

Análise de cenários na experiência do BNDES: integrando a gestão do risco operacional com a mensuração do capital

Macelly Oliveira Morais

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: maomorais@gmail.com

Antonio Carlos Figueiredo Pinto

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: figueiredo@iag.puc-rio.br

Marcelo Cabus Klotzle

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: klotzle@iag.puc-rio.br

Recebido em 01.12.2016 – Desk aceite em 11.01.2017 – 2ª versão aprovada em 14.12.2017

RESUMO

Os modelos internos de risco operacional ainda não se estabeleceram como metodologia para cálculo de capital regulamentar. Esses modelos, que devem estar integrados à gestão do risco operacional, têm sido criticados pela subjetividade de alguns de seus elementos fundamentais. Este artigo tem como objetivo demonstrar a utilização do elemento “análise de cenários” na metodologia *loss distribution approach* (LDA) para cálculo do capital regulamentar referente ao risco operacional, tendo como base a experiência do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) na integração da gestão do risco operacional com a mensuração do capital. A metodologia proposta, que aplicou a técnica Delphi por meio de questionários, possibilitou: (i) a mensuração do capital regulamentar considerando cenários factíveis; (ii) a identificação de cenários de cauda e de corpo da distribuição agregada de perdas, que não estão refletidos na base de dados interna de perdas; (iii) a identificação e a mensuração dos riscos operacionais do BNDES de forma abrangente; (iv) a obtenção de informações que podem direcionar a gestão do risco no que se refere à identificação de riscos que devem ter o tratamento priorizado; (v) o desenvolvimento de uma cultura de riscos, tendo em vista o envolvimento de especialistas de diversas unidades; e (vi) a utilização de uma metodologia compreensível a todos os especialistas de negócios, que são os que conhecem os riscos de suas atividades.

Palavras-chave: análise de cenários, risco operacional, modelos internos, BNDES, metodologia LDA.

Endereço para correspondência:

Macelly Oliveira Morais

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
Avenida República do Chile, 100 – CEP 20031-917
Centro – Rio de Janeiro – RJ – Brasil



1. INTRODUÇÃO

As especificidades do sistema financeiro o caracterizam como um dos setores mais associados a riscos. A intermediação de recursos entre investidores e tomadores de crédito faz com que o comprometimento do equilíbrio financeiro dessas instituições afete milhares de pessoas físicas e jurídicas, além do próprio sistema financeiro local, e até internacional, quando as operações de uma instituição ultrapassam o mercado financeiro local. Esse efeito propagador é associado ao risco sistêmico, definido pelo *Bank for International Settlements* (BCBS, 1994) como o risco que o não cumprimento de obrigações contratuais por um participante pode causar ao cumprimento das obrigações de outros. Tal risco pode gerar uma reação em cadeia de dificuldades financeiras maiores.

Dada a importância do setor financeiro e dos riscos que o envolvem, o BIS, organização financeira internacional da qual participam 60 supervisores de países de todo o mundo, divulgou, em 1988, o Acordo de Capital (Basileia I) (Basel Committee on Banking Supervision – BCBS, 1988), que propunha diretrizes para adequação do capital em bancos para fazer frente a possíveis perdas de risco de crédito. Em 1993, o risco de mercado foi incorporado à Basileia I. Por fim, em 2004, estabeleceu-se o Segundo Acordo de Capital (Basileia II), que incorporou o risco operacional.

Tendo em vista a preocupação com esses riscos, definiram-se requerimentos mínimos de capital para as instituições financeiras (patrimônio de referência). No caso das instituições financeiras brasileiras, em dezembro de 2017, o patrimônio de referência deveria representar, no mínimo, 9,25% dos ativos ponderados pelo risco, que é composto por parcelas referentes aos riscos de crédito, de mercado e operacional.

O risco operacional é definido como a possibilidade de ocorrência de perdas resultantes de falha, deficiência ou inadequação de processos internos, pessoas e sistemas ou de eventos externos (Banco Central do Brasil – BC, 2006) e está presente em qualquer atividade de uma instituição, seja ela financeira ou não, tendo em vista que falhas podem ocorrer em qualquer processo. Essa abrangência torna a gestão e a mensuração desse risco desafiadoras.

Apesar de Basileia II ter proposto, em 2004, diretrizes para os modelos internos de risco operacional, esses modelos ainda não se estabeleceram como metodologia

para cálculo de capital. No Brasil, nenhuma instituição financeira utiliza modelos internos de risco operacional para cálculo do capital regulamentar.

A não consolidação dos modelos internos de risco operacional pode ser explicada pelos seguintes fatores: (i) a busca por modelos totalmente objetivos que vai de encontro à subjetividade inerente ao risco operacional; (ii) o *gap* existente entre as metodologias teóricas e a realidade da gestão desse risco nas instituições financeiras; e (iii) o desafio para formação de uma base de dados de perdas abrangentes.

De acordo com Wahlstrom (2009), para atender ao propósito de gestão e de controle operacional no dia a dia, os pressupostos que sustentam os modelos de mensuração de risco precisam descrever a realidade, caso contrário, falham por não nortear a tomada de decisão. O autor sugere, ainda, que estudos que satisfazem demandas puramente acadêmicas devem voltar à prática e, com usuários e praticantes, iniciar discussões para encontrar soluções para problemas reais.

O *gap* entre as metodologias teóricas e a realidade das instituições financeiras, por sua vez, pode ser explicado pela inexistência de pesquisas que apliquem essas metodologias a situações reais, tendo em vista que as informações sobre as perdas de risco operacional são tratadas como informações sigilosas, pela possibilidade de comprometerem a imagem dessas instituições.

A metodologia que vem sendo mais utilizada para o cálculo do capital referente ao risco operacional é a *loss distribution approach* (LDA). Como requerido por Basileia II, essa metodologia considera quatro elementos: dados internos de perdas, dados externos de perdas, análise de cenários e indicadores relativos ao ambiente de negócios e aos controles internos (*Business Environment and Internal Control Factors* – BEICFs).

O objetivo deste estudo é demonstrar a utilização do elemento análise de cenário na metodologia LDA para cálculo do capital regulamentar referente ao risco operacional como elemento integrador da gestão do risco e da mensuração de capital, tendo como referência a experiência do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) na gestão do risco operacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A parcela de capital regulamentar mínimo referente ao risco operacional deve ser constituída para absorver perdas severas em decorrência de eventos de risco operacional que possam comprometer a continuidade das instituições financeiras.

O BC, por meio da Circular n. 3.640/2013 (BC, 2013a), definiu abordagens padronizadas (RWA_{OPAD}) para cálculo dessa parcela. Já a abordagem de mensuração avançada (*advanced measurement approach* – AMA), baseada em modelos internos da instituição, foi definida por meio da Circular n. 3.647/2013 (BC, 2013b) que, apesar de ter estabelecido os requisitos mínimos para utilização da abordagem AMA para cálculo da parcela relativa ao risco operacional (RWA_{OAMA}), não especificou a metodologia que deve ser utilizada.

O Comitê de Basileia (BCBS, 2004) define os quatro elementos mínimos da abordagem AMA:

- O elemento “dados de perdas internas” refere-se a perdas ocorridas na instituição e é pré-requisito essencial para o desenvolvimento e o funcionamento de um sistema confiável de mensuração de risco operacional;
- O elemento “dados de perdas externas” refere-se a perdas operacionais ocorridas em outras instituições financeiras e deve ser utilizado principalmente quando há razões para acreditar que a instituição está exposta a perdas infrequentes, porém potencialmente severas;
- O elemento “análise de cenários”, proveniente da opinião de especialistas, deve ser utilizado para avaliar a exposição da instituição a eventos de alta severidade. Esse elemento adiciona uma visão de futuro que não é dada pelos elementos dados internos e dados externos de perdas; e
- O elemento “fatores chave do ambiente de negócios e controles internos” deve refletir a mudança do perfil de risco operacional. Esses fatores farão com que as avaliações de risco tenham uma visão prospectiva, reconhecendo tanto melhorias quanto deteriorações no perfil de risco de forma mais imediata.

