

## **Proposta para cenário de estresse do sistema financeiro no Brasil**

**NATÁLIA CORDEIRO ZANIBONI**

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO -  
FEA

nzaniboni@usp.br

**ALESSANDRA DE AVILA MONTINI**

CONRE - CONSELHO REGIONAL DE ESTATÍSTICA

amontini@usp.br

## **Introdução**

Um teste de estresse tem objetivo de mensurar o impacto de cenários macroeconômicos adversos nos ativos de instituições financeiras. Este trabalho foca na calibração do cenário de estresse. Os choques podem ser obtidos de forma histórica, hipotética ou probabilística. Não há propostas de cenários hipotéticos ou históricos (utilizando a crise de 2008) para o Brasil. Um modelo que relaciona as variáveis macroeconômicas obtém o cenário como um todo. A maior parte dos estudos utiliza um modelo VAR, porém as estimativas são inadequadas quando variáveis endógenas fazem parte do sistema.

## **Problema de Pesquisa e Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo propor um cenário de estresse para o sistema financeiro no Brasil : no primeiro passo da construção dos cenários, o estudo propõe a obtenção de um choque histórico baseado na crise de 2008 e um choque hipotético, ainda não propostos no Brasil. No segundo passo da construção dos cenários, o estudo propõe um modelo alternativo ao modelo VAR, o modelo de regressões aparentemente não relacionadas, que são mais adequados por produzirem estimativas mais consistentes ao utilizar as correlações dos erros no cálculo dos coeficientes.

## **Fundamentação Teórica**

Os estudos que desenvolvem cenários de estresse geralmente utilizam choques históricos ou hipotéticos e um modelo VAR para gerar o cenário como um todo (END, VAN DEN et al., 2006; JONES et al., 2004; LU; YANG, 2012; QUAGLIARIELLO, 2004; VIROLAINEN, 2004). No Brasil, a análise de sensibilidade (choque histórico, sem modelo) foi feita somente por Januzzi et al. (2012). Já em cenários multivariados, o modelo VAR foi o mais aplicado, e alguns estudos aplicaram choques históricos (SANTOS, 2008) ou probabilísticos (SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012).

## **Metodologia**

Este estudo propôs um choque histórico e um hipotético, ainda não propostos no Brasil. O choque histórico remete à crise financeira subprime de 2008, conforme sugerido por Fang-Ying (2011) e Lu e Yang (2012). O choque hipotético seguirá o proposto por Lu e Yang (2012). O modelo alternativo ao modelo VAR, de regressões aparentemente não relacionadas, foi proposto por Zellner (1962). A base de dados abrange o período de 2004 a 2015 para PIB, taxa de juros, Ibovespa e produção industrial.

## **Análise dos Resultados**

Os choques históricos geraram valores bem mais severos que os choques hipotéticos para todas as variáveis. Isso pode indicar uma possível subestimação dos riscos em cenários hipotéticos, conforme sugerido por Breuer e Csiszár (2013). Por outro lado, a história pode não se repetir e o cenário histórico pode possivelmente superestimar os riscos (VAZQUEZ et al., 2012). O modelo VAR estimado possui variáveis endógenas, e o modelo de regressões aparentemente não relacionadas estimado obteve uma soma dos quadrados dos erros menor somente para a variável exógena (Ibovespa).

## **Conclusão**

O artigo contribuiu para a literatura ao gerar um cenário para teste de estresse do sistema financeiro no Brasil. As variáveis macroeconômicas que participaram do cenário foram selecionadas com base na literatura, e foram taxa de juros, produção industrial, PIB e índice Ibovespa de ações. A base de dados abrangeu o período de janeiro/2004 a fevereiro/2015. Para este período, os choques históricos geraram valores bem mais severos que os choques hipotéticos. Além disso, o modelo de regressões aparentemente não relacionadas somente obteve melhor performance na estimativa da variável exógena.

## **Referências Bibliográficas**

- END, J. VAN DEN; HOEBERICHTS, M.; TABBAE, M. Modelling Scenario Analysis and Macro Stress-testing. . [S.l: s.n.]. , 2006
- JANUZZI, F. V.; PEROBELLI, F.; BRESSAN, A. A. Aplicação do CF@R e de Cenários de Stress no Gerenciamento de Riscos Corporativos. Estudos Econômicos, v. 42, n. 3, p. 545-579, 2012.
- JONES, M. T.; HILBERS, P.; SLACK, G. Stress Testing Financial Systems: What to Do When the Governor Calls. . [S.l: s.n.]. , 2004
- LU, W.; YANG, Z. Stress Testing of Commercial Banks' Exposure to Credit Risk: A Study Based on Write-off Nonperforming Loans. Asian Social Science, v. 8, n. 10, p. 16-22

## Proposta para cenário de estresse do sistema financeiro no Brasil

### 1. INTRODUÇÃO

Um teste de estresse tem objetivo de compreender a vulnerabilidade e mensurar o impacto de cenários macroeconômicos adversos nos ativos de instituições financeiras. A recente crise financeira do *subprime*, a sequência de falências bancárias em muitos países e a crise econômica brasileira justificaram um aumento considerável na literatura sobre testes de estresse nos últimos anos.

