

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE  
JANEIRO DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**



**Técnicas de antecipação de eventos de stress e um estudo de  
mercado**

**João Pedro Bueno do Prado de Castro Neves**

Matrícula: 2010626

**Orientador: Carlos Viana de Carvalho**

Dezembro, 2023

## SUMÁRIO

<b>1.0 -INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.0 -MOTIVACÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>3.0 -REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
<b>4.0 -FONTE DE DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
<b>5.0 -VOLATILIDADE E VAR NAS CRISES.....</b>	<b>16</b>
5.1 - Volatilidade e VaR na crise de 2008.....	16
5.2 - Volatilidade e VaR na crise 2016.....	19
5.3 - Volatilidade e VaR na crise do Covid.....	22
<b>6.0- INDICADORES DO RELATÓRIO FOCUS.....</b>	<b>25</b>
6.1 - PIB.....	25
6.1.1 - PIB em 2008.....	25
6.1.2 - PIB em 2016.....	26
6.1.3 - PIB no Covid.....	27
6.2 - Projeções da meta Selic.....	28
6.2.1. -Meta Selic Focus em 2008.....	28
6.2.2 -Meta Selic Focus em 2016.....	29
6.2.3. - Meta Selic Focus em 2020.....	30
6.3. - Projeções Câmbio.....	30
6.3.1 -Projeções Cambio em 2008.....	31
6.3.2 -Projeções Cambio em 2016.....	29
6.3.3. -Projeções Cambio em 2020.....	33
6.4. -Expectativa de Inflação.....	37
6.4.1. -Expectativa para o IPCA em 2008.....	37
6.4.2. -Expectativa para o IPCA em 2016.....	38
6.4.3. -Expectativa para o IPCA em 2020.....	39
<b>7.0 - APLICAÇÃO METODOLOGICA.....</b>	<b>41</b>
7.1 - Regressões Crise 2008.....	42
7.2 - Regressões Crise Impeachment.....	45
7.3 - Regressões Covid.....	46
<b>8.0 - VOLATILIDADE IMPLICITA NAS OPÇÕES.....</b>	<b>48</b>
8.4 - Correlação Crise 2008 x Vol. Implícita.....	49

8.5 - Correlação Crise 2016 x Vol. Implícita.....	50
8.6 - Correlação Covid 2008 x Vol.Implícita.....	51
<b>9.0 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>10.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>

## Índice de Gráficos, Tabelas e Figuras

### Figuras:

1- Rentabilidade absoluta e diária da carteira teórica na crise de 2008.....	19
2- Rentabilidade absoluta e diária da carteira teórica durante a crise do governo Dilma.....	20
3- Rentabilidade absoluta e diária da carteira teórica na crise de 2020.....	21
4- Volatilidade EWMA e VaR da carteira teórica durante a crise de 2008.....	22
5- Volatilidade EWMA e VaR da carteira teórica durante a crise do governo Dilma.....	23
6- Volatilidade EWMA e VaR da carteira teórica em 2020.....	24
7- Volatilidade da carteira teórica na crise da Covid.....	27
8- VaR Paramétrico da carteira teórica na crise da Covid.....	27
9- VaR Paramétrico por posição da carteira teórica na crise da Covid.....	28
10- Projeções Focus para o PIB de 2008.....	29
11- Projeções Focus para o PIB de 2016.....	30
12- Projeções Focus para o PIB de 2020.....	30
13- Projeções Focus para o Selic de 2008.....	31
14- Projeções Focus para o Selic de 2016.....	33
15- Projeções Focus para o Selic no 2020.....	33
16- Projeções Focus para o Cambio de 2008.....	29
17- Projeções Focus para o Câmbio de 2016.....	30
18- Projeções Focus para o Câmbio de 2020.....	30
19- Projeções Focus para o IPCA de 2008.....	36
20- Projeções Focus para o IPCA de 2016.....	37
21- Projeções Focus para o IPCA no Covid.....	38
22- Projeções Focus para o PIB em 2016.....	39
23- Regressão na volatilidade durante a crise de 2008.....	42
24- Regressão na volatilidade durante a crise de 2016.....	45
25- Regressão na volatilidade durante a crise do Covid.....	46

## 1. Introdução

Entre as maiores preocupações do investidor racional, está a incerteza dos resultados de suas aplicações no mercado financeiro e a melhor forma de mensurar a relação de risco retorno em suas operações. A estimação de perda potencial de uma carteira pressupondo o risco de eventos de stress tem se desenvolvido no mercado, seja comunidade financeira ou no meio acadêmico. O consenso em torno da necessidade de assegurar um sistema financeiro capaz de identificar e controlar os riscos como forma de evitar danos potenciais de crises bancárias e riscos sistêmicos, vem se tornando cada vez mais urgente.