Rodriguez, Domínguez, e Marín (2009) afirmam que a metodologia LDA é a mais sensível para utilização em modelos internos para mensurar o risco operacional. Já Arbeláez e Ceballos (2010) asseguram que a metodologia LDA é a mais utilizada no âmbito da abordagem AMA.

Nesta seção, as diretrizes gerais da metodologia LDA e o elemento análise de cenários serão apresentados, tendo

em vista o objetivo deste estudo: propor metodologia que integre o elemento análise de cenários à metodologia LDA para cálculo do capital mínimo exigido para o risco operacional.

2.1 Metodologia LDA

De acordo com Cruz, Peters e Shevchenko (2015), a metodologia LDA é baseada na modelagem anual da frequência N e da severidade X_1, X_2, \dots, X_n dos eventos de risco operacional de cada célula da matriz de risco de perdas classificadas pelas linhas de negócios [definidas pelo BC no Artigo 4º da Circular 3.640/2013 (BC, 2013a) e pelo Comitê de Basileia no Anexo 8 do Basileia II] e pelos os tipos de eventos de risco operacional [definidos pelo Conselho Monetário Nacional no Artigo 32 da Resolução 4.557/2017 (BC, 2017)]. Então, a perda anual para cada célula de risco é calculada por meio da agregação das severidades para o horizonte de um ano ($Z(j)$) e a perda total em determinado ano é obtida pela soma de todas as células da matriz de risco (Z).

$$Z(j) = X_1(j) + X_2(j) + \dots + X_N(j) \quad \boxed{1}$$

$$Z = \sum Z(j) \quad \boxed{2}$$

sendo N o número de eventos de perdas, X o valor da perda por evento e j cada célula da matriz de perdas classificada por linha de negócio e tipo de evento de risco operacional.

Fontnouvelle, Dejesus-Rueff, Jordan e Rosengren (2006) e Frachot, Moudoulaud e Roncalli (2003) indicam, como passos básicos da metodologia LDA: (i) estimação da severidade; (ii) estimação da frequência; (iii) cômputo do capital por meio da distribuição agregada de perdas obtida a partir das distribuições de frequência e severidade utilizando simulação de Monte Carlo ou outra técnica equivalente.

A estimação da severidade compreende a seleção da distribuição teórica que melhor se ajuste aos valores das perdas (distribuição empírica). De acordo com Cruz et al. (2015), é possível utilizar uma distribuição para modelar o corpo e outra para modelar a cauda. Isso ocorre porque os dados de perdas de risco operacional apresentam caudas grossas. Dessa forma, nem sempre uma única distribuição é suficiente para representar os dados empíricos.

A estimação da frequência compreende a seleção da distribuição teórica discreta que melhor se ajusta ao número anual de eventos.

Após a estimação dos parâmetros das distribuições teóricas, é necessário selecionar a distribuição que será considerada no modelo. Cruz et al. (2015) indicam que a seleção pode ocorrer por: (i) diagnóstico qualitativo, como os *Q-Q plots* e *P-P plots*; (ii) diagnóstico de cauda, utilizado para avaliar distribuições mais adequadas para caudas grossas da distribuição de severidade, como os *mean excess (ME) plots* e os *Hill plot*; (iii) critério de informação de Akaike, (iv) testes de *goodness-of-fit* (GOF), como Kolmogorov-Smirnov (KS), *chi-square*, Cramer-von-Mises (CVM) e Anderson-Darling (AD). O objetivo desses testes é indicar quais distribuições teóricas melhor se ajustam à distribuição empírica.

Após a calibração das distribuições de frequência e severidade, o cômputo de capital é realizado após a convolução das distribuições teóricas selecionadas. Os métodos mais utilizados para convolução de distribuições em modelos internos de risco operacional são: simulação, como a simulação de Monte Carlo, e métodos considerados exatos, como o recurso de Panjer (2006) e *fast Fourier transform* (FFT).

O capital regulamentar é definido como o *value at risk* (VaR) referente ao percentil 99,9 da distribuição agregada, que é o percentil da distribuição anual de perdas Z para o próximo ano (OpVar).

2.2 Análise de Cenários

O Comitê de Basileia e o BC não estabelecem a forma de utilização do elemento análise de cenários, tampouco há consenso na literatura sobre a melhor forma de utilizar tal elemento, considerado muito subjetivo em vários estudos apresentados sobre o tema.

Ergashev (2012) define os cenários como realizações hipotéticas de risco operacional de uma instituição ou, conforme amplamente conhecido na indústria financeira, riscos inerentes. Dessa forma, eles podem ser úteis para ajustes prospectivos na frequência e severidade de eventos históricos para antecipar mudanças no perfil de risco da instituição.

Para realização desta pesquisa, realizou-se o levantamento de como pesquisas anteriores abordaram o elemento análise de cenários no âmbito na metodologia LDA. As metodologias utilizadas nesses estudos serão resumidas a seguir.

Para Frachot et al. (2003), a análise de cenários expressa a percepção de especialistas e gestores experientes sobre o risco de suas atividades. Essa percepção não estaria refletida nos dados históricos de perdas e deve ser conectada às estimativas de frequência e severidade. Como metodologia para utilização da análise de cenários na metodologia LDA, os autores indicaram a restrição de

parâmetros das distribuições de frequência e severidade. Os autores não apresentaram metodologia para definição dos cenários.

McConnell e Davies (2006) propuseram a utilização de diagrama Bow-Tie, técnica utilizada para análise de segurança de empresas de aviação para geração de cenários para risco operacional, que tem como objetivo responder a duas questões fundamentais sobre frequência e severidade dos cenários. De acordo com os autores, o diagrama Bow-Tie faz suposições, análises, explicita conclusões referentes à gestão de risco e requer um passo adicional, que é a estimação dos *outputs* numéricos para utilização dos cenários nos modelos AMA. No entanto, esse passo adicional não foi demonstrado no estudo.

Alderweireld, Garcia e Léonard (2006) definiram uma técnica de quantificação de cenários (*scenario analysis quantification* – SAQ) que tinha como objetivos principais: (i) construir um questionário que fosse entendido por todos os gestores de risco operacional; e (ii) transformar o questionário em elemento acurado de capital. Os questionários tinham quatro questões relacionadas à frequência de perdas e ao valor médio. A distribuição de frequência considerada foi a de Poisson e a distribuição de severidade foi definida para distribuições com dois parâmetros (dois primeiros momentos) definidos em função da média. De acordo com os autores, a metodologia apresentada permitiu construir a distribuição de perdas percebida pelos especialistas, mesmo por aqueles que não tinham conhecimentos sobre estatística. No entanto, os autores não sugeriram uma forma para combinar esses cenários com os demais elementos da metodologia LDA.