A compreensão da resiliência do setor bancário a cenários macroeconômicos adversos é de importância crucial para a avaliação adequada do risco sistêmico e tem uma conexão direta com o desenvolvimento de novos instrumentos de regulação e prudenciais. Além disso, estes exercícios podem ser ferramentas importantes para restaurar a confiança nos sistemas financeiros, aumentando a transparência e reduzindo a incerteza do mercado.

As instituições financeiras em economias emergentes com fortes ligações com o sistema financeiro internacional foram fortemente impactadas por estas crises financeiras globais, pois estas sentiram de maneira severa o ambiente macroeconômico adverso, principalmente devido à maior volatilidade do crescimento do crédito (FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013). Esse contexto demonstra a importância dos testes de estresse em mercados emergentes.

Os testes de estresse podem ser classificados como micro, avaliando a vulnerabilidade de carteiras de instituições financeiras para gestão de riscos internos, ou macro, avaliando a vulnerabilidade do sistema financeiro como um todo. O teste de estresse macro ajuda órgãos reguladores a identificarem exposições a risco de um sistema financeiro que poderiam levar a problemas sistêmicos (SORGE; VIROLAINEN, 2006).

Os passos para construção de um teste de estresse são: definição de escopo, identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, calibração do cenário de estresse, aplicação dos modelos para verificar o impacto do cenário obtido no balanço das instituições e o *feedback* para o sistema (VAZQUEZ *et al.*, 2012).

A literatura em teste de estresse para risco de crédito foca na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, examinando a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos (VAZQUEZ *et al.*, 2012). A obtenção de cenários de estresse, uma fase posterior, é tão importante quanto o modelo inicial, e não é trivial.

Há três métodos de calibração de choques para obtenção de um cenário de estresse: histórico, hipotético e probabilístico (BUNN *et al.*, 2005). Nota-se uma lacuna na literatura brasileira, em que não há propostas de cenários hipotéticos. Além disso, o estudo de Santos (2008), que propõe cenário com base em dados históricos, utiliza base de dados anterior à crise de 2008. Após a calibração dos choques, um modelo estatístico, que relaciona as variáveis macroeconômicas entre si, obtém o cenário macroeconômico em estresse. A maior parte dos estudos utiliza um modelo de vetores autoregressivos para este fim (VAR), porém as estimativas destes modelos são inadequadas e inconsistentes quando variáveis endógenas aparecem como variáveis explicativas em outras equações no sistema.

### 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo propor um cenário de estresse para o sistema financeiro no Brasil, e contribui para a literatura em testes de estresse da seguinte maneira: no primeiro passo da construção dos cenários, o estudo propõe a obtenção de um choque histórico baseado

na crise de 2008 e um choque hipotético, ainda não proposto no Brasil. No segundo passo da construção dos cenários, o estudo propõe um modelo alternativo ao modelo VAR, o modelo de regressões aparentemente não relacionadas, que são mais adequados que os modelos VAR por produzir estimativas mais consistentes ao utilizar as correlações dos erros nas estimativas dos coeficientes. Para o período utilizado (janeiro/2004 a fevereiro/2015), o modelo proposto obteve melhor performance na estimação de parte das variáveis do sistema.

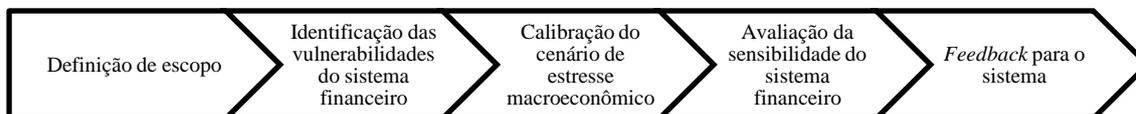
### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os primeiros trabalhos que estudaram a relação entre o risco de crédito e a economia foram publicados por Wilson (1998). Os estudos que analisam esta relação por meio de modelos estatísticos foram, posteriormente, utilizados como parte de ferramentas de teste de estresse macro, que têm como objetivo avaliar a vulnerabilidade de sistemas bancários em cenários macroeconômicos adversos (END, VAN DEN *et al.*, 2006; KALIRAI; SCHEICHER, 2002; SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012; SORGE; VIROLAINEN, 2006; VIROLAINEN, 2004; VLIEGHE, 2001).

Um teste de estresse macro pode ser definido como a estimativa da sensibilidade do risco da carteira de crédito em alterações, severas porém plausíveis, dos fatores de risco macroeconômicos. O objetivo destes testes é compreender os riscos e identificar as potenciais perdas de uma carteira em situação econômica anormal. Essa ferramenta é utilizada por instituições financeiras em seus sistemas de gestão, principalmente em risco de crédito, para tomada de decisão sobre tolerância a riscos e de alocação de capital.

A Figura 1 apresenta uma visão geral dos passos para construção de um teste de estresse. O primeiro passo é a definição de escopo, em que a instituição ou o órgão regulador necessita definir qual tipo de risco (crédito, mercado, etc.) e qual carteira será submetida ao teste. O segundo passo é a identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, em que captura-se as relações entre fatores macroeconômicos e a medida de risco utilizada. O terceiro passo é a calibração do cenário de estresse, em que são quantificados os fatores macroeconômicos de modo que indiquem um cenário adverso e plausível. O próximo passo é a aplicação dos modelos construídos anteriormente, verificando qual o impacto do cenário obtido no balanço das instituições. O último passo é o *feedback* para o sistema (VAZQUEZ *et al.*, 2012).