Com isso, novas práticas e ferramentas para controle de risco foram sendo desenvolvidas com o passar do tempo, juntamente com a imposição de exigências mínimas de capital para instituições financeiras.

Assim, no presente trabalho buscaremos explorar e demonstrar diferentes maneiras com que eventos de stress nos mercados financeiros poderiam ter sido antecipados. Para caráter exploratório e para que possamos desenvolver uma conclusão de maneira mais abrangente, as análises serão desenvolvidas em torno de três diferentes eventos de stress ocorridos nos mercados, sendo cada um deles oriundo de um motivo diferente. A primeira delas é a crise do Subprime (2008), um evento de colapso hipotecário que levou diversas instituições financeiras a situação de insolvência. A segunda, a crise brasileira de 2014/16, fruto de uma combinação de descontrole fiscal e instabilidade política - levando ao impeachment do presidente em exercício Dilma Rousseff. E por fim, a crise do Covid, que podemos definir como um evento “black swan” - termo cunhado pelo escritor e estatístico Nassim Nicholas Taleb para exemplificar eventos altamente improváveis e imprevisíveis, com grande impacto e efeitos nos mercados financeiros.

Tentaremos explicar como a alta volatilidade em momentos de crise pode ser justificada pelas expectativas do mercado quanto aos indicadores da economia real. Isto

é, buscaremos entender se a alta volatilidade realizada no mercado é condizente com as perspectivas macroeconômicas que os próprios especuladores estavam esperando. Ao fim, conseguiremos concluir quais indicadores macroeconômicos desempenham o papel mais eficaz como sinalizador de situações de stress, seja uma crise financeira, sanitária ou fiscal, quando confrontadas com informações adversas ou surpresas negativas em relação às expectativas estabelecidas.

Ademais, além de explorar as reações do mercado a mudanças nas expectativas em relação a indicadores macroeconômicos, buscaremos também explicar como informações implícitas nos preços das opções podem funcionar como sinalizador de eventos de stress.

Para isso, criaremos uma carteira hipotética com dez ações do Ibovespa e, buscaremos em cima da análise desse portfolio, demonstrar o que foi proposto acima. A escolha pelas dez ações se deu em função principalmente da liquidez, para termos um mercado opções líquidos para tais ativos, e diversificação setorial, elemento chave para construção de uma carteira teórica que seja capaz de capturar a dinâmica de mercado de forma abrangente.

## **2. Motivação**

É indiscutível que os mercados financeiros desempenham um papel fundamental na economia global, seja como um motor para o crescimento econômico ou para alocação de recursos de maneira eficiente. E, na medida que sua importância na estabilidade econômica e financeira foi aumentando, as consequências inerentes a crises e eventos de stress também. Particularmente quando se trata de mercados emergentes, dos quais são caracterizados por sua alta volatilidade e que, como por um lado pode podem representar riscos de perdas inesperadas, por outro, possibilitam também a obtenção de retornos substanciais.

A reincidência de tais eventos nos últimos anos destaca a suma importância de práticas cada vez mais proativas de gestão de risco financeiro. A crise da bolha das Dotcoms, o choque do petróleo em 1973, crise da dívida europeia, a bolha financeira e imobiliária do Japão em 1989, são alguns dos exemplos de crises que causaram perdas catastróficas aos investidores e que poderiam ter sido amenizadas com uma boa gestão de risco. Nesse contexto, a motivação geral dessa monografia é entender de certa forma como crises passadas poderiam ter sido antecipadas e buscar uma base, para como crises futuras possam vir a ser. A pesquisa buscará contribuir para o avanço do conhecimento acadêmico na área de finanças fornecendo insights sobre melhores práticas e técnicas na antecipação de cenários de stress.

