cálculo da exposição esperada pode ser efetuado de diferentes formas, em função do método escolhido para o efeito. Para o nosso propósito vamos concentrar-nos em dois métodos: (i) Simulações de Monte Carlo e (ii) Semi-analítico.

##### 4.5.1. Estrutura temporal de taxa de juro – Simulação de Monte Carlo

Para apurar a EE através de simulações de Monte Carlo é necessário implementar o seguinte algoritmo:

- (i) Considerar os fatores de risco que influenciarão a exposição;
- (ii) Escolher um modelo para os fatores de risco;
- (iii) Gerar cenários através da simulação destes fatores de risco;
- (iv) Calcular o valor MtM de todas as operações com cada contraparte, para cada cenário e para cada momento.

Depois de implementado o modelo é possível apurar qual a EE da carteira e/ou instrumento em análise.

Aplicando o algoritmo acima descrito a uma operação de um IRS, o fator de risco associado à operação deverá ser a taxa de juro variável. Assim passa a ser necessário aplicar um modelo de estrutura temporal de taxa de juro. Utilizando, por exemplo, um

modelo de um só fator, a taxa de juro instantânea, denominada por  $r(t)$ , segue um processo estocástico que determina a evolução de toda estrutura de taxa de juro.

O modelo utilizado para o efeito foi o primeiro a ser apresentado por Vasicek (1977), a saber:

$$dr_t = \alpha[\theta - r_t]dt + \sigma_r dW_t, \quad (31)$$

onde  $\alpha$  é a velocidade de reversão à média,  $\theta$  é a média de longo prazo,  $\sigma$  é o desvio padrão (volatilidade) e  $W_t$  é um processo de *Wiener*. Consequentemente, o valor, no momento  $t$ , de uma obrigação de cupão zero com maturidade no momento  $T(\geq t)$  é dado por,

$$p(t, T) = e^{A(t, T) - B(t, T)r_t} \quad (32)$$

onde,

$$A(t, T) = \left(\theta - \frac{\sigma^2}{2\alpha^2}\right)(B(t, T) - T + t) - \frac{\sigma^2}{4\alpha} B(t, T)^2 \quad (33)$$

$$B(t, T) = \frac{1}{\alpha}(1 - e^{-\alpha(T-t)}) \quad (34)$$

Procedendo à discretização da equação dinâmica obtêm-se a equação:

$$r_{t_{i+1}} = r_{t_i} + \alpha(\theta - r_{t_i})(t_{i+1} - t_i) + \sigma\sqrt{t_{i+1} - t_i}W_{t_{i+1}} \quad (35)$$

Uma vez simuladas as taxas de juros e os respetivos MtM do IRS é possível apurar a exposição esperada da operação, ou seja

$$EE_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max\{V_{i,t}, 0\}, \quad (36)$$

onde  $V_{i,t}$  é o valor MtM do IRS, no momento  $t$  e para a trajetória  $i$  ( $i=1, \dots, N$ ).

#### 4.5.2. Semi-analítico

Na abordagem semi-analítica a implementação da EE é mais simples que nos modelo de simulação de Monte Carlo. Retomando a equação (25) usada para a descrição do cálculo do CVA de *Swap*, por via do método semi-analítico, é perceptível que a EE é dada pela interação de dois fatores: o *payoff* da *Swaption* e a duração do *Swap* subjacente à *Swaption*. Tal como referido anteriormente, o *payoff* da *Swaption* é apurado através do modelo de *Black* (1976).

Apresentadas as diferentes metodologias de apuramento da exposição esperada, é tempo de visualizar as EE utilizadas para o cenário base através da Figura 8.

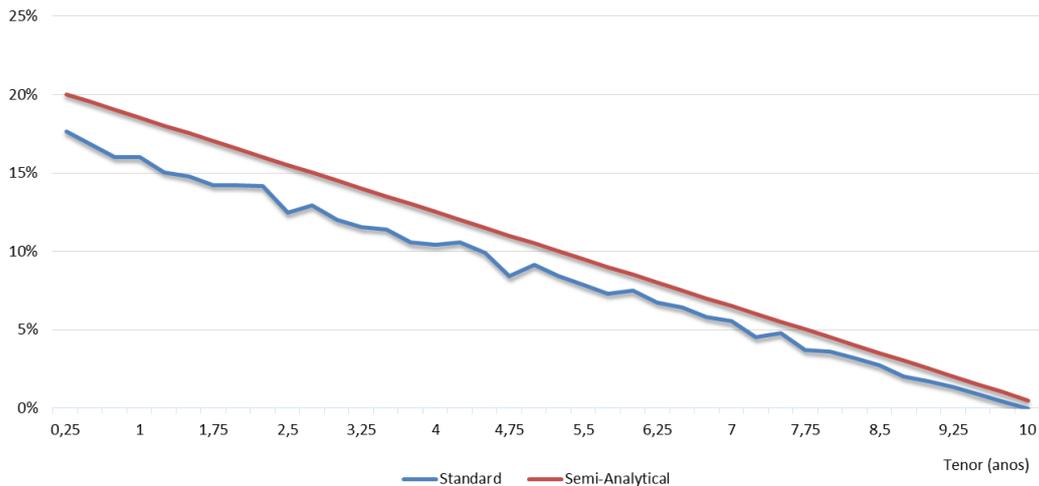


Figura 8 – Comparação da exposição esperada apurada pelas diferentes metodologias