Steinhoff e Baule (2006) argumentaram, ainda, que se for perguntado aos especialistas, diretamente, que tipo de distribuição é apropriada para determinada categoria de risco, normalmente a resposta deles não é útil uma vez que, diante dessa pergunta, eles estão sendo pressionados a pensar em uma dimensão estatística não familiar. O argumento utilizado por Steinhoff e Baule (2006) é o de que essa forma de determinação de cenários, além de não ser popular na indústria bancária, é normalmente incompreensível para os especialistas. Nesse contexto, os autores propuseram uma metodologia de definição de cenários por meio de questionários com perguntas relacionadas à severidade e frequência de eventos. Para os autores, os cenários obtidos poderiam ser transformados diretamente em distribuições paramétricas ou utilizados como estimativas dos especialistas para formação de base de dados “virtual”. No exemplo didático apresentado pelos autores, como os cenários e os dados de perdas internas foram ajustados pela mesma distribuição de severidade, foi possível refletir os dois elementos nos parâmetros da distribuição.

Aue e Kalkbrenner (2007) apresentaram os aspectos quantitativos do modelo LDA do Deutsche Bank. A estrutura fundamental do modelo foi concebida para atender às exigências de Basileia II. O elemento análise de cenários foi utilizado para suplementar os dados de perdas internas com objetivo de modelar a distribuição de severidade (*input* direto).

Folpmers (2008) implementou a metodologia LDA utilizando opinião de especialistas. Foram utilizados os parâmetros da distribuição de Poisson para modelar a frequência e os parâmetros da distribuição triangular para modelar a severidade. Para o autor, essas duas distribuições foram escolhidas por utilizarem parâmetros de fácil interpretação: média anual do número de eventos, no caso da Poisson, e perda máxima, média e mínima, no caso da triangular, que permitiriam um processo efetivo de extração de conhecimento dos especialistas.

Pontes (2009) cita alguns métodos para acoplar, de alguma forma, a opinião de especialistas ao modelo: (i) lógica nebulosa ou *fuzzy logic*; (ii) inferência bayesiana; (iii) sistemas dinâmicos; e (iv) estimação de parâmetros por especialistas. Após analisar essas técnicas, que viabilizam a utilização de dados históricos e de julgamento de especialistas, o autor aplicou a metodologia LDA a uma empresa não financeira, utilizando um método em que os especialistas inferem parâmetros das distribuições de frequência e severidade.

Já Guegan e Hassani (2011) propuseram uma metodologia de definição de cenários por especialistas para criar uma base de dados sintética. Os especialistas definiram parâmetros da distribuição *generalized extreme value* (GEV) para cada célula da matriz de Basileia e para diversos níveis de granularidade. Os autores compararam o valor de capital da instituição financeira pela metodologia proposta e pela metodologia LDA (dados internos de perdas). Com isso, mostraram que o valor de capital é maior na metodologia de definição de cenários do que na metodologia LDA.

Ainda sobre a aplicação do método de definição de cenários, Rippel e Teply (2011) apresentaram uma metodologia para combinação das perdas internas com a análise de cenários que utilizou o pior caso de perda definido para um cenário em particular e a perda média dada por uma distribuição de probabilidade de perda definida para um cenário. Em ambas as abordagens, os valores dos cenários foram adicionados aos registros de perdas históricas para determinação dos parâmetros das distribuições de frequência e severidade.

Momen, Kimiagari e Noorbakhsh (2012) aplicaram o modelo LDA em um banco comercial. Nesse caso, o elemento análise de cenários foi utilizado como *input*

direto, ou seja, os valores dos cenários foram utilizados em conjunto com os dados internos para modelagem da frequência e severidade. Para os autores, esse tipo de metodologia para definição de cenários é mais bem compreendido pelos gestores e adiciona o benefício da opinião dos especialistas à mensuração de capital.

Não obstante, Ergashev (2012) quantificou cenários com a estimativa de frequência que representava o pior caso em um intervalo de tempo e com a estimativa da severidade que representava o menor valor do intervalo de severidade definido pelos especialistas. O autor comparou a distribuição de severidade ajustada aos dados de perdas internas aos cenários e ajustou os quantis correspondentes da distribuição quando os cenários não eram compatíveis com a distribuição.

Shevchenko e Peters (2013) indicaram que cenários podem ser utilizados tanto na gestão do risco operacional quanto na metodologia LDA. Segundo eles, a elicitación de especialistas é um desafio, tendo em vista que muitos gestores e empregados podem não ter conhecimento sobre estatística e teoria da probabilidade, o que pode levar a um resultado enganador e mal entendido. O estudo não apresentou metodologia para definição de cenários.

Hassani e Renaudin (2013) propuseram uma metodologia para combinar os elementos dados internos e externos e cenários obtidos em *workshops*, utilizando a abordagem bayesiana. No entanto, o estudo não apresentou metodologia para definição de cenários, tampouco houve aplicação a um caso real.

Karam (2014) aplicou a metodologia LDA combinando dados internos de perdas com os cenários por meio de redes bayesianas. O estudo também não apresentou metodologia para definição de cenários. O autor chama a atenção para o fato de que requerimento de capital é altamente influenciado por essas estimativas. Esse estudo é semelhante ao de Lambrigger, Shevc Henko e Wuthrich (2007).

Apesar de não terem apresentado proposta de metodologia para definição de cenários, Ames, Schuermann e Scott (2015) defenderam que os cenários devem ter maior importância para os modelos internos de risco operacional, tendo em vista que são um mecanismo formal para incorporar a opinião dos especialistas aos modelos. Os autores indicaram que a utilização desse elemento visa a aumentar, e não a reduzir, o capital, que é altamente sensível a ele. Por fim, os autores indicaram que a subjetividade dos cenários pode ser utilizada para obtenção de recompensa em troca de um capital regulatório menor.

Dutta e Babbal (2014) propuseram a metodologia *change of measure approach* (COM), que combina análise

de cenários com os dados de perdas internas e permite avaliar o impacto de cada cenário no valor de capital. Pelo modelo proposto, os cenários são definidos por meio de *workshops* pelos especialistas, que definem estimativas para a severidade e para a frequência dos cenários em um período equivalente ao da base de perdas internas. Os parâmetros das distribuições de frequência e de severidade dos dados de perdas internas são então ajustados para refletir a probabilidade dos cenários. Os autores aplicaram a metodologia utilizando 16 cenários em uma instituição financeira cujo nome não foi revelado.

Observa-se que esses estudos apresentam algumas características que não favorecem a aplicação dessas metodologias em um caso real porque:

- são totalmente teóricos (Alderweireld et al., 2006; Ergashev, 2012; Ergashev, Blei & Abdymomunov, 2015; Frachot et al., 2003; Hassani & Renaudin, 2013; Karam, 2014; Lambrigger et al., 2007; Mc Connell & Davies, 2006; Shevchenko & Peters, 2013; Steinhoff & Baule, 2006). Os estudos não evidenciam dificuldades reais que podem ser enfrentadas pelas instituições financeiras. O sigilo com que as informações sobre o risco operacional são tratadas pode explicar porque são

raras as aplicações de casos reais em estudos teóricos.

- as metodologias propostas requerem conhecimento estatístico que podem não ser comum a todos os especialistas que definem os cenários (Frachot et al., 2003; Guegan & Hassani, 2011; Hassani & Renaudin, 2013; Karam, 2014; Lambrigger et al., 2007; Pontes, 2009; Schevchenko & Peters, 2013), por exemplo: ajustes em parâmetros das distribuições de frequência e severidade.
- os estudos foram aplicados de forma pontual; como exemplo: Dutta e Babbel (2014), Folpmers (2008) e Rippel e Teply (2011).

Este estudo contribui para o tema ao propor uma metodologia de fácil entendimento pelos especialistas das unidades de negócios para obtenção de cenários. Para a proposição da metodologia, algumas suposições foram extraídas dos estudos selecionados, como: (i) utilização de distribuições com parâmetros de fácil entendimento, como a distribuição de Poisson e a distribuição triangular (Folpmers, 2008); (ii) utilização das informações como *input* direto na metodologia LDA (Aue & Kalkbrener, 2007; Momen et al., 2012).