### 3. Revisão da Literatura

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais literaturas existentes a respeito do mercado de opções, volatilidade implícita e análise de volatilidade. A partir delas foram extraídos métodos científicos que serão utilizados como base para a presente monografia.

Atualmente, têm-se diversas ferramentas de gestão de risco disponíveis para operadores de mercado. Tais medidas, foram surgindo em resposta ao aumento da volatilidade e pela sequência de diversas crises ocorridas nos mercados.

Conforme JORION (1997) destaca, o risco é definido como a variabilidade de resultados inesperados e sua mensuração sempre se apresentou como uma questão desafiadora para qualquer aspecto das finanças. Nesse sentido, surgiu o VaR como uma ferramenta de avaliação de risco de mercado. De acordo com Jorion, o VaR é uma medida estatística para estimar a perda máxima esperada em uma carteira de investimentos, para um determinado horizonte de tempo e nível de confiança determinado.

Existem diferentes abordagens para calcular o VaR. John C. Hull (2013) em seu estudo, explora as diferenças entre as abordagens paramétricas e não paramétricas para o seu cálculo. A paramétrica assume uma distribuição específica dos retornos históricos dos ativos. Ela utiliza-se da teoria da probabilidade para calcular a perda máxima esperada de uma carteira em um certo nível de confiança. Já a segunda é a não paramétrica e utiliza diretamente os dados históricos sem fazer suposições sobre a distribuição dos retornos. Em “Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk” de Philippe Jorion, o autor apresenta o modelo RiskMetrics EWMA, que utiliza uma média móvel ponderada exponencialmente para estimar a volatilidade. Esse modelo atribui maior importância aos retornos mais recentes, o que permite melhor capturar dinâmicas do mercado. O cálculo de sua volatilidade por sua vez envolve etapas. Primeiro, deve-se estabelecer um parâmetro de suavização, conhecido como lambda. Este parâmetro calcula

o peso relativo dado aos retornos passados e reflete a velocidade de decaimento da relevância que será dada aos retornos. À medida que o lambda cresce, a série torna-se mais suave. Em seguida, o modelo é utilizado para calcular a variância dos retornos, que é a medida de dispersão dos preços em relação à média e, então, a volatilidade é obtida tomando a raiz quadrada da variância.

A volatilidade EWMA a ser utilizado no presente trabalho será com lambda de 0,94. Uma vantagem na utilização dessa métrica é que a volatilidade reage mais rápido a choques no mercado, o que será mais interessante de usar se tratando de cenários de crise.

Portanto, a fórmula do VaR paramétrico que utilizaremos é calculada da seguinte forma:

- $VaR = \text{Volatilidade EWMA} * z * V$

Onde:

- VaR: Perda máxima esperada para a carteira
- V: Valor total dos ativos financeiros incluídos na carteira
- z: Valor crítico a um nível de confiança de 95%

O VaR da carteira será calculado da seguinte forma, que é a forma mais usada no mercado:

- $VaR_{carteira} = [\sqrt{T(VaR_m) * M_{varcov}} * VaR_m] * 1,645$

Onde  $T(VaR_m)$  é a transposta da matriz de VaR por fator de risco e  $M_{varcov}$  é a matriz de variância-covariância.

Continuamente, muitos especialistas defendem que grande parte dos modelos de avaliação de risco, por terem sido desenvolvidos com a suposição de que a distribuição do retorno dos ativos segue uma normalidade, apresentam falhas. Como MALZ (2000) bem observa, a importância da não normalidade tem motivado os gestores de risco a complementar medidas de risco padrão como o VaR, com outras formas de mensuração de risco. Há, cada vez mais, no mercado como um todo, um consenso em torno da

necessidade de se aperfeiçoar as técnicas de previsão e antecipação de eventos de stress. A crítica é justamente em relação a suposição de distribuição normal na modelagem dos retornos, em que se pressupõe uma distribuição simétrica e com caudas finitas. No entanto, as distribuições das mudanças nos preços dos ativos costumam apresentar caudas mais gordas que as previstas por uma distribuição normal fazendo com que o cálculo da probabilidade de um evento de stress tenha menos precisão justamente onde se faz mais necessário. Sendo assim, em situações de eventos extremos, o VaR pode não ser capaz de sinalizar a verdadeira magnitude do risco incorrido