#### 4.6. Probabilidades de Default

Tal como referido anteriormente, por probabilidade de *default* entende-se a quantificação da possibilidade de uma entidade entrar em incumprimento num intervalo pré-definido no futuro. O desafio para este tópico está em calcular corretamente e estimar com precisão essa possibilidade de incumprimento. Existem diferentes métodos de o fazer: quer seja através de dados históricos e daí extrair a PD, pelos dados financeiros das empresas, mais conhecido como o modelo KMV da Moody's, quer seja através dos dados implícitos de mercado.

As PD implícitas podem ser obtidas via *pricing* de *Credit Default Swap* (CDS). A probabilidade de uma contraparte incumprir pode ser calculada através do *spread* implícito a um CDS, isto é, o prémio que o comprador de proteção paga no contrato CDS para cobrir a componente de incumprimento da contraparte. Se consideramos momento de *default*  $\tau$  como um processo de *Poisson*, obtido com uma intensidade de *default* constante via processo estocástico. A probabilidade de o *default* ocorrer antes de algum momento futuro  $t$ , para uma contraparte que ainda não está em incumprimento, é dada por:

$$PD(0, t) = 1 - \mathbb{E} \left[ e^{-\int_0^t \lambda(u) du} \right], \quad (37)$$

onde  $\lambda(u)$  é a intensidade de *default*, usualmente definida como *hazard rate*. No entanto, poderemos calibrar o modelo através dos CDS observados no mercado para uma contraparte em particular e derivando a intensidade de *default* através da seguinte relação:

$$\lambda(t) = \frac{\theta(0,t)}{LGD}, \quad (38)$$

onde  $\lambda(t)$  é o *forward* da intensidade de *default*,  $\theta(0,t)$  é o *spread* no momento zero do CDS com maturidade  $t$  e a LGD é a *loss-given-default*. Para o efeito vamos assumir que a intensidade de *default* é constante entre as duas datas de vencimento dos CDS adjacentes, ou seja aquilo que (Gregory, 2010) denominou como “*piecewise constant representation of the hazard rate*”. Assim, a probabilidade de *default* pode ser designada como:

$$PD(0,t) = 1 - \exp(-\lambda(t))$$

Assim para o cenário base foram aplicados os prémios dos CDS e respetivas probabilidades de *default* disponíveis na Figura 9.

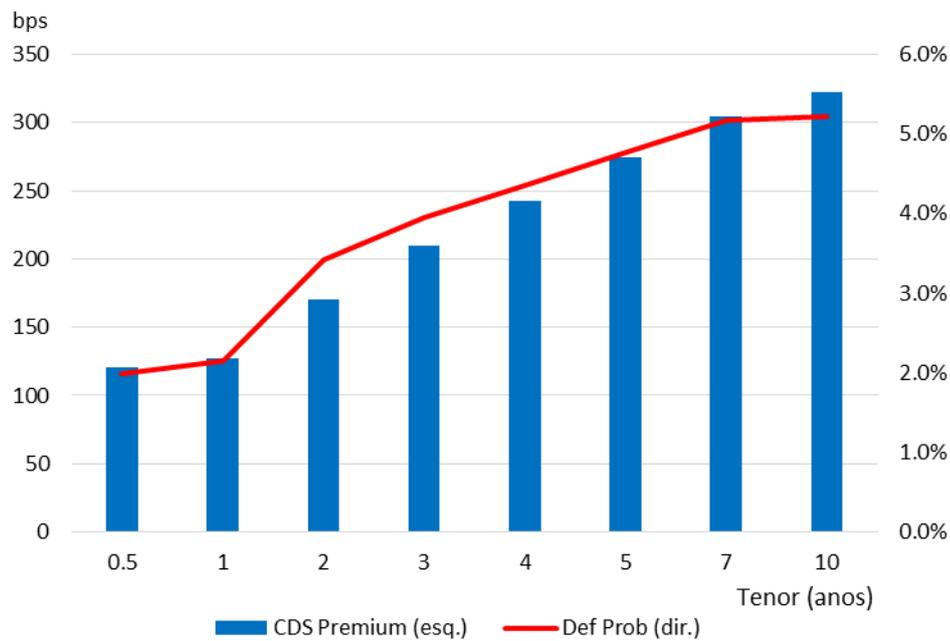


Figura 9 – Prémios de CDS e probabilidades de *default* para diferentes prazos utilizados no cenário base.