3. METODOLOGIA

A partir da revisão da literatura e das observações provenientes das experiências do BNDES na gestão do

risco operacional, o modelo demonstrado neste estudo foi estruturado conforme indicado na Figura 1.

O modelo tem como objetivo definir os cenários por meio da mensuração dos eventos de risco operacional identificados pelas unidades. A mensuração dos riscos é realizada pelos especialistas e confrontada até que haja consenso em relação à mensuração.

Após a definição dos cenários, conforme as etapas indicadas na Tabela 1, formou-se uma base de dados sintética que, em conjunto com os dados internos de perdas (*input* direto), foram utilizados para mensuração do capital no âmbito da metodologia LDA.

Tabela 1
Etapas da metodologia

	Etapas da metodologia	Objetivo
1 ^a	Levantamento <i>zero round</i> dos eventos ocorridos e potenciais das áreas (primeira rodada do questionário)	Levantar os riscos operacionais de todas as áreas
2 ^a	Pesquisa de opinião para definição de metodologia de mensuração	Identificar a metodologia que os potenciais especialistas julgam ser mais adequada para mensuração dos eventos
3 ^a	Mensuração dos riscos pelos especialistas (segunda rodada do questionário)	Mensurar os eventos relatados pelas áreas na primeira rodada do questionário
4 ^a	Confronto das mensurações da segunda rodada (terceira rodada do questionário)	Confrontar as mensurações da segunda rodada do questionário

Fonte: Elaborada pelos autores.

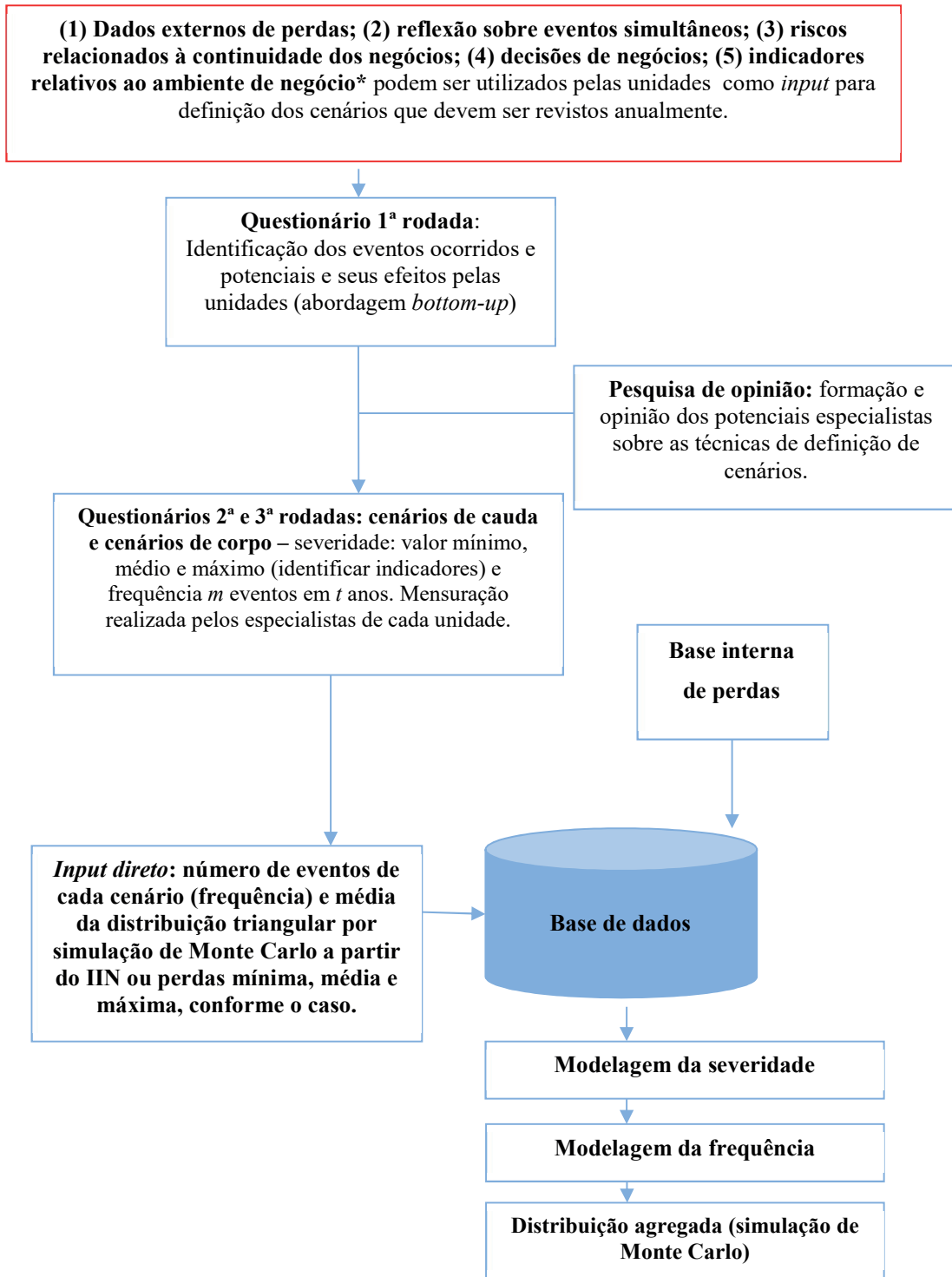


Figura 1 Estrutura do modelo implementado

Nota: Apesar de esses elementos não terem sido considerados neste estudo por diversos motivos, devem ser utilizados nas próximas revisões dos cenários, que devem ser anuais, de forma a garantir que a metodologia proposta esteja aderente a todos os requisitos do regulador [Artigos 37, 38, 39, 40 e 41 da Circular n. 3.647/2013 (BC, 2013b)].

IIN = indicador interno de negócios.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na primeira etapa da metodologia, as unidades devem relatar eventos de risco operacional que, em sua visão, já ocorreram ou podem ocorrer em seus processos. O relato deve ocorrer de forma não estruturada ou *zero round* com questões abertas, para garantir que os eventos sejam indicados livremente (extração de cenários utilizando uma abordagem *bottom-up*). Para facilitar essa reflexão, as unidades podem ter acesso a diversas informações, como dados de perdas externas, indicadores relativos ao ambiente de negócios etc.

Na segunda etapa da metodologia, realizou-se pesquisa de opinião sobre como os potenciais especialistas sentiam-se confortáveis em relação às metodologias mais utilizadas para mensuração dos cenários, tendo em vista seus conhecimentos sobre estatística e teoria da probabilidade. A pesquisa foi motivada por alguns estudos, como o de Schevchenko et al. (2013), que indicaram que a elicitación de especialistas é um desafio, dado que muitos gestores e empregados podem não ter conhecimento sobre estatística e teoria da probabilidade, o que poderia levar a pesquisa a um resultado enganador e mal entendido.

Nas terceira e quarta etapas da metodologia, os eventos relatados na primeira foram mensurados pelos especialistas. As mensurações foram confrontadas para que os especialistas indicassem se alterariam mensurações após terem conhecimento sobre as mensurações realizadas pelos demais especialistas.

Após a mensuração, os cenários formaram uma base de perdas sintética que foi utilizada em conjunto com os dados de perdas internas para cálculo do capital, de acordo com passos indicados por Cruz et al. (2015).