MALZ (2000) também explica como analistas de mercado têm buscado entre dados macroeconômicos, indicadores relevantes que sirvam como sinalizadores de crises ou eventos de stress. Indicadores macroeconômicos tais quais saldo em conta corrente, crédito bancário, reservas internacionais, PIB e ganhos corporativos podem se demonstrar valiosos em sinalizar potenciais disfuncionalidades nos mercados. A crítica, no entanto, é que tais dados são divulgados de maneira defasada e não frequente, além de sinalizarem eventos de até 24 meses na frente, um espaço de tempo considerado curto para fins de negociação e gerenciamento de risco. Enquanto, por outro lado, preços de ativos financeiros são divulgadas diariamente. Muitos especialistas defendem que a partir da análise de preços de ativos financeiros, ou de informações implícitas nesses preços, é a melhor forma de obter informações de futuros eventos de stress.

Nesse contexto, a análise de informações implícitas em preços de ativos financeiros, como a volatilidade implícita nas opções, tem sido muito utilizada por operadores de mercado, onde muitos tem buscado maneiras de justificá-la.

BLACK, FISCHER, MYRON (1973) introduziram o estudo que originou a teoria de precificação de opções, demonstrando que o preço justo é baseado em determinadas variáveis, incluindo o preço do ativo subjacente, o preço do exercício da opção, tempo até a expiração do contrato, taxa livre de risco e a volatilidade implícita - que é justamente a

variável desconhecida que precisamos inferir dos preços observados das opções.

A volatilidade implícita é uma medida derivada dos preços das opções financeiras e pode ser encontrada ao aplicar a metodologia reversa ao modelo utilizado por Black Scholes. Como a função inversa não admite solução analítica explícita, devem-se utilizar métodos numéricos para o cálculo da volatilidade implícita. Tal medida reflete a percepção dos investidores em relação à volatilidade futura dos preços dos ativos subjacentes e surge na medida que opções são negociadas para que, entre outros motivos, participantes do mercado possam ajustar suas exposições e se proteger contra movimentos adversos de mercado.

Ademais, os preços das opções representam as expectativas agregadas do mercado para determinado momento. No momento que preços das opções de venda, com um preço de exercício distante do valor atual do ativo subjacente, estão significativamente elevados quando comparados a opções de compra para o mesmo exercício, é uma indicação de que o mercado está esperando por uma queda no preço desse ativo subjacente. Similarmente, se o mesmo ocorrer de maneira inversa, pode ser interpretado como uma expectativa de movimento de alta.

Podemos encontrar na literatura diversas publicações e estudos que buscam determinar qual é o estimador mais adequado para a previsão de volatilidade futura nos mercados, com os resultados se mostrando contraditórios.

CHRISTENSEN E PRABHALA (1998), defende como as expectativas de volatilidades implícitas de opções de índices em mercados eficientes devem fornecer uma previsão imparcial e eficiente da volatilidade futura, uma vez que incorporam todas as informações disponíveis no mercado. Para tal, foi examinado o mercado de opções OEX e o estudo foi caracterizado pela utilização de dados de volatilidade amostrados por um período mais longo, o que permitiu um aumento do poder estatístico e por

amostrarem séries de volatilidade implícita e realizada em uma frequência mais baixa (mensal), permitindo construir séries com dados não sobrepostos.

BATES (1991,2000), por exemplo, investigou se as opções de futuro de S&P-500 foram bons sinalizadores do crash ocorrido em outubro de 1987. Ele observou que durante o período analisado houve um aumento no prêmio de assimetria, medida que representa a diferença entre opções de compra (call) e de venda (put) com relação ao mesmo ativo, o que por sua vez indica uma demanda crescente por opções de venda em detrimento das de compra.

Da mesma forma, BHABRA, GONZALEZ, SUP & POWELL (1999) tentaram demonstrar se Traders de opção conseguiram prever a crise financeira na Coreia em 1997. Para isso, eles buscaram em um conjunto de opções de compra e venda de KOSPI200 Index, que inclui as 200 maiores empresas listadas na bolsa da Coreia, para buscar evidências de uma iminente crise. No entanto, a partir das análises, revelou-se que os participantes do mercado de opções de índices não foram capazes de prever inicialmente a crise coreana. Todavia, as volatilidades implícitas das opções de venda aumentaram significativamente à medida que a crise se intensificava sugerindo que os Traders reagiram a crise ao invés de prever o seu início, muito possivelmente em função de ser um mercado que havia acabado de iniciar suas operações quando a Coreia virou foco da crise Asiática.