## 5. Análise dos resultados

Uma vez apresentado o racional implícito para o apuramento dos *inputs* necessários à obtenção de valores de CVA, estão reunidas as condições para testar os modelos e verificar o quão são sensíveis a variações nesses mesmos *inputs*; no fundo aquilo que se pode denominar de *Stress Tests*. Foram efetuados dois tipos de *stress tests* ao contrato em análise: num primeiro foram chocados os *inputs* individualmente com o intuito de aferir a sensibilidade do modelo a variações isoladas de cada *input*; no outro foram efetuados choques em todos os *inputs*. Para cada *stress test* foram construídos diferentes cenários afim de incrementar o choque aplicado, tendo sempre por base de comparação o modelo com os *inputs* iniciais.

### 5.1. *Stress test* #1 – Exposição Esperada

Neste primeiro *stress test* foi aplicado um choque paralelo aos preços das obrigações da dívida soberana alemã com o intuito de as taxas de juros implícitas serem cada vez menos negativas. Os choques aplicados foram de 100 bps, 200 bps e 500 bps, o que resultou nos respetivos cenários 1, 2 e 3. De referir que o choque aplicado no cenário 3 fez com que a nossa curva de taxa de juro implícita fosse positiva em todos os prazos, como é possível verificar na Figura 10.

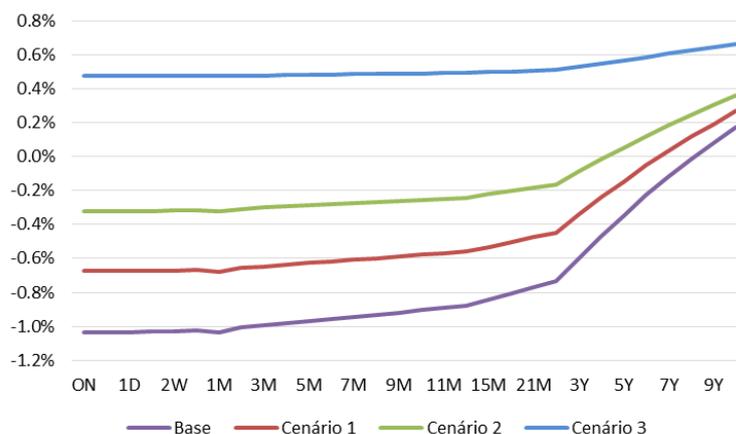


Figura 10 – Comparação das taxas de juro implícitas à dívida pública alemã para os diferentes cenários estimados

Uma vez obtidas as curvas de taxas de juro implícitas, foi então possível estimar a exposição esperada em função dos diferentes modelos explicados no capítulo anterior. Conforme é possível constatar na Figura 11, a EE é mais volátil no modelo de simulação de Monte Carlo do que no modelo semi-analítico. No modelo de simulação de Monte Carlo, um choque de 100 bps faz com que a EE altere consideravelmente, isto é nos

prazos mais curtos, passa dos 12% para os 16%. Já no modelo semi-analítico não se verifica este comportamento. Recordemos que a EE no modelo analítico é o *payoff* da *swaption* de cada fluxo do IRS, ou seja a variação nas taxas de juro apenas terá impacto no fator de desconto a aplicar e na definição do “*Spot*” que neste caso se mantém longe do *strike* (2%). Assim é espectável que as *swaption* não tenham grandes oscilações de valor.