3.1 Aplicação da Metodologia

O BNDES é uma empresa pública federal controlada integralmente pela União, criada em 1952. Seu principal objetivo é o financiamento de longo prazo, suprimindo a deficiência de fontes privadas desse tipo de financiamento, e investimentos em diversos segmentos da economia brasileira.

A aplicação deste estudo no BNDES ocorreu pelo interesse da instituição no desenvolvimento de modelo interno para risco operacional, a qual nos deu permissão para utilizar suas informações, desde que com o devido resguardo daquelas protegidas por sigilo empresarial.

3.1.1 Primeira etapa – Aplicação da metodologia para identificação dos cenários – Primeira rodada do questionário.

Após serem realizadas apresentações para cada uma das 24 áreas do BNDES sobre o preenchimento do questionário e sobre os conceitos de risco operacional,

os questionários foram aplicados. Cada departamento preencheu o questionário, indicando os eventos ocorridos e potenciais, assim como seus efeitos e as medidas de mitigação.

As áreas do BNDES relataram 321 eventos de perdas ocorridos e potenciais. Desses, 98 foram excluídos do modelo pelos seguintes motivos: (i) eventos que já são capturados para registro na base de dados de perdas e refletidos nas perdas internas; (ii) eventos que podem interromper as atividades do BNDES por terem metodologia específica para mensuração de impacto financeiro, a qual inclui outros impactos além de possíveis perdas, mas não da frequência. Dessa forma, 223 foram encaminhados para mensuração na segunda rodada do questionário.

Tendo em vista o sigilo com que essas informações são tratadas pelo BNDES, os eventos indicados não podem ser detalhados neste estudo.

3.1.2 Pesquisa de opinião para definição de metodologia de mensuração.

A pesquisa, realizada em setembro de 2015, foi encaminhada para 524 funcionários com função de confiança de chefe de departamento e de gerente, que são as funções dos potenciais especialistas que mensurariam os eventos. Desses, 170 funcionários responderam à pesquisa.

A análise dos resultados indicou que a maioria dos respondentes (73%) declarou não ter conhecimentos avançados em estatística e probabilidade. Em relação às metodologias apresentadas, 68% consideraram-se aptos a estimar quantas vezes um evento ocorreu ou poderia ocorrer em determinado período de tempo, 53% não se consideraram aptos a estimar os valores das perdas mínima, média e máxima e 60% não se consideraram aptos a estimar parâmetros de distribuições de probabilidade. Por fim, entre as duas metodologias apresentadas, 79% consideraram-se mais aptos a estimar o número de vezes que um evento poderia ocorrer com os valores de perdas mínima, média e máxima do que poderiam estimar os parâmetros de distribuições de probabilidade.

Diante dos resultados da pesquisa e com vistas a mitigar a possibilidade de resultados enganadores, a metodologia selecionada para aplicação neste estudo foi a mensuração do número de vezes que um evento pode ocorrer em determinado período de tempo e os valores das perdas mínima, média e máxima.

3.1.2 Aplicação da metodologia para identificação dos cenários – Segunda rodada.

Os questionários dessa rodada foram encaminhados para cada especialista indicado pelas áreas por mensagem

eletrônica, em novembro de 2015. Dessa rodada, participaram 239 especialistas.

Aos especialistas, foram dadas as seguintes opções de intervalo de tempo para estimar a frequência dos eventos: cinco, dez ou quinze anos, para que fosse possível adaptar a frequência dos eventos à base de perdas internas de cinco anos utilizada.

Com vistas a facilitar a mensuração da severidade dos eventos, as áreas poderiam utilizar algumas referências internas. Por exemplo, se o risco associado ao evento puder fazer com que os recursos liberados em uma operação de crédito não sejam recuperados, as áreas podiam utilizar suas operações de crédito como referência. A operação de crédito de maior valor seria equivalente à perda máxima que o evento poderia causar, a operação de crédito de valor médio seria a perda média e a operação de crédito de menor valor seria a perda mínima. Essas referências internas para definir a severidade dos cenários foram denominadas indicadores internos de negócios (IINs).

Dos 223 eventos mensurados nessa rodada:

- 77 foram excluídos pelos principais motivos: (i) podiam causar um processo judicial que exigiria metodologia específica para considerar jurisprudência, comarcas e outras informações; (ii) não poderiam causar perda após avaliação mais detalhada pelos especialistas; e (iii) deveriam ter sido analisados por uma área diferente da que indicou o risco (a mensuração da severidade não poderia ser realizada pela mesma área que indicou o risco, por exemplo, quando a perda relacionada à indisponibilidade de sistemas só podem ser mensuradas pelas áreas que utilizam os sistemas e não por uma área como a de Tecnologia da Informação.
- 70 foram mensurados em desconformidade com a metodologia proposta, apesar das instruções dadas, e com isso foram excluídos. Esses casos contemplaram: (i) mensurações com indícios de que foram realizadas em conjunto, apesar das instruções dadas; (ii) riscos mensurados por apenas um especialista pelo fato de os outros estarem em período de férias ou viagem a serviço; e (iii) mensurações consideradas complementares nos casos em que o escopo de mensuração era distinto, como, por exemplo, uma falha na documentação de operação de crédito, em que os especialistas são lotados em gerências distintas e, conseqüentemente, com carteiras de operações distintas.

Após as exclusões, 76 eventos permaneceram para

confronto das mensurações na terceira rodada.

3.1.4 Aplicação da metodologia para identificação dos cenários – 3ª rodada.

Após a mensuração dos cenários pelos especialistas, todas as mensurações realizadas para o mesmo cenário foram encaminhadas para eles, sem identificação dos demais, para que indicassem se concordavam ou se mudariam as mensurações da segunda rodada.

Dos 76 eventos que tiveram as mensurações confrontadas na terceira rodada:

- 23 foram excluídos na terceira rodada pelos mesmos motivos dos eventos excluídos na segunda rodada; e
- sete foram mensurados em desconformidade com a metodologia proposta, apesar das instruções dadas, e com isso foram excluídos.

Após as exclusões, 46 eventos permaneceram para utilização como cenários no âmbito da metodologia LDA.

Nos casos em que os especialistas não chegaram ao consenso (mensurações divergentes), consideraram-se as mensurações cujos fundamentos foram apresentados. Alguns especialistas apresentaram argumentos contestando outras mensurações.

Por fim, dos 46 eventos que permaneceram para confronto das mensurações na terceira rodada, 10 foram mensurados por meio de IINs e 36 por meio da indicação das perdas máxima, média e mínima.

3.2 Limitações do Método

Por se tratar de um estudo de caso, as generalizações desse estudo devem ser feitas com cautela, tendo em vista que a pesquisa foi feita em uma instituição que, assim como outras, tem características e estrutura próprias.

Na aplicação dos questionários, é possível que, intencionalmente ou não, as áreas não tenham relatado eventos ou até mesmo subestimado as perdas (Ames et al., 2015). É recomendável que, em outras aplicações dessa metodologia, sejam realizados confrontos da base de perdas com outros questionários ou, até mesmo, com o relatório de controles internos e auditoria, para reduzir as chances de alguns eventos não serem considerados.

Por fim, não há como garantir que os especialistas realmente fizeram as mensurações individualmente com a independência desejada.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia proposta, bem como a análise desses resultados.

A partir desta seção, as mensurações dos eventos utilizadas para formação da base de perdas sintética serão consideradas cenários para apuração do capital de risco operacional. Esses cenários consideram riscos existentes na instituição, que não estão refletidos na base de perdas internas.