Em contrapartida, CANINA E FIGLEWSKI (1993) utilizando uma abordagem de regressão para examinar o conteúdo preditivo das opções do índice S&P100, não encontrou virtualmente nenhuma relação entre a volatilidade implícita e a volatilidade realizada, demonstrando que a volatilidade histórica contém informação preditiva relevante além daquela contida na volatilidade implícita, devido a diferença temporal na obtenção dos dados como o horário de fechamento das opções sendo diferente das ações e a sobreposição da maturidade de opções.

Nas literaturas que tentam explicar essa relação, uma maneira para comprovar estatisticamente ligação entre volatilidade implícita em opções e eventos de stress nos mercados financeiros, é por meio da realização de testes de sinalização e causalidade para buscar evidências estatísticas.

O teste de sinalização busca identificar se a volatilidade implícita em opções apresenta um comportamento atípico antes da ocorrência de eventos de stress, na ideia de que, se ela se desvia substancialmente do comportamento histórico antes do evento de stress, pode ser considerado um bom sinalizador.

Já o teste de causalidade pode ser obtido através da abordagem estatística de Granger. Granger, C. W. (1969) propõe uma metodologia baseada na ideia de que se uma variável X tem efeito sob uma variável Y se a inclusão das informações passadas de X melhoram a previsão de Y em relação a um modelo que utiliza apenas informações de valores defasados de Y.

Para aplicá-lo, deve-se especificar um modelo utilizando suas formas autorregressiva e suas respectivas representações conjuntas que inclua eventos de stress e volatilidade implícita como variáveis dependentes. Com isso, após realizar o teste estatístico, devemos comparar os valores-p associados aos coeficientes do modelo e caso o coeficiente associado à volatilidade implícita for menor que um determinado nível de significância, podemos rejeitar a hipótese nula e constatar que há uma relação causal.

#### **4. Fonte de Dados e Metodologia**

Primeiro, serão calculados a volatilidade da carteira e o VaR Paramétrico da carteira teórica proposta com os dez ativos mais líquidos do índice Ibovespa durante as três crises definidas.

Em seguida, serão avaliados e interpretados alguns indicadores da economia real com foco na expectativa do mercado. Para isso, serão coletados dados de expectativa dos agentes econômicos do boletim Focus, um relatório semanal conduzido pelo Banco Central que compila projeções e expectativas de diversos economistas e instituições financeiras em relação a variáveis econômicas. Serão elas: taxa de juros, taxa de câmbio, crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e inflação.

Para investigarmos a capacidade dos indicadores em antecipar eventos de stress e a volatilidade realizada, a análise empírica torna-se imprescindível, e envolve a construção de modelos de regressão, onde a variável dependente é a medida de eventos de stress ou volatilidade, e as variáveis independentes os indicadores selecionados.

Com isso, conseguiremos a partir dos coeficientes da regressão analisar a direção e a magnitude das relações para que assim possamos chegar em uma conclusão de quanto da volatilidade é explicada pelos indicadores e quais deles melhores representam antecessores para os eventos de stress propostos. Além disso, teremos cuidados com questões de multicolinearidade e autocorrelação entre as variáveis.

Em seguida, tentaremos demonstrar o quanto que perdas na nossa carteira proposta durante os eventos de stress sugeridos, foram sinalizados por aumentos nas volatilidades implícitas nas opções de compra ou venda dos ativos. Nesse sentido, após a obtenção de dados históricos das opções, incluindo suas variáveis, iremos a partir do modelo de precificação Black&Scholes encontrar o valor da volatilidade que iguala o preço de mercado da opção ao preço teórico calculado pelo modelo.

Como aponta MALZ (2000), opções curtas demais podem gerar distorções no cálculo das volatilidades. Assim, vamos considerar apenas as séries que contam com 6 dias úteis ou mais até o vencimento. Além disso, opções mais dentro do dinheiro tendem a refletir de maneira mais condizente as expectativas dos investidores. Logo optaremos por isso. Serão utilizados como componentes da base de dados do estudo, as volatilidades implícitas das opções provenientes das ações preferenciais dos ativos selecionados para a carteira.