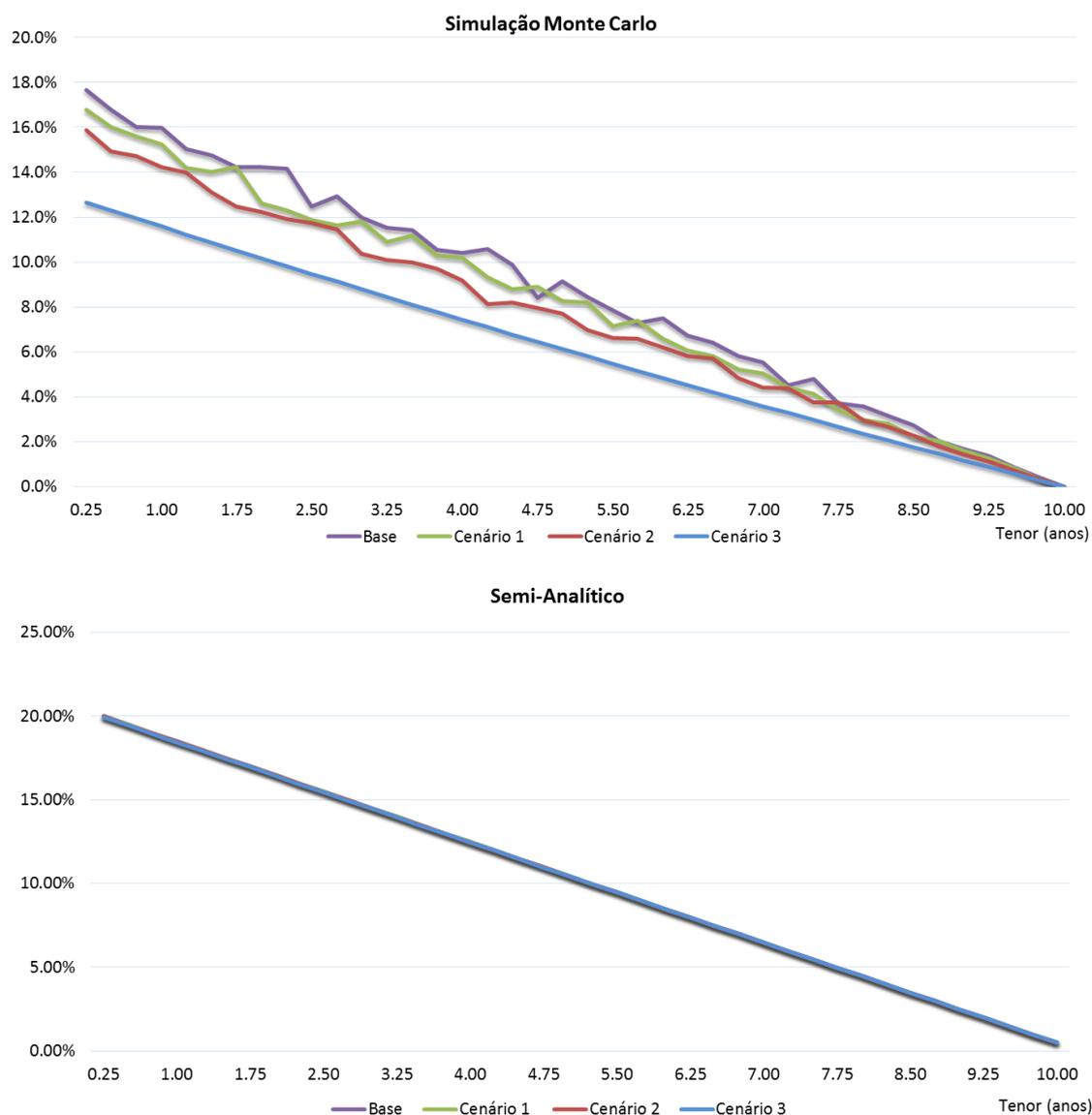


Figura 11 – Comparação da EE para os diferentes cenários através das diferentes metodologias

Note-se que ainda que as probabilidades de *default* nestes cenários foram mantidas constantes face ao cenário base.

Estão assim reunidas as condições para analisar o comportamento dos valores de CVA em função das alterações à exposição esperada. Tal como será de esperar, os valores de

CVA apenas apresentam uma variação significativa no modelo *standard*, como é possível verificar na Figura 12.

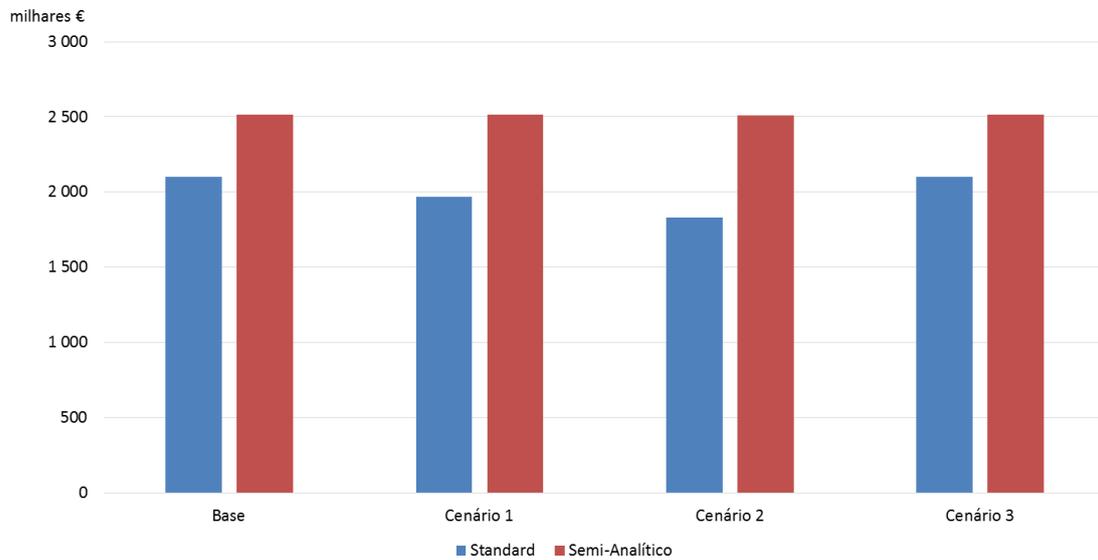


Figura 12 – Valores de CVA apurados para os diferentes cenários através das metodologias Standard e Semi-Analítico

### 5.2. *Stress test #2 – Probabilidades de Default*

À semelhança do primeiro *stress test*, também neste segundo *stress test* foi aplicado um choque paralelo aos prémios dos CDS que representam o risco de crédito da contraparte do IRS em análise. Neste teste foram mantidos todos os *inputs* do cenário base com exceção dos prémios dos CDS da contraparte. Assim, foram criados dois cenários, um ao qual foi aplicado um choque positivo de 100 bps e o outro de 500 bps. Em ambos os cenários existe uma deterioração da qualidade de crédito da contraparte. Na Figura 13 é possível visualizar os prémios dos CDS em cada um dos cenários.