Figura 1. Visão geral de um teste de estresse



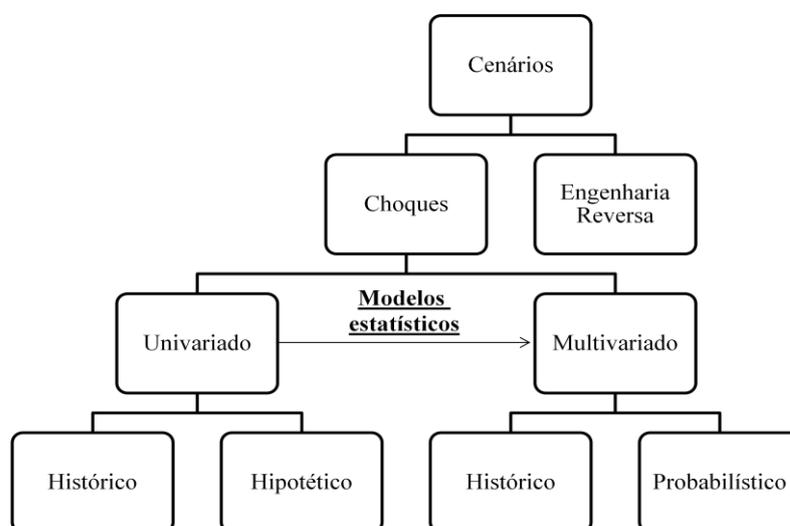
A maior parte dos estudos em testes de estresse focam na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, examinando a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos (VAZQUEZ *et al.*, 2012).

Este trabalho foca no terceiro passo, que é a calibração do cenário de estresse macroeconômico. A primeira etapa para obtenção do cenário de estresse é a escolha do choque, que deve ser adverso, porém plausível. Esta calibração do choque pode ser feita de forma univariada, em fatores únicos, ou multivariada, em que diversos fatores macroeconômicos se alteram. Um choque univariado pode ser transformado em multivariado

por meio de modelos estatísticos. Cenários multivariados são mais realistas, pois fatores macroeconômicos geralmente se interagem.

Além disso, a escolha do choque pode ser feita de forma histórica, em que o choque é escolhido de forma a refletir um evento histórico específico; probabilística, em que o choque é escolhido com base na distribuição histórica dos fatores macroeconômicos, como o percentil 99%, ou hipotética, em que o cenário reflete riscos e situações que não ocorreram no passado (END, VAN DEN *et al.*, 2006; SORGE; VIROLAINEN, 2006). O cenário ainda pode ser escolhido na forma de engenharia reversa, em que se avalia qual seria o choque necessário para gerar perdas superiores a algum limiar. Esta forma é menos utilizada (BUNN *et al.*, 2005) e não será abordada neste estudo. A combinação de possíveis métodos para obtenção do cenário de estresse está apresentada na Figura 2.

Figura 2. Métodos para obtenção do cenário de estresse



Fonte: elaborado pelo autor

Os estudos que desenvolvem testes de estresse geralmente utilizam choques históricos ou hipotéticos e um modelo VAR para gerar o cenário como um todo.

No cenário macroeconômico externo, alguns estudos aplicaram choques históricos e probabilísticos univariados, também chamados de análise de sensibilidade (CAVALLO; MAJNONI, 2002; FANG-YING, 2011; FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013; JONES *et al.*, 2004; KALIRAI; SCHEICHER, 2002). Porém, cenários multivariados são mais realistas que cenários univariados, dado que variáveis macroeconômicas geralmente se interagem (END, VAN DEN *et al.*, 2006).

Kalirai e Scheicher (2002) propuseram cenários baseados em choques nas principais variáveis macroeconômicas que afetam o risco de crédito do sistema financeiro da Áustria. Foram comparados choques históricos (valores extremos da série histórica das variáveis) e hipotéticos (choque de três desvios-padrão na variável), sendo os choques históricos escolhidos por serem mais plausíveis: a queda na produção industrial em 10,4% (1975), queda na emissão de moedas em 13,8% (1981), queda na confiança do empresário em 17,1% (1992), aumento na taxa de juros real em 1,42% (1990), aumento na taxa de juros nominal em 4,25% (1980), queda em 30% nos índices da bolsa de valores (2001) e quedas nas exportações em 4,9% (1993).

Fang-Ying (2011) utilizaram três cenários de estresse para analisar a vulnerabilidade do sistema financeiro chinês. Os autores aplicaram choques no PIB (redução em 1,1%, 2,2%, 0,6% e 0,5% em quatro trimestres consecutivos), na taxa de juros (aumento de 100 pontos base no primeiro trimestre, nenhuma mudança no segundo e terceiro trimestres e outro aumento de 100 pontos base no quarto trimestre) e nos preços do mercado imobiliário (redução dos preços de imóveis em 3,7%, 5,1%, 2,0% e 0,4% em quatro trimestres). A magnitude dos choques foi similar às variações dos fatores na crise financeira asiática.

Ainda no cenário externo, alguns estudos utilizam aplicação de choques históricos (END, VAN DEN *et al.*, 2006; QUAGLIARIELLO, 2004), hipotéticos (JONES *et al.*, 2004; LU; YANG, 2012; VIROLAINEN, 2004) ou probabilísticos (AIKMAN *et al.*, 2010) em modelos VAR, com objetivo de verificar o impacto do choque no cenário macroeconômico como um todo e, posteriormente, verificar o impacto deste cenário no risco de crédito.