Calcularemos a correlação entre a volatilidade implícita das opções e as perdas que os ativos selecionados tiveram nos três eventos de stress. Utilizaremos métodos de correlação de Pearson para medir a intensidade e a direção entre as duas variáveis. Outrossim, analisaremos também, assim como BATES, como foi o comportamento do “skewness premium” nos períodos que antecederam os eventos de stress. Espera-se que um aumento significativo no ‘skewness premium’, indica que os investidores estão dispostos a pagar um prêmio substancial para proteção contra quedas abruptas no mercado.

## 5. Volatilidade e VaR nas crises

O foco no presente capítulo será o cálculo da volatilidade da carteira de ações proposta pela média móvel ponderada exponencialmente (EWMA), que dá mais peso aos eventos recentes. Paralelamente, também calcularemos o VaR paramétrico de cada posição da carteira teórica. Nossa carteira teórica foi composta pelos seguintes ativos: Vale, Petrobras, Itau, Bradesco, Ambev, B3, Banco do Brasil, JBS, Lojas Americanas e Usiminas.

### 5.1. Volatilidade e VaR na crise de 2008

Como dito anteriormente a volatilidade da carteira teórica foi calculada por meio do modelo EWMA, dando maior peso para eventos mais recentes. Nos gráficos abaixo é possível observar a volatilidade EWMA durante a crise de 2008 e o VaR paramétrico da carteira.

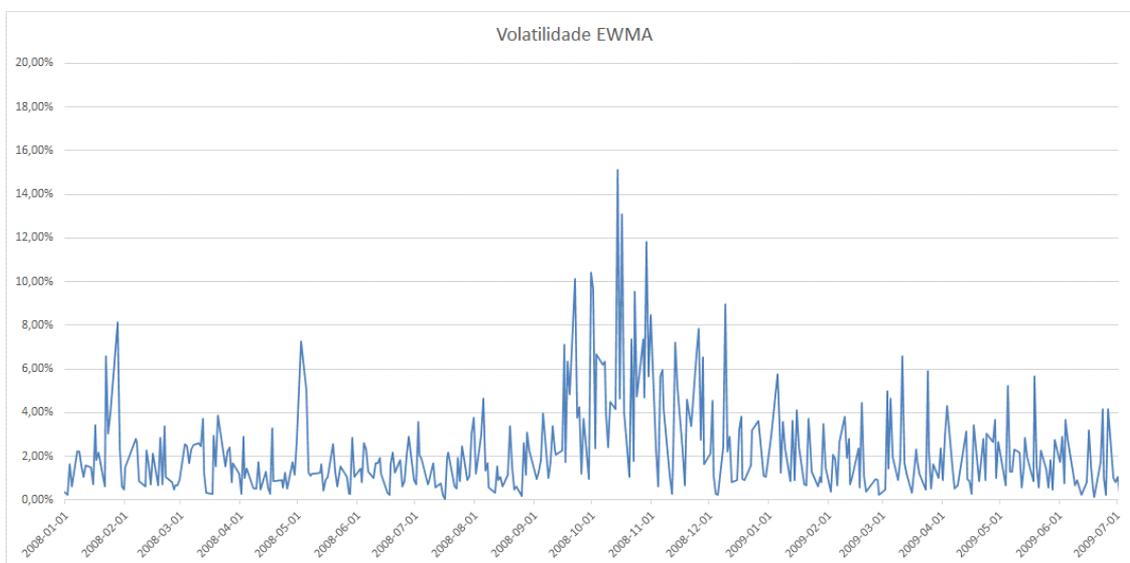
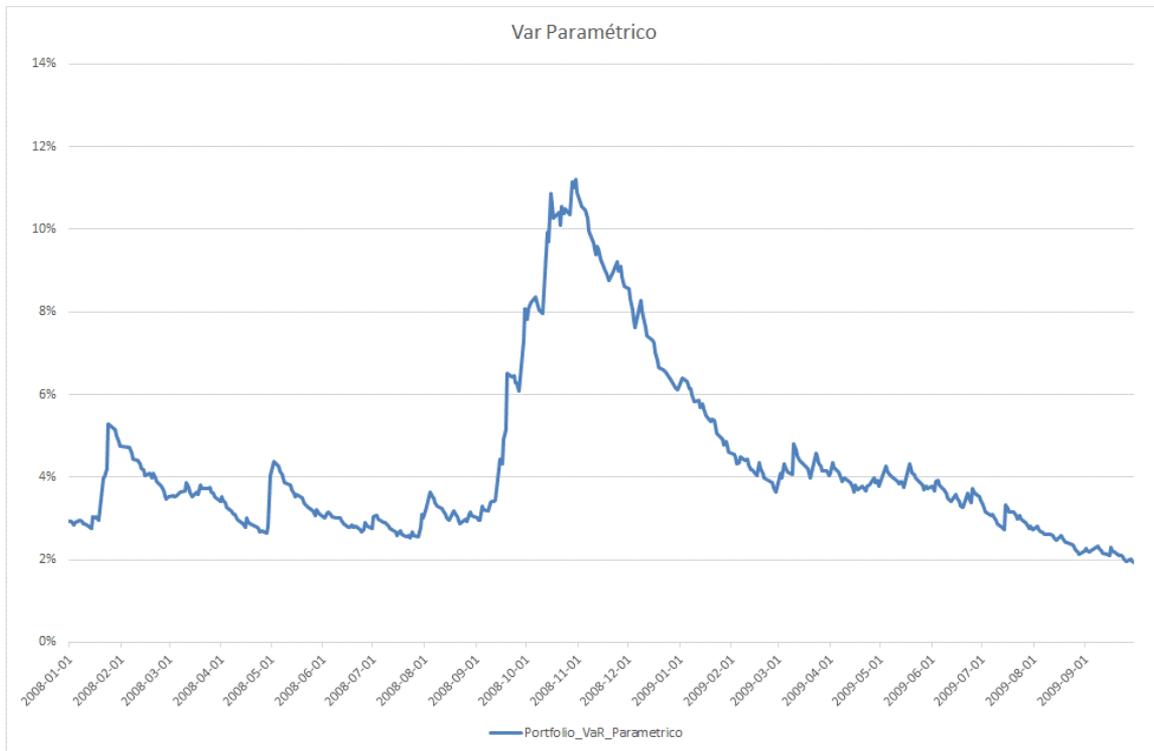