4.1 Constituição da Base de Perdas Sintética

Após a definição do número de mensurações a serem consideradas, criou-se uma base de perdas sintéticas com os cenários mensurados em conformidade com a metodologia proposta, de acordo com os seguintes critérios: (i) ser constituída para um período de cinco anos

(mesmo período da base de perdas internas utilizada neste estudo); (ii) considerar a frequência de cada mensuração a partir do número de registros criados, por exemplo: se o cenário pode ocorrer uma vez para um período de cinco anos, criou-se apenas um registro relacionado ao cenário; (iii) considerar também apenas um registro para um evento ocorrido em período superior a cinco anos (esse procedimento é considerado conservador, tendo em vista que o cenário poderia materializar-se apenas após cinco anos); e (iv) considerar as médias das distribuições triangulares para definição dos valores das perdas. A utilização de valores aleatórios dessas distribuições levaria à instabilidade das bases de dados a cada simulação realizada.

A Tabela 2 indica algumas estatísticas descritivas da base de perdas sintéticas.

Tabela 2

Estatísticas descritivas das bases de perdas sintéticas

Base de perdas sintéticas dos cenários mensurados em conformidade com a metodologia	
Número total de registros	277
Valor total dos registros (em R\$)	4.378.733.593,00
Valor máximo (em R\$)	538.335.837,00
Valor médio (em R\$)	15.807.703,00
Valor mínimo (em R\$)	1.350,00
Frequência anual máxima	12
Frequência anual média	4
Frequência anual mínima	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2 Aplicação da Modelo LDA – Perdas Internas

Nesta seção, tendo como referência os quatro primeiros passos definidos por Frachot et al. (2003) para aplicação do modelo LDA, serão apresentados os valores de capital mínimo exigido (OpVaR), por meio da metodologia LDA, considerando-se apenas as perdas internas ocorridas nos últimos cinco anos (Modelo 1) e as perdas internas mais os cenários mensurados de acordo com a metodologia proposta (Modelo 2). O OpVision foi o sistema utilizado para cálculo do capital pela metodologia LDA.

4.2.1 Estimação da severidade.

A cauda e o corpo da distribuição de severidade foram modelados separadamente. Para modelá-los, o OpVision calculou os parâmetros das seguintes distribuições contínuas: *burr*, *empirical*, *generalized extreme value*

(*GEV*), *gamma*, *inverse Gaussian*, *G and H*, *linear*, *lognormal*, *heavy tailed lognormal*, *gamma mixture*, *lognormal-gamma mixture*, *lognormal mixture*, *generalized Pareto* e *Weibull*. Após os cálculos dos parâmetros, o sistema ordena as distribuições em ordem decrescente do p-valor mínimo entre os testes KS e AD, indicando: (i) sinal verde quando o menor p-valor dos testes KS e AD é maior que 0,01; (ii) sinal amarelo quando o menor p-valor dos testes KS e AD está entre 0,001 e 0,01; (iii) sinal vermelho quando o menor p-valor dos testes KS e AD é menor que 0,001.

Como nenhuma das distribuições apresentou p-valor superior a 0,01, a distribuição empírica foi selecionada para modelar o corpo das distribuições dos dois modelos.

Já para modelar a cauda das distribuições dos dois modelos, novos parâmetros foram calculados. No caso do Modelo 1, a *lognormal mixture* foi a única distribuição

que apresentou p-valores maiores que 0,01 em todos os testes; por esse motivo, foi selecionada. No que se refere ao Modelo 2, apesar de a distribuição *lognormal mixture* ter apresentado p-valor mínimo maior que 0,01 para a cauda da distribuição, a distribuição empírica foi utilizada para modelar toda a distribuição, conforme será indicado também na seção 4.2.3.

4.2.2 Estimação da frequência.

Para estimação da distribuição que melhor se ajusta à frequência das distribuições dos dois modelos, o OpVision calculou os parâmetros para as distribuições discretas: *empirical*, *negative binomial*, *Poisson* e *Cox process*. Todas as distribuições teóricas apresentaram p-valores inferiores a 0,001. Por esse motivo, a distribuição empírica foi utilizada nos dois modelos.

4.2.3 Cômputo do capital e intervalo de confiança.

O valor do OpVar do Modelo 1, obtido por meio da simulação de Monte Carlo com a determinação de um erro relativo de no máximo 1%, foi de R\$ 219.688.403,00. Esse valor representa o percentil 99,9% da distribuição agregada das perdas. O erro relativo de 1% indica que, no cômputo de capital, o percentil da distribuição de

perdas foi corretamente calculado com margem de erro de, no máximo, 1%.

O valor do OpVar do Modelo 2, obtido por meio da simulação de Monte Carlo com a determinação de um erro relativo de no máximo 1%, foi de R\$ 3.084.486.612,00, o qual representa o percentil 99,9% da distribuição agregada das perdas.

A cauda e o corpo da distribuição de severidade do Modelo 2 não foram modelados separadamente, apesar de a distribuição *lognormal mixture* ter apresentado p-valor mínimo maior que 0,01 para a cauda da distribuição, por não ter apresentado valor realístico.

4.3 Backtesting

O objetivo do *backtesting* foi confrontar os resultados dos modelos com os dados de perdas internas com vistas a verificar o desempenho da apuração do OpVar.

Tendo em vista que foi considerada uma base de dados de cinco anos e o período mínimo da base de dados para cálculo de capital definido pelo BC é de três anos (BC, 2013a), foi possível realizar o *backtesting* considerando períodos de três e quatro anos.

A Tabela 3 sumariza os resultados encontrados.

Tabela 3
Backtesting

Backtesting	Severidade		Frequência	
	Distribuição do corpo	Distribuição da cauda	Distribuição	OpVar (R\$)
Base de dados 3 anos (2011-2013)	Empírica	-	Empírica	4.014.730.096,00
Base de dados 4 anos (2011-2014)	Empírica	-	Empírica	3.461.236.776,00

Fonte: OpVision.

Os cenários foram determinados para um período de cinco anos, sendo o ano 1 o mais recente, e que tinha o maior número de registros em valor e quantidade, e o ano 5 o mais antigo. Para realização dos *backtesting* de três anos (2011 a 2013), foram eliminados os anos 4 e 5 dos cenários. Para realização dos *backtesting* de quatro anos (2011 a 2014), eliminou-se o ano 5 dos cenários. Dessa forma, eliminaram-se os anos com os menores números de registros de forma a manter o maior número de cenários. Por esse motivo (manutenção dos cenários de maior valor e redução da janela de tempo), o OpVar do *backtesting* de três anos é superior ao de quatro anos.

Em ambos os casos, os valores do OpVar foram muito superiores às perdas líquidas ocorridas em 2014 e 2015, que não podem ser divulgadas pelo sigilo que envolve essas informações. Dessa forma, os valores do OpVar

calculados pela metodologia proposta seriam suficientes para fazer frente às perdas ocorridas.

4.4 Comparação do OpVar com o Capital Mínimo Requerido pela Abordagem do Indicador Básico (AIB)

A AIB foi definida pelo BC por meio da Circular BC 3.640/2013 (BC, 2013a) como uma das abordagens padronizadas para cálculo do capital mínimo referente ao risco operacional das instituições financeiras brasileiras. Essa é a abordagem atualmente utilizada pelo BNDES para cálculo do capital.

De forma resumida, pela abordagem AIB, o valor do capital é igual a 15% do resultado bruto da intermediação financeira, desconsiderando provisões. Quanto maior o resultado bruto da intermediação financeira, maior é o

valor do capital. Esse é o principal motivo de crítica às abordagens padronizadas.