Fungáčová e Jakubík (2013) propuseram choques hipotéticos com base em julgamento de *experts* para obtenção do cenário de estresse. O trabalho analisa a vulnerabilidade do setor bancário da Rússia em cenários de estresse, ressaltando a importância destes testes em mercados emergentes dada a sua alta volatilidade e indicaram a necessidade de aumento de capital das instituições financeiras russas.

Virolainen (2004) utilizou choques hipotéticos em três variáveis macroeconômicas. As demais variáveis são impactadas por meio da matriz de variância-covariância. O primeiro cenário aplica um choque negativo temporário no PIB da Finlândia, em que o PIB trimestral cai 1% por quatro trimestres consecutivos, depois disso volta à tendência histórica de crescimento, cerca de 0,5% por trimestre, por um período de dois anos. O segundo cenário aplica um aumento na taxa de juros de curto prazo, em que a taxa de juros aumenta em 1% por quatro trimestres consecutivos e mantém o alto patamar por dois anos. O terceiro cenário é um choque extremo no PIB, em que há uma queda em 2% por oito trimestres consecutivos.

Misina *et al.* (2006) propuseram a utilização de cenários históricos no sistema financeiro do Canadá, sendo eles: o aumento de 20% no índice de preços de commodities, uma queda de 4% na taxa de crescimento do PIB dos EUA, um aumento de 200 pontos base na taxa de juros real dos EUA e um cenário combinado, que examina o efeito conjunto dos dois primeiros cenários. Um modelo VAR foi utilizado para determinar o impacto dos choques em outras variáveis macroeconômicas e, posteriormente, no risco de crédito.

Lu e Yang (2012) utilizaram dois cenários para testar a vulnerabilidade do sistema financeiro da China. O primeiro cenário é hipotético, e supõe que a taxa de crescimento do PIB, a inflação e o crescimento monetário reduziram em 3%, enquanto o índice de preços imobiliário aumenta em 1%. O segundo cenário é histórico, e supõe uma queda de 3,1% no PIB, que remete à crise asiática de 2008. O modelo estatístico utilizado para verificar o impacto dos choques em outras variáveis macroeconômicas foi o modelo VAR.

No Brasil, a análise de sensibilidade (choque histórico, sem modelo) foi feita somente por Januzzi *et al.* (2012). Já em cenários multivariados, o modelo VAR foi o mais aplicado, e alguns estudos aplicaram choques históricos (SANTOS, 2008) ou probabilísticos (SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012).

Santos (2008) fez uma revisão das metodologias de testes de estresse e descreveu uma análise de cenários e um teste de estresse aplicado ao Brasil. O cenário escolhido foi histórico, em que o prêmio dos títulos Global 12 atingiu o mesmo nível de 2002, quando houve fuga dos

investidores estrangeiros. As demais variáveis foram estimadas por meio de um modelo VAR, construídos para o período de novembro/2002 a novembro/2007.

Schechtman e Gaglione (2012) construíram cenários para o sistema financeiro no Brasil. Os autores consideraram cenários univariados, em que somente uma variável macroeconômica recebe o choque (e as demais variáveis são simuladas de forma condicional) e cenários multivariados, em que todas as variáveis sofrem choques probabilísticos (um, dois e três desvios-padrão na projeção das variáveis macroeconômicas) simultaneamente por meio de um modelo VAR. Os autores aplicaram a metodologia no setor imobiliário brasileiro, e indicaram que a taxa de desemprego tem o efeito mais nocivo, porém inflação e taxa de juros tem maiores impactos em longo prazo.

Januzzi *et al.* (2012) propuseram a utilização dos valores da cauda inferior (0 a 5%) ou superior (95 a 100%) das distribuições dos fatores de risco como cenário de estresse, dependendo da relação do fator com o fluxo de caixa. Estas caudas foram obtidas por meio de uma simulação de Monte Carlo com 1.000 trajetórias para estes fatores. O objetivo do trabalho foi verificar os impactos de cenários extremos, tais como o racionamento de energia, sobre a estimativa futura do fluxo de caixa operacional de empresas do setor elétrico brasileiro.

Vazquez *et al.* (2012) utilizaram três cenários de estresse probabilísticos macroeconômicos por meio de um modelo VAR para testar a vulnerabilidade do sistema financeiro brasileiro. O primeiro cenário é um aumento de dois desvios-padrão na taxa de juros. O segundo cenário é uma queda de dois desvios-padrão na concessão de crédito. O terceiro e último cenário propõe uma queda de dois desvios-padrão no crescimento do PIB.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos estudos que propõem metodologias para obtenção do cenário de estresse e sua classificação. Nota-se uma lacuna na literatura brasileira, em que não há propostas de choques hipotéticos. Além disso, o estudo de Santos (2008), que propõe um choque com base em dados históricos, utiliza base de dados anterior à crise de 2008. Por fim, o estudo de Schechtman e Gaglione (2012) que propôs choques probabilísticos focou somente o setor imobiliário.