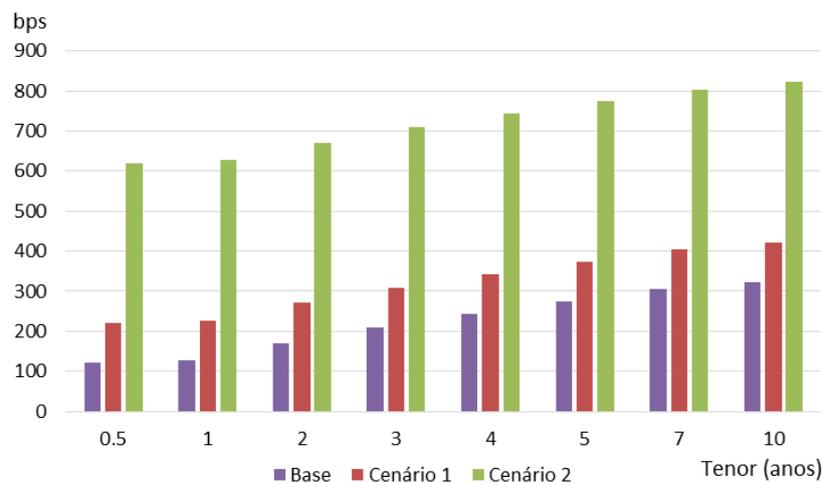


Figura 13 – Prémios dos CDS para cada um dos cenários +100 bps ou +500 bps, respetivamente

Uma vez aplicado um choque nos prémios, foram estimadas as probabilidades de default implícitas nas cotações dos novos prémios. Como é possível apreender da Figura 14, com o agravamento da qualidade de crédito as probabilidades de *default* tendem a ser mais altas no curto-prazo.

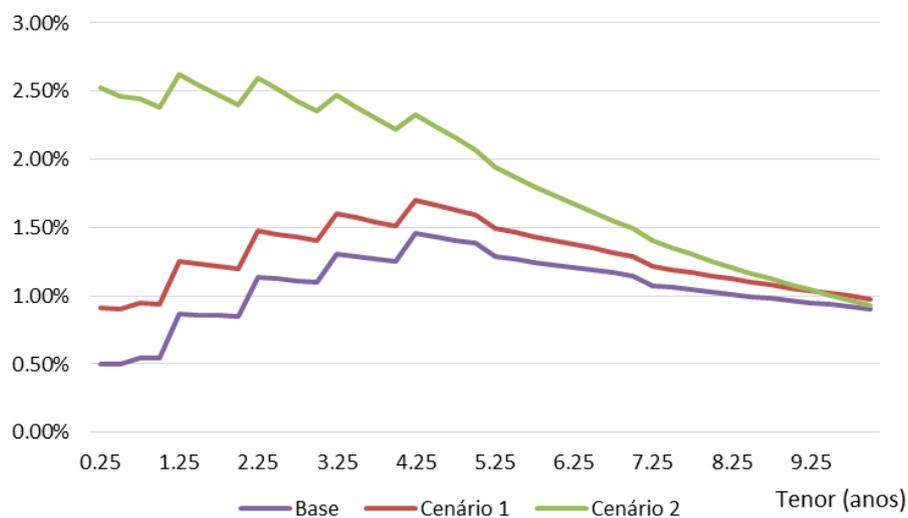


Figura 14 – Probabilidades de default implícitas aos prémios dos CDS dos diferentes cenários

A principal conclusão que se pode retirar deste segundo exercício de *stress test* aos modelos de apuramento de CVA é que ambos os modelos têm um desempenho semelhante, ou seja o modelo *standard* e semi-analítico têm uma evolução semelhante em função da deterioração da qualidade de crédito da contraparte. Tal como é espectável, quanto pior for a qualidade de crédito da contraparte maior é o nível de CVA, ou seja é exigido mais capital para fazer face a perdas potenciais. De referir que, em comparação com o primeiro *stress test*, o modelo semi-analítico é mais sensível a flutuações da qualidade de crédito do que a variações de taxa de juro. Estas conclusões ficam evidenciadas na análise à Figura 15.