A Figura 2 compara os valores do capital mínimo requerido para o risco operacional do BNDES pela abordagem AIB (data base dezembro/2015) e pela metodologia LDA, utilizando apenas os dados de perdas internas (Modelo 1) e utilizando os dados de perdas internas e os cenários mensurados conforme metodologia proposta neste estudo (Modelo 2).

O valor de capital pelo Modelo 1 é bem inferior ao valor de capital pela abordagem AIB, porém suficiente para cobrir as perdas operacionais líquidas históricas do BNDES, que não podem ser divulgadas pelo sigilo com

que a instituição classifica essas informações.

Já o valor de capital pelo Modelo 2 reflete eventos de risco operacional não ocorridos, mas que podem ocorrer na visão das áreas do BNDES e de seus especialistas. O capital deve ser suficiente para cobrir esses riscos, ainda que não tenham se materializado.

O fato de a Figura 2 indicar que o valor do capital pela metodologia proposta é próximo ao valor de capital pela metodologia AIB é apenas uma coincidência, já que o valor de capital pela abordagem AIB é simplesmente uma função do resultado bruto da intermediação financeira do BNDES nos últimos anos.

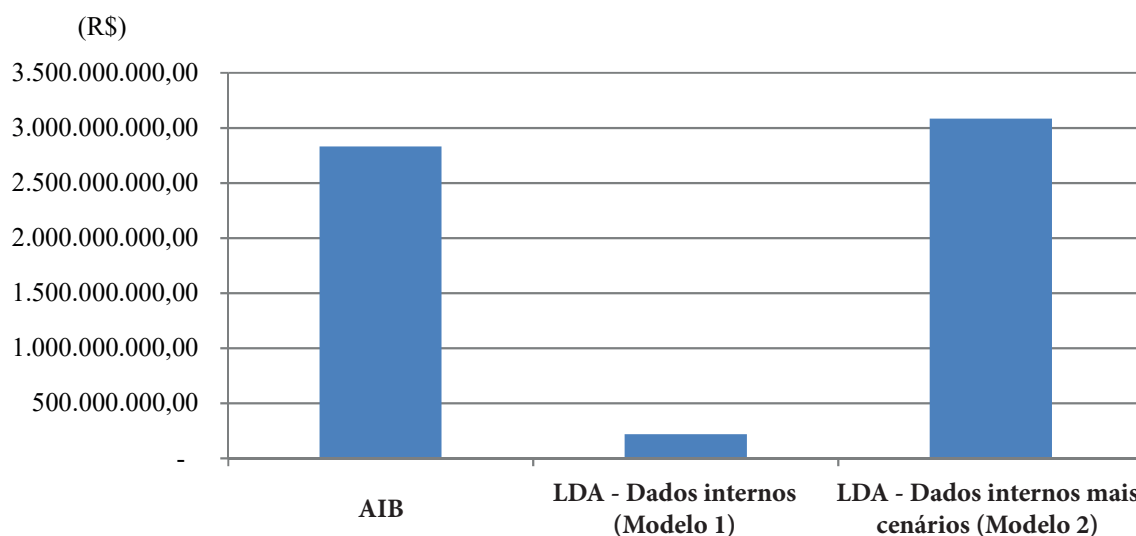


Figura 2 Comparação do capital mínimo exigido do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) LDA = loss distribution approach.

Fonte: Elaborada pelos autores.

5. CONCLUSÃO

Os modelos internos para cálculo do capital regulamentar referente ao risco operacional não se desenvolveram como os modelos de risco de crédito e de mercado. Isso pode ser atribuído às características do risco operacional, que não dependem de um contrato ou de um investimento para se materializar. Por esse motivo, além da severidade, a frequência (ocorrer ou não) é uma variável a ser considerada nesses modelos.

A ausência de bases de dados internas abrangentes e que contemplem todos os riscos aos quais uma instituição financeira está exposta criou a necessidade de se utilizar outros elementos, como os dados de perdas externas e os cenários, para se suprir essa deficiência. No entanto, esses

elementos são criticados por sua subjetividade.

Adicionalmente, os reguladores demandam que esses modelos estejam integrados à gestão do risco. A obtenção de uma base de dados abrangente e o conhecimento dos riscos aos quais uma instituição está exposta requerem uma gestão do risco efetiva.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi demonstrar como o elemento análise de cenários pode ser utilizado de forma a integrar a gestão do risco operacional com a mensuração de capital.

A metodologia proposta possibilitou os seguintes resultados: (i) a utilização de uma metodologia compreensível pelos especialistas das diversas áreas, que

são os que conhecem os riscos de suas atividades, e que não exigiu conhecimentos de estatística e de teoria da probabilidade que impedisse a definição e a mensuração dos cenários; (ii) a mensuração do capital regulamentar considerando cenários factíveis aos quais o BNDES está exposto (ajustados à sua realidade), atendendo os reguladores no que se refere à utilização do elemento análise de cenários; (iii) a identificação de cenários não só de cauda, mas do corpo da distribuição agregada de perdas, que não estão refletidos na base de dados de perdas; e (vi) a obtenção de informações que podem direcionar a gestão do risco no que se refere à identificação de riscos que devem ter o tratamento priorizado.

Como vantagens em relação aos estudos anteriores, esse estudo: (i) utilizou uma metodologia para análise de cenários de forma abrangente na instituição; (ii) apresentou, de forma prática e direta, como definir e mensurar os cenários, bem como utilizá-los para cálculo do capital; (iii) utilizou dados reais para demonstração da metodologia, o que é raro em pesquisas relacionadas ao risco operacional, devido ao sigilo empresarial envolvendo tais informações. Muitos estudos abordam o problema sem, no entanto, apresentar aplicação prática de uma metodologia.

Por fim, a definição e a avaliação de cenários proveem um importante fluxo de informações de gestão de riscos (Scenario based AMA Working Group, 2003) entre as unidades, o que desenvolve a cultura de riscos da instituição. Dessa forma, a metodologia proposta contribuiu para o desenvolvimento da cultura de riscos.

No que se refere à validade externa, o método proposto pode ser aplicado em qualquer instituição, dado que requer dos especialistas conhecimentos básicos sobre estatística e teoria da probabilidade. No entanto, é possível que o fato de o BNDES ser uma empresa pública com baixa rotatividade de funcionários propicie que os especialistas executem as atividades por tempo suficiente para que tenham amplo conhecimento dos riscos envolvidos na execução das mesmas.

Apesar de todos os benefícios de implementação do método proposto, ele requer consumo de tempo

considerável dos especialistas e, principalmente, da unidade de gestão de riscos operacionais, que consolida todas as informações e apoia todos os envolvidos. Isso representa custo relevante em relação às abordagens padronizadas.

Adicionalmente, a utilização de modelos internos provavelmente não ensejará em economia de capital, já que esses modelos contemplam estimativas robustas de perdas esperadas e não esperadas, que não são consideradas nas abordagens padronizadas.

É importante ressaltar que aplicações sucessivas dessa metodologia resultarão em maior maturidade dos especialistas em relação ao risco operacional e, conseqüentemente, aumentará a qualidade e a precisão das mensurações realizadas.

Alguns aprimoramentos podem ser implantados em aplicações futuras, como a mensuração única de riscos que podem ocorrer em diversas unidades. Como sugestão para estudos futuros, a metodologia proposta poderia ser utilizada para a realização de testes de estresse, caso um percentil da distribuição seja definido para estabelecer a severidade do cenário, em vez da média da distribuição triangular, por exemplo.