Tabela 1. Resumo dos estudos de metodologias de cenários para testes de estresse

País	Choque			Modelo
	Histórico	Hipotético	Probabilístico	
Brasil				Sem modelo (univariado)
	(SANTOS, 2008)		(SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012)  (JANUZZI <i>et al.</i> , 2012)	VAR
Demais países	(CAVALLO; MAJNONI, 2002)	(FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013)		Sem modelo (univariado)
	(JONES <i>et al.</i> , 2004)	(JONES <i>et al.</i> , 2004)		
	(FANG-YING, 2011)	(KALIRAI; SCHEICHER, 2002)		
	(QUAGLIARIELLO, 2004)	(VIROLAINEN, 2004)	(AIKMAN <i>et al.</i> , 2010)	VAR

	(END, VAN DEN <i>et al.</i> , 2006) (JONES <i>et al.</i> , 2004) (LU; YANG, 2012)	(JONES <i>et al.</i> , 2004) (LU; YANG, 2012)		
--	---	--	--	--

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. Base de Dados

A base de dados utilizada foi selecionada a partir do sistema de séries temporais do Banco Central do Brasil. O período extraído foi janeiro/2004 a fevereiro/2015, e abrange a crise de 2008 e a fase de recuperação posterior.

As variáveis macroeconômicas que participarão do cenário de estresse foram selecionadas com base na literatura dos modelos de teste de estresse, e estão apresentadas na Tabela 2, assim como o fator extraído no sistema de séries temporais do Banco Central do Brasil para representar esta variável:

Tabela 2. variáveis selecionadas para o cenário de estresse

Variável	Autores	Série Temporal Bacen
Taxa de juros	(FANG-YING, 2011; HOGGARTH <i>et al.</i> , 2005; JOKIVUOLLE; VIRÉN, 2013; KALIRAI; SCHEICHER, 2002; SANTOS, 2008; SORGE; VIROLAINEN, 2006; VLIEGHE, 2001)	4390 - Taxa de juros - Selic acumulada no mês - % a.m.
Produção Industrial	(KALIRAI; SCHEICHER, 2002; MISINA <i>et al.</i> , 2006)	21943 - Produção Industrial (2012=100) – Geral – Região sudeste – com ajuste sazonal – Índice
PIB	(BUNN <i>et al.</i> , 2005; FANG-YING, 2011; FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013; HOGGARTH <i>et al.</i> , 2005; SANTOS, 2008; SORGE; VIROLAINEN, 2006; VLIEGHE, 2001)	4380 - PIB mensal - Valores correntes (R\$ milhões)
Índice de ações	(HANSCHER; MONNIN, 2005; KALIRAI; SCHEICHER, 2002)	7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa - u.m.c. (milhões)

## 4.2. Cenário macroeconômico

### 4.2.1. Choques

Este estudo propôs choques no Brasil de forma a preencher duas lacunas na literatura de testes de estresse do sistema financeiro brasileiro: um histórico que utiliza a crise de 2008 e um hipotético, que ainda não foi proposto no Brasil.

O choque histórico selecionado remete à crise financeira *subprime* de 2008, e foi selecionado conforme sugerido por Fang-Ying (2011) e Lu e Yang (2012). O cenário ainda não foi proposto no mercado brasileiro, pois o único choque histórico construído no Brasil foi proposto por Santos (2008) e considerou o período de 2002, quando houve fuga dos investidores estrangeiros do Brasil.

Para a definição do período da crise subprime foi utilizada a caracterização feita pelo *Bank of International Settlements* (BIS, 2009). Neste relatório o BIS classificou a crise em cinco fases: A primeira fase (julho/2007 a março/2008) a crise atingiu o segmento subprime e as turbulências impactavam somente este mercado em instituições financeiras principalmente nos EUA. As economias emergentes ainda não haviam sido impactadas. Na segunda fase (março/2008 a setembro/2008) a crise chegou a outros segmentos com a falência do banco *Lehman Brothers*, que teve como consequência a retração do crédito bancário nos EUA. Esta retração impactou algumas economias emergentes, como Turquia e África do Sul. A terceira fase (setembro/2008 a outubro/2008) foi caracterizada como início da crise global. Foi a fase mais severa, pois se tornou uma crise sistêmica com impacto no sistema financeiro mundial, tanto em países avançados quanto em países emergentes. A quarta fase (outubro/2008 a março/2009) se caracterizou pelo início da estabilização dos mercados financeiros. A crise se tornou uma crise econômica e os governos centrais dos países emergentes começaram a tomar medidas para conter os impactos em seus próprios sistemas. A quinta fase (março/2009 a junho/2009) apresentou sinais de estabilização dos mercados financeiros globais. Pratez e Cunha (2001) indicaram que esta fase se estendeu até o final de 2009, pois o *Ted Spread* (indicador de risco sistêmico) voltou ao patamar vigente antes da crise durante o segundo semestre de 2009.

Assim, este trabalho irá considerar o período de setembro/2008 (início dos impactos nos países emergentes) até dezembro/2009 (recuperação) como período da crise financeira. A variação das variáveis entre o período anterior à crise e o pior momento durante a crise será considerada como cenário de estresse histórico.

O cenário hipotético proposto neste artigo seguirá o choque indicado por Lu e Yang (2012). Os autores supõem que a taxa de crescimento do PIB, a inflação e o crescimento monetário reduziram em 3% em um cenário de estresse. Os autores também propuseram um aumento em 1% no índice de preços imobiliário, porém neste trabalho não será utilizado nenhum fator relacionado ao mercado imobiliário.

### 4.2.2. Modelo estatístico

Neste artigo é proposto um modelo alternativo ao modelo VAR, utilizado na maior parte dos artigos focados em testes de estresse.