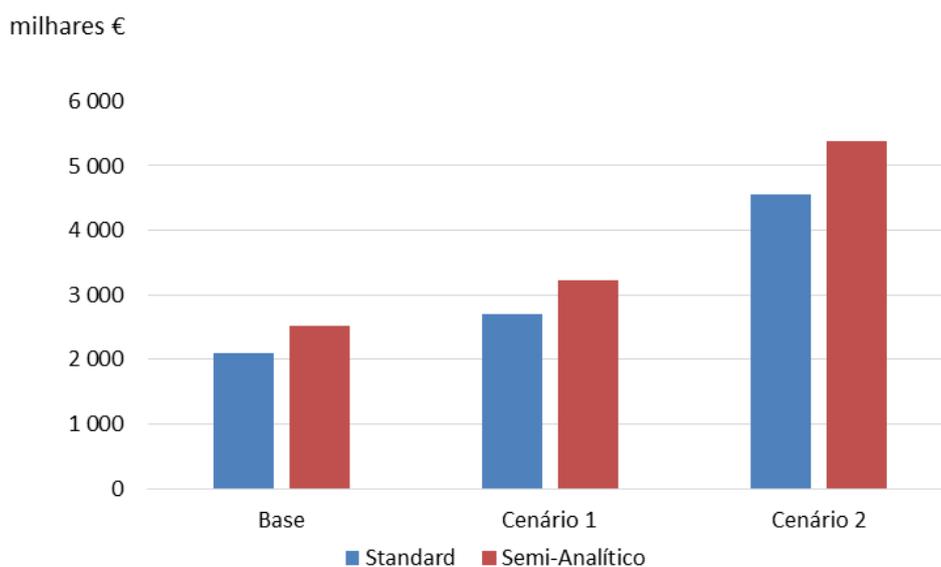


Figura 15 – Níveis de CVA para os diferentes cenários em função do modelo de apuramento

### 5.3. *Stress test #3 – EE em conjunto com a PD*

Neste último *stress test* pretende-se analisar sensibilidade dos modelos de apuramento de CVA quando se aplica um choque a ambos os *inputs*. Ou seja, até agora foram sendo aplicados choques individuais a cada *input*; neste ponto será criado um cenário com choques em ambos os *inputs*. No cenário criado estimou-se uma inversão das taxas de juro face ao cenário base (isto é passam a ser positivas em todos os prazos), igual ao cenário 3 do *stress test* #1 e aplicou-se um choque positivo paralelo de 250 bps aos prémios dos CDS demonstrando uma diminuição da qualidade de crédito da contraparte. Na Figura 16 é possível analisar o incremento do nível dos prémios dos CDS, o mesmo acontece na Figura 17 com as probabilidades de *default* implícitas.

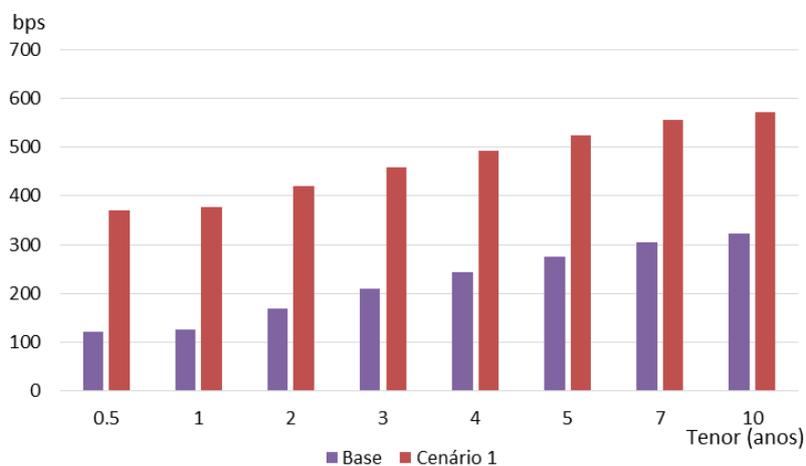


Figura 16 – Nível dos prémios de CDS após choque positivo de 250 bps

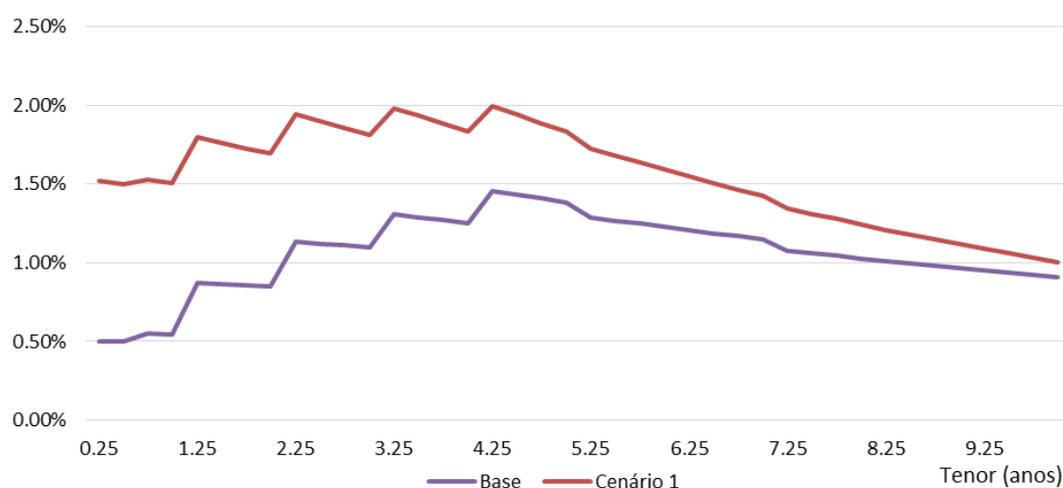


Figura 17 – Probabilidades de default implícitas aos prémios de CDS após choque positivo de 250 bps

Relativamente à exposição esperada calculada pelas diferentes metodologias, os resultados alcançados são iguais ao cenário 3 do primeiro *stress test*, como é possível verificar através da Figura 18. Ou seja, a EE no modelo *standard* tem uma variação significativa, ao invés do modelo semi-analítico em que a EE permanece praticamente igual.