Por fim, o Comitê de Basileia comunicou a substituição de todas as abordagens padronizadas atuais e dos modelos internos para mensuração do risco operacional, a partir de 2022, pelo modelo padronizado único que utiliza as perdas internas para mensuração de capital: *standardised measurement approach* (SMA) (Basel Committee on Banking Supervision – BCBS, 2017). Apesar de a abordagem SMA reduzir algumas fragilidades das abordagens padronizadas atuais e considerar a base de perdas internas, essa metodologia determina o valor de capital com referência ao passado (perdas ocorridas). Ela não reflete os riscos potenciais (cenários) e o perfil de risco das instituições. A manutenção dos modelos internos de forma concomitante à abordagem SMA seria uma forma de se fazer a comparação entre os capitais das instituições e continuar incentivando a busca por um modelo interno robusto para mensuração do risco operacional.

REFERÊNCIAS

Alderweireld, T., Garcia, J., & Léonard, L. (2006). A practical operational risk scenario analysis quantification. *Risk Magazine*, 19(2), 93-95.

Ames, M., Schuermann, T., & Scott, H. S. (2014). Bank capital for operational risk: a tale of fragility and instability. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 8(3), 227-243.

Arbeláez, L. C. F., & Ceballos, E. V. (2010). Alternativas fundamentales para cuantificar el riesgo operacional. *Ecoss de Economia*, 14(30), 1-43.

Aue, F., & Kalkbrener, M. (2007). LDA at work: Deutsche bank's approach to quantifying operational risk. *Journal of Operational Risk*, 1(4), 49-93.

- Banco Central do Brasil. (2006). Resolução n. 3.380 de 29 de junho de 2006. (2006, 29 de junho). Dispõe sobre a implementação de estrutura de gerenciamento do risco operacional. Recuperado de <https://www3.bcb.gov.br/normativo/detalharNormativo.do?N=106196825&method=detalharNormativo>
- Banco Central do Brasil. (2013a). Circular n. 3.640 de 4 de março de 2013. (2013, 4 de março). Estabelece os procedimentos para o cálculo da parcela dos ativos ponderados pelo risco (RWA), relativa ao cálculo do capital requerido para o risco operacional mediante abordagem padronizada (RWA_{OPAD}), de que trata a Resolução nº 4.193, de 1º de março de 2013. Recuperado de http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/circ/2013/pdf/circ_3640_v1_O.pdf
- Banco Central Do Brasil. (2013b). Circular n. 3.647 de 4 de março de 2013. (2013, 1 de outubro). Estabelece os requisitos mínimos para a utilização de abordagem avançada, baseada em modelo interno, no cálculo da parcela relativa ao risco operacional (RWA_{OPAMA}), dos ativos ponderados pelo risco (RWA), de que trata a Resolução nº 4.193, de 1º de março de 2013. Recuperado de <http://www.bcb.gov.br/htms/Normativ/CIRCULAR3647.pdf>
- Banco Central do Brasil. (2017). Resolução n. 4.557 de 23 de fevereiro de 2017. (2017, 1 de março). Dispõe sobre a estrutura de gerenciamento de riscos e a estrutura de gerenciamento de capital. Recuperado de http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/50344/Res_4557_v1_O.pdf
- Basel Committe on Banking Supervision. (1988). *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards*. Recuperado de <http://www.bis.org/publ/bcbs04a.pdf>.
- Basel Committe on Banking Supervision. (1994). *64th Annual Report*. Recuperado de https://www.bis.org/publ/arpdf/archive/ar1994_en.pdf
- Basel Committe on Banking Supervision. (2004). *International convergence of capital measurement and capital standards. A revised framework*. Recuperado de <http://www.bis.org/publ/bcbs107.pdf>
- Basel Committe on Banking Supervision. (2017). *Finalising Basel III*. Recuperado de <http://www.bis.org/bcbs/publ/d424.pdf>
- Cruz, M. G., Peters, G. W., & Shevchenko, P. V. (2015). *Fundamental aspects of operational risk and insurance analytics - A handbook of operational risk* (8th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Dutta, K. K., & Babel, D. F. (2014). Scenario analysis in the measurement of operational risk capital: a change of measure approach. *Journal of Risk and Insurance*, 81(2), 303-334.
- Ergashev, B. A. A. (2012). A theoretical framework for incorporating scenarios into operational risk modeling. *Journal of Finance Services Research*, 41(3), 145-161.
- Ergashev, B. A., Blei, S., Abdymomunov, A. (2015). Integrating stress scenarios into risk quantification models. *Journal of Finance Services Research*, 47(3), 57-79.
- Folpmers, M. A. (2008). Practical guide to measuring operational risk using subjective data through copulas and scenarios analysis. *Journal of Operational Risk*, 3(3), 63-74.
- Fontnouvelle, P., Dejesus-Rueff, V., Jordan, J. S., & Rosengren, E. S. (2006). Capital and risk: new evidence on implications of large operational losses. *Journal of Money, Credit and Banking*, 38(7), 1819-1846.
- Frachot, A., Moudoulaud, O., & Roncalli, T. (2003). *Loss distribution approach in practice. Social science research network*. Retrieved from http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1032592
- Guegan, D., Hassani, B. (2011). A mathematical resurgence of risk management: na extreme modeling of expert opinions. Documents de travail du Centre d'Economie de la Sorbonne. Recuperado de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00639666>
- Hassani, B., & Renaudin, A. (2013). *The cascade bayesian approach for a controlled integration of internal data, external data and scenarios*. Retrieved from <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00795046/document>
- Karam, E. (2014). *Measuring and managing operational risk in the insurance and banking sectors. Business administration*. Lyon, France: Université Claude Bernard.
- Lambrigger, D., Shevchenko, P. V., & Wuthrich, M. V. (2007). The quantification of operational risk using internal data, relevant external data and expert opinion. *Journal of Operational Risk*, 2(3), 3-27.
- McConnell, P., & Davies, M. (2006). *Safety first - Scenario analysis under Basel II*. Retrieved from <http://www.continuitycentral.com/feature0338.htm>
- Momen, O., Kimiagari, A., & Noorbakhsh, E. (2012). Modelling the operational risk in Iranian commercial banks: case study of a private bank. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(15), 1819-1846.
- Panjer, H. H. (2006). *Operational risk modeling analytics. Wiley Series in probability and statistics*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Pontes, A. R. (2009). *Risco operacional: uma aplicação do modelo de distribuição de perdas agregadas para risco de produção em uma empresa não financeira* (Dissertação de Mestrado, Escola de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro). Recuperado de <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/7860>
- Rippel, M., & Tepley, P. (2011). Operational risk - Scenario analysis. *Prague Economic Papers*, 20(1), 23-39.
- Rodriguez, E. J. J., Domínguez, J. M. F., & Marín, J. L. M. (2009). Comparative analysis of operational risk approaches within Basel regulatory frame-work: case study of Spanish saving bank. *Journal of Financial Management and Analysis*, 22(1), 1-15.
- Scenario based AMA Working Group. *Scenario-based AMA, May 2003, Final version 1.0*. Retrieved from <https://www.newyorkfed.org/medialibrary/media/newsevents/events/banking/2003/con0529d.pdf>
- Shevchenko, P. V., & Peters, G. W. (2013). Loss distribution approach for operational risk capital modelling under Basel II: combining different data sources for risk estimation. *Journal of Governance and Regulation*, 2(3), 33-57.
- Steinhoff, C., & Baule, R. (2006). How to validate operational risk distributions. *Op Risk & Compliance*, 1(8), 36-39.
- Wahlstrom, G. (2009). Risk management versus operational action: Basel II in a Swedish context. *Management Accounting Research*, 20(1), 53-68.