#### 4.2.2.1. Modelo VAR

O modelo VAR (vetores autoregressivos) é o modelo mais utilizado para relacionar variáveis macroeconômicas entre si para a construção de um cenário. Cada equação definida pelo VAR é uma regressão por mínimos quadrados ordinários de determinada variável pela própria variável defasada e por outras variáveis componentes do modelo. Uma equação do modelo VAR pode ser definida pela equação 1 (GUJARATI, 2006).

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 Z_t + \beta_1 Z_{t-1} + \dots + \beta_p Z_{t-p} + e_t \quad (1)$$

onde  $\alpha_0$  é o vetor de interceptos,  $\alpha_1$  é a matriz de coeficientes das variáveis resposta defasadas em um mês,  $\beta_0, \dots, \beta_p$  são as matrizes de coeficientes das variáveis explicativas defasadas até p meses e  $e_t$  é o vetor de erros.

#### 4.2.2.2. Regressões aparentemente não relacionadas (SUR)

As estimativas de mínimos quadrados ordinários (MQO) são inadequadas e inconsistentes quando variáveis endógenas aparecem como variáveis explicativas em outras equações no sistema. Os erros de um conjunto de equações de regressão relacionados são frequentemente correlacionados, e a eficiência das estimativas pode ser melhorada usando essas correlações em conta. O sistema de equações de regressão linear interdependentes produzem estimativas consistentes por utilizarem essas correlações nas estimativas dos coeficientes (ZELLNER, 1962).

O sistema utilizado neste artigo aplica o método proposto por Zellner (1962) de regressões aparentemente não relacionadas, mais eficiente quando variáveis nas diferentes equações, e consequentemente seus erros, são correlacionados. Neste procedimento os coeficientes são estimados por meio das estimativas da variância e covariância dos resíduos do sistema único de equações.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1. Choques

#### 5.1.1. Choque histórico

Este trabalho considera o período de setembro/2008 (início dos impactos nos países emergentes) até dezembro/2009 (recuperação) como período da crise financeira. O cenário de estresse considera a variação entre o período anterior à crise e o pior momento durante a crise.

A Tabela 3 apresenta as piores variações indicadas pelo cenário histórico (choque histórico), o valor das variáveis no momento atual (fevereiro/2015 – último valor disponível para todas as variáveis) e o valor da variável no cenário de estresse.

Tabela 3. Cenário de Estresse Histórico

Variável	Choque Histórico	Valor em Fev/15	Variável em estresse
Taxa de juros	16%	0,82%	0,95%
Produção Industrial	-19%	94,10	75,87
PIB	-11%	448.318,00	398.415,23
Índice de ações	-29%	1.897.789,00	1.345.552,93

### 5.1.2. Choque hipotético

O cenário hipotético proposto neste artigo seguirá o choque indicado por Lu e Yang (2012). Os autores sugerem choque em 3% na taxa de crescimento das variáveis. Diferentemente do cenário de estresse histórico, em que o choque foi aplicado diretamente na variável, este choque foi aplicado na variação anual da variável (taxa de crescimento). Neste caso, o cenário de estresse é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Cenário de Estresse Hipotético

Variável	Crescimento em Fev/15	Choque Hipotético	Valor em Fev/15	Variável em estresse
Taxa de juros	3,8%	6,8%	0,82%	0,88%
Produção Industrial	-4,85%	-7,85%	94,10	86,71
PIB	4,54%	1,54%	448.318,00	455.241,32
Índice de ações	6,08%	3,08%	1.897.789,00	1.956.190,02

Nota-se que os choques históricos geraram valores bem mais severos que os choques hipotéticos. Isso pode indicar uma possível subestimação dos riscos em cenários hipotéticos, conforme sugerido por Breuer e Csiszár (2013). Por outro lado, a história pode não se repetir e o cenário histórico pode possivelmente superestimar os riscos (VAZQUEZ *et al.*, 2012).

## 5.2. Modelos estatísticos

### 5.2.1. Modelo VAR

O modelo VAR estimado é apresentado na tabela 5.

Para a variável resposta PIB, as variáveis Ibovespa e produção industrial, além do próprio PIB defasado, são significativas, com os sinais esperados (quanto maior o Ibovespa ou a produção industrial, maior o PIB).

O PIB, o Ibovespa, a própria taxa de juros e a produção industrial são significativas para explicar a taxa de juros, com os sinais esperados (quanto maior o PIB, menor a taxa de juros; quanto maior o Ibovespa, menor a taxa de juros e quanto maior a produção industrial, ou seja, a oferta e demanda de bens, maior a taxa de juros com objetivo de conter a inflação).

O PIB, além do próprio índice Ibovespa, são significativos para explicar o Ibovespa, com os sinais esperados (quanto maior o Ibovespa, maior o PIB).

O Ibovespa, o PIB e a própria produção industrial são significativos para explicar a produção industrial com os sinais esperados (quanto maior o Ibovespa, maior a produção industrial e quanto maior o PIB maior a produção industrial).