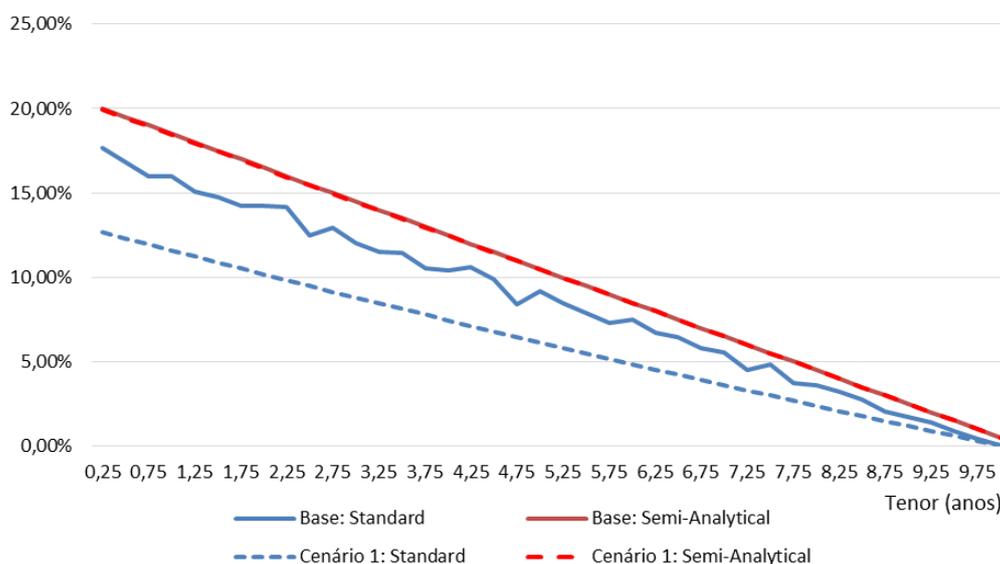


Figura 18 - Evolução da exposição esperada após alterações nas taxas de juro implícitas

Analisando agora os resultados globais em termos de CVA, constata-se que o modelo semi-analítico tem um maior incremento face ao *standard*, tal como é possível verificar na Figura 19. É possível constatar que o modelo semi-analítico mais do que duplica o valor de CVA exigido para esta transação, caso o nível das taxas passasse para positivo

e houvesse uma deterioração da qualidade de crédito da contraparte. Poderá assim dizer-se que é um modelo mais reativo às flutuações de mercado, justificado em parte pela própria metodologia que está por trás do modelo ser a teoria das opções. Nos casos em que estamos na presença de contratos *in-the-money*, é espectável que o modelo seja altamente reativo às condicionantes de mercado, semelhante ao que acontece com a valorização das opções.

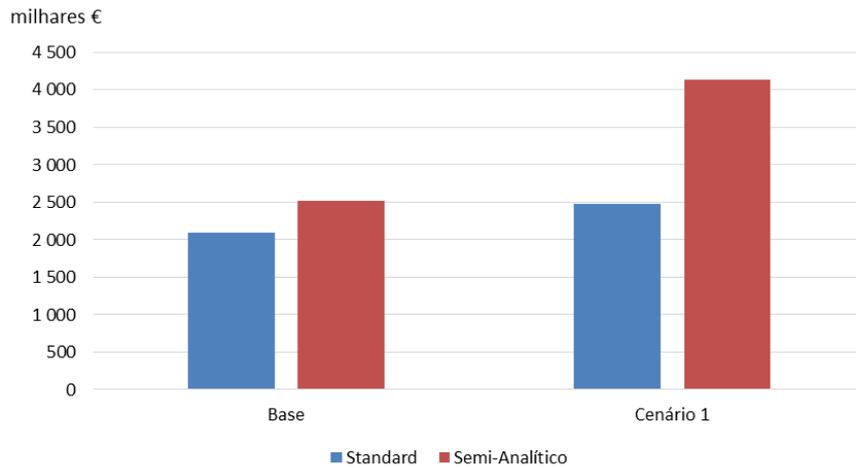


Figura 19 – Comparação dos valores de CVA apurados em função do modelo/cenário escolhido

---

## Conclusão

O objetivo da dissertação passou por proporcionar uma visão mais abrangente sobre a técnica de CVA. Esta técnica surgiu em função da crise financeira do final da primeira década do século XXI. A ideia predominante era de que os principais *players* do mercado eram demasiados grandes e complexos para entrarem em *default*, no entanto, constatou-se que afinal era possível os mesmos entrarem em *default*. Surgiu a necessidade de criar um ajustamento de crédito em função da contraparte com que se efetua os contratos de derivados OTC. O CVA corresponde à estimativa do valor atual do custo esperado associado ao incumprimento de uma contraparte nos pagamentos associados a um derivado.