Figura 1. Volatilidade da carteira teórica na crise de 2008

Fonte: Elaboração própria

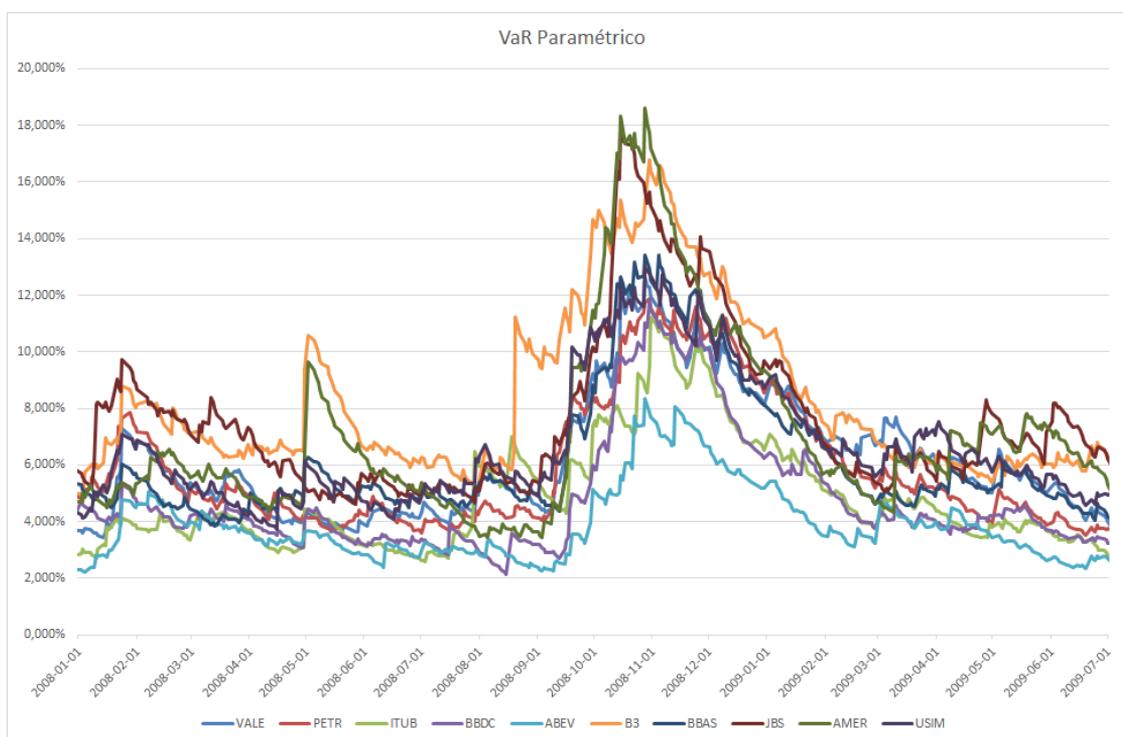
Durante o período analisado, a volatilidade andou em média entre 1% e 4%. Em outubro de 2008, no pico do estresse, a volatilidade do portfólio alcançou 15%.