Tabela 5. Modelo VAR

Variáveis explicativas	4380 - PIB mensal		4390 - Taxa de juros - Selic		7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa		21943 - Produção Industrial	
	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo
4380 - PIB mensal (t-1)	0,5817	0,0001	-1,0734	0,0011	-0,4889	0,0506	0,2175	0,0351
4390 - Taxa de juros - Selic (t-1)			0,9690	0,0001				
7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa (t-1)	0,0190	0,1000	-0,1194	0,0077	0,9518	0,0001	0,0762	0,0001
21943 - Produção Industrial (t-1)	0,1301	0,0262	1,2075	0,0001			0,5668	0,0001

O teste de exogeneidade, que tem como hipótese nula a variável ser exógena às demais variáveis da equação, indicou que a variável Ibovespa é exógena às demais variáveis da equação (nível descritivo igual a 0,2374). As demais variáveis, ou seja, o PIB (nível descritivo de 0,0648), a taxa de juros (nível descritivo de 0,0031) e a produção industrial (nível descritivo de 0,0001), não são exógenas nas equações. Estes resultados indicam que o modelo de sistema de regressões lineares independentes são mais adequados para relacionar as variáveis macroeconômicas entre si.

### 5.2.2. Regressões aparentemente não relacionadas

O modelo de regressões aparentemente não relacionadas é apresentado na tabela 6.

Para a variável resposta PIB, as variáveis Ibovespa e produção industrial são significativas, com os sinais esperados (quanto maior o Ibovespa ou a produção industrial, maior o PIB).

O PIB e a produção industrial são significativas para explicar a taxa de juros, com os sinais esperados (quanto maior o PIB, menor a taxa de juros; quanto maior o Ibovespa, menor a taxa de juros e quanto maior a produção industrial, ou seja, a oferta e demanda de bens, maior a taxa de juros com objetivo de conter a inflação).

O PIB é significativo para explicar o Ibovespa, com o sinal esperado (quanto maior o Ibovespa, maior o PIB).

O Ibovespa e o PIB são significativos para explicar a produção industrial com os sinais esperados (quanto maior o Ibovespa, maior a produção industrial e quanto maior o PIB maior a produção industrial).

Tabela 6. Regressões aparentemente não relacionadas

Variáveis explicativas	4380 - PIB mensal		4390 - Taxa de juros - Selic		7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa		21943 - Produção Industrial	
	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo	Coefficiente	Nível Descritivo
4380 - PIB mensal (t-1)			-4,1181	0,0001	3,2819	0,0001	1,3428	0,0001
4390 - Taxa de juros - Selic (t-1)								
7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa (t-1)	0,0234	0,0391					0,0791	0,0001
21943 - Produção Industrial (t-1)	0,6173	0,0001	2,7609	0,0001				

Os modelos foram comparados por meio da soma dos quadrados dos erros para o período de setembro/2014 a fevereiro/2015. A tabela 7 apresenta a soma dos quadrados dos erros, e, para as variáveis endógenas, o erro do modelo foi maior mas para a variável exógena (Ibovespa), o erro estimado foi menor.

Tabela 7. Soma dos quadrados dos erros dos modelos

	4380 - PIB mensal	4390 - Taxa de juros - Selic	7848 - Valor das empresas listadas no Ibovespa	21943 - Produção Industrial
SUR	0,004	0,217	0,017	0,008
VAR	0,001	0,030	0,070	0,003

## 6. CONCLUSÃO

Um teste de estresse tem objetivo de compreender a vulnerabilidade das instituições financeiras a cenários macroeconômicos adversos e tem importância crucial para a correta avaliação do risco sistêmico e para regulação e de supervisão do setor bancário. Obter um cenário adverso não é trivial. Pode-se usar dados históricos como orientação para construir os choques, mas a história quase não se repete e as circunstâncias que cercam os choques são quase sempre diferentes, questionando a sua validade (VAZQUEZ *et al.*, 2012). Além disso, pode-se utilizar cenários hipotéticos, mas que podem subestimar riscos – ou porque os cenários mais nocivos não são considerados ou porque os cenários considerados na são plausíveis (BREUER; CSISZÁR, 2013).

Há uma lacuna na literatura brasileira de cenários de estresse, em que não há propostas de choques hipotéticos. Além disso, o estudo de Santos (2008), que propõe cenário com base em dados históricos, utiliza base de dados anterior à crise de 2008. Este trabalho propôs dois choques para obtenção do cenário de estresse para o mercado brasileiro, sendo um histórico e um hipotético. O cenário histórico selecionado remete à crise financeira *subprime* de 2008, conforme sugerido por Fang-Ying (2011) e Lu e Yang (2012), e foi construído com base no pior momento da crise. O período da crise foi considerado como setembro/2008 (início dos impactos nos países emergentes) até dezembro/2009 (recuperação). O cenário hipotético foi construído conforme sugerido por Lu e Yang (2012), em que o crescimento das variáveis recebe um choque de 3%.

Após a calibração dos choques, um modelo estatístico, que relaciona as variáveis macroeconômicas entre si, obtém o cenário macroeconômico em estresse como um todo, dado que as variáveis macroeconômicas se relacionam entre si. A maior parte dos estudos utiliza um modelo de vetores autoregressivos para este fim (VAR), porém as estimativas destes modelos são inadequadas e inconsistentes quando variáveis endógenas aparecem como variáveis explicativas em outras equações no sistema. Este estudo também contribui para a literatura em testes de estresse ao propor um modelo mais adequado, que utiliza as correlações dos erros nas estimativas dos coeficientes, o modelo de regressões aparentemente não relacionadas.