Nesta dissertação foram explicados os pressupostos dos modelos de apuramento de CVA apresentados: *standard* e semi-analítico (*Swaption approach*). Uma das principais diferenças entre os modelos é o método de apuramento da exposição esperada positiva. No modelo *standard* foi apurada de acordo com um modelo de taxa juro instantânea de um só fator. No outro modelo fica evidenciado que é possível capturar a EE de um *swap* através de (*reverse*) *Swaptions* com diferentes datas de exercício.

A implementação prática da técnica de CVA foi efetuada através da simulação do apuramento de CVA para uma operação de IRS, com o intuito de testar os modelos e verificar o quão são sensíveis a variações nos *inputs* quer seja de uma forma isolada ou em conjunto. No primeiro caso em foi aplicada um choque na taxas de juro com o intuito de se obter novos valores de EE na operação em análise, foi possível observar que o modelo de simulação de Monte Carlo apresenta uma maior sensibilidade a variações neste *input* que o outro modelo. Este comportamento em parte é explicado porque no modelo semi-analítico as taxas de juro só tem influência para a definição do *Spot* e no fator de desconto a aplicar. Consequentemente igual comportamento se verifica quando se análise os valores de CVA obtidos. Já no que diz respeito ao segundo caso o choque foi aplicado aos prémios dos CDS que representam a qualidade de crédito da contraparte. O método de obtenção das PD é igual em ambos os modelos. A conclusão que se obteve é que tem igual comportamento nos valores de CVA obtido, i.e. é crescente em função do aumento das PD. No último exercício efetuado foi aplicado em conjunto um choque nos *inputs* dos modelos, onde é possível observar que o modelo

---

semi-analítico é mais reativo às flutuações de mercado, justificado em parte pela própria metodologia inerente no modelo.

Falta referir que existem alguns tópicos que podem ser testados num futuro, seguindo os mesmos princípios anteriormente explicados, i.e. o apuramento de CVA foi efetuado sem a presença de qualquer instrumento mitigador de risco, será um grande desafio a sua implementação sobretudo no modelo semi-analítico e analisar se o modelo continua com igual comportamento. Outro aspeto que não foi considerado para o efeito foi a não existência de prémios de CDS para a contraparte com que o negócio foi efetuado, sendo este muitas das vezes um grande desafio no apuramento dos valores de CVA, observe-se a realidade portuguesa onde praticamente é inexistente a presença de empresas com CDS cotados.

---

## Bibliografia

- Altman, Edward I. and Kishore, Vellore M. 1996.** Almost everything you wanted to know about recoveries on defaulted bonds. *Financial Analysts Journal*. Novembro/Dezembro 1996, Vol. 52, 6, pp. 57-64.
- Banco de Portugal. 2007.** *Aviso N.º 5/2007*. Lisboa : Banco de Portugal, 2007.
- Bank of International Settlements. 2015.** *BIS Statistical Bulletin*. Monetary and Economic Department. 2015.
- Canabarro, Eduardo and Duffie, Darrell. 2003.** Measuring and marking counterparty risk. *Asset/Liability Management of Financial Institutions*. s.l. : Euromoney Books 2003, 2003, 9.
- Franzén, Dan and Sjöholm, Otto. 2014.** *Credit Valuation Adjustment - In theory and practice*. Mathematics, KTH - Royal Institute of Technology. 2014.
- Gregory, Jon. 2010.** *Counterparty Credit Risk : The New Challenge for Global Financial Markets*. 1º. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd, 2010. ISBN: 9780470685761.
- Hull, John and Alan, White. 2012.** CVA and Wrong way risk. *Financial Analysts Journal*. Setembro/Outubro 2012, Vol. 68, N. 5, pp. 58-69.
- Hull, John and White, Alan. 2013.** Libor vs. OIS: The derivative discounting dilemma. *The Journal of Investment Management*. 3rd Quarter, 2013.
- International Accounting Standards Board. 2011.** *International Financial Reporting Standard 13 Fair Value*. 2011.
- Pykhtin, Michael and Zhu, Steven. 2007.** *A Guide to Modelling Counterparty Credit Risk*. 2007. Vol. 37.
- Schanz, Ulrich and Dorval, Michel. 2014.** White Paper: Building CVA on Top of an Existing Risk Infrastructure. *Misys*. [Online] 2014. [Cited: Outubro 26, 2015.] <http://www.misys.com/latest-insights/white-papers/building-cva/>.
- Settlements, Bank of International. 2015.** *Review of the Credit Valuation Adjustment Risk Framework*. 2015.
- Sorensen, Eric H. and Bollier, Thierry F. 1994.** Pricing Swap Default Risk. *Financial Analysts Journal*. Maio-Junho, 1994, Vol. 50, 23-33.
- Vale, Catarina A. 2010.** *Modelação e estimação do risco de crédito: Estudo de uma carteira*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa : s.n., 2010. Dissertação de mestrado.
- Wall Street dispatch: Imagination and common sense brew a safer culture.* **David, Wighton. 2007.** New York : Financial Times, Novembro 28, 2007.