As variáveis macroeconômicas que participaram do cenário foram selecionadas com base na literatura dos modelos de teste de estresse, e foram taxa de juros, produção industrial, PIB e índice Ibovespa de ações. A base de dados abrangeu o período de janeiro/2004 a fevereiro/2015. Para este período, os choques históricos geraram valores bem mais severos que os choques hipotéticos. Isso pode indicar uma possível subestimação dos riscos em cenários hipotéticos, conforme sugerido por Breuer e Csiszár (2013). Além disso, o modelo de regressões aparentemente não relacionadas somente obteve melhor performance na estimativa da variável exógena do modelo.

Os cenários propostos podem ser utilizados em testes de estresse tanto do sistema financeiro brasileiro como de instituições financeiras específicas. Como sugestões para trabalhos futuros, os choques históricos podem considerar a crise de 2014. Além disso, um período maior pode ser utilizado para construção dos modelos de regressões aparentemente não relacionadas para obterem melhor performance. Por último, uma análise do *feedback* para o sistema pode ser feito, verificando qual a inadimplência do sistema financeiro para o cenário proposto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKMAN, D.; ALESSANDRI, P.; EKLUND, B. *et al.* **Funding liquidity risk in a quantitative model of systemic stability**. 12th Annual Conference of the Central Bank of Chile. **Anais...** Santiago, Chile: [s.n.], 2010

BREUER, T.; CSISZÁR, I. Systematic stress tests with entropic plausibility constraints. **Journal of Banking & Finance**, v. 37, n. 5, p. 1552-1559, maio 2013.

BUNN, P.; CUNNINGHAM, A.; DREHMANN, M. Stress testing as a tool for assessing systemic risk. **Bank of England Financial Stability Review**, p. 116-126, 2005.

CAVALLO, M.; MAJNONI, G. **Do Banks Provision for Bad Loans in Good Times? Empirical Evidence and Policy Implications**. . [S.l: s.n.], 2002

END, J. VAN DEN; HOEBERICHTS, M.; TABBAE, M. **Modelling Scenario Analysis and Macro Stress-testing**. . [S.l: s.n.], 2006

FANG-YING, Y. **The credit risk macro stress testing of the Chinese banking system**. 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). **Anais...** Mianyang, China: Ieee. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5968369>>. , maio 2011

FUNGÁČOVÁ, Z.; JAKUBÍK, P. Bank Stress Tests as an Information Device for Emerging Markets: The Case of Russia. **Czech Journal of Economics and Finance**, v. 63, n. 1, p. 87-105, 2013.

GUJARATI, D. **Econometria Básica**. [S.l: s.n.], 2006.

HANSCHER, E.; MONNIN, P. **Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland**. . [S.l: s.n.], 2005

HOGGARTH, G.; SORENSEN, S.; ZICCHINO, L. **Stress tests of UK banks using a VAR approach**. . [S.l: s.n.], 2005

JANUZZI, F. V.; PEROBELLI, F.; BRESSAN, A. A. Aplicação do CF@R e de Cenários de Stress no Gerenciamento de Riscos Corporativos. **Estudos Econômicos**, v. 42, n. 3, p. 545-579, 2012.

JOKIVUOLLE, E.; VIRÉN, M. Cyclical default and recovery in stress testing loan losses. **Journal of Financial Stability**, v. 9, n. 1, p. 139-149, abr 2013.

JONES, M. T.; HILBERS, P.; SLACK, G. **Stress Testing Financial Systems: What to Do When the Governor Calls**. . [S.l: s.n.], 2004

KALIRAI, H.; SCHEICHER, M. **Macroeconomic Stress Testing: Preliminary Evidence for Austria**. . [S.l: s.n.], 2002

LU, W.; YANG, Z. Stress Testing of Commercial Banks' Exposure to Credit Risk: A Study Based on Write-off Nonperforming Loans. **Asian Social Science**, v. 8, n. 10, p. 16-22, 29 jul 2012.

MISINA, M.; TESSIER, D.; DEY, S. **Stress Testing the Corporate Loans Portfolio of the Canadian Banking Sector**. . [S.l: s.n.], 2006

QUAGLIARIELLO, M. **Banks' performance over the business cycle: evidence from Italy**. . [S.l: s.n.], 2004

SANTOS, T. **Testes de Stress em Sistemas Financeiros: Uma aplicação no Brasil**. [S.l.]: Universidade de São Paulo, 2008.

SCHECHTMAN, R.; GAGLIANONE, W. P. Macro stress testing of credit risk focused on the tails. **Journal of Financial Stability**, v. 8, n. 3, p. 174-192, set 2012.

SORGE, M.; VIROLAINEN, K. A comparative analysis of macro stress-testing methodologies with application to Finland. **Journal of Financial Stability**, v. 2, n. 2, p. 113-151, jun 2006.

VAZQUEZ, F.; TABAK, B. M.; SOUTO, M. A macro stress test model of credit risk for the Brazilian banking sector. **Journal of Financial Stability**, v. 8, n. 2, p. 69-83, abr 2012.

VIROLAINEN, K. **Macro stress testing with a macroeconomic credit risk model for Finland**. . [S.l: s.n.], 2004

VLIEGHE, G. W. **Indicators of fragility in the UK corporate sector**. . [S.l: s.n.]. , 2001

WILSON, T. C. Portfolio Credit Risk. **Economic Policy Review**, v. 4, n. 3, p. 71-82, 1998.

ZELLNER, A. An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation. **Journal of the American Statistical Association**, v. 57, n. 1, p. 348-368, 1962.