**Figura 2. VaR Paramétrico da carteira teórica durante a crise de 2008**

**Fonte: Elaboração própria**

O VaR Paramétrico da carteira atingiu 11% no auge da crise.



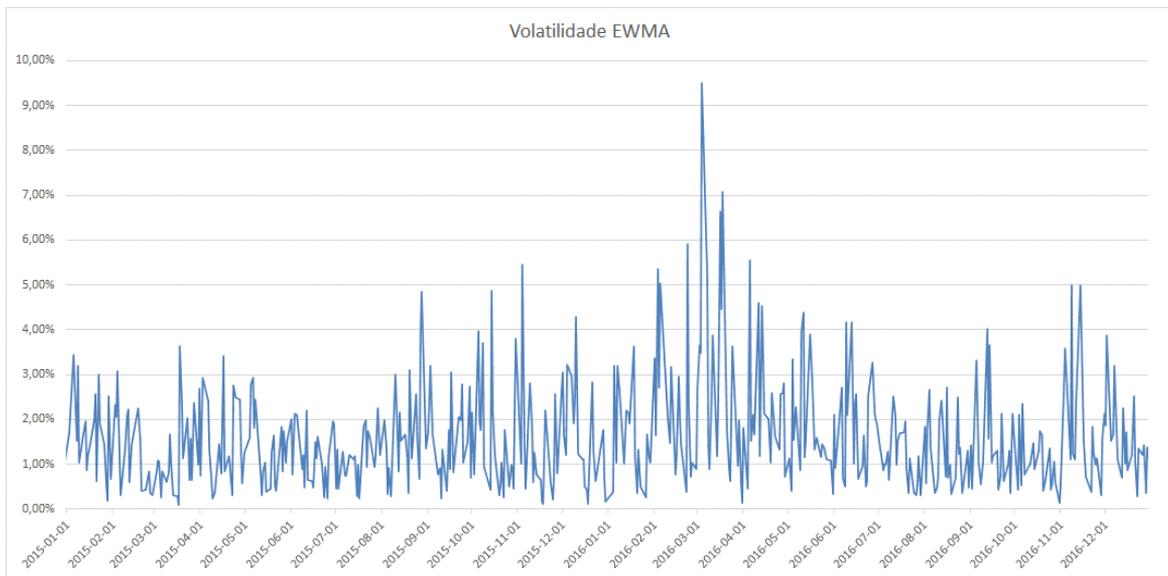
**Figura 3. VaR Paramétrico aberto por posição da carteira teórica na crise de 2008**

**Fonte: Elaboração própria**

O VaR das posições, individualmente, se manteve em média entre 2% e 10%, ou seja, as posições podiam perder algo entorno desse valor no dia seguinte ao que ele vai calculado. No pior momento da crise, as duas posições com o maior VaR foram Jbss3 e Amer3, batendo quase 18% de VaR em ambos os casos. As posições com o menor VaR no pico de estresse foram Abev3 e Itub3, com 8% e 11%, respectivamente.

## 5.2. Volatilidade e VaR na crise 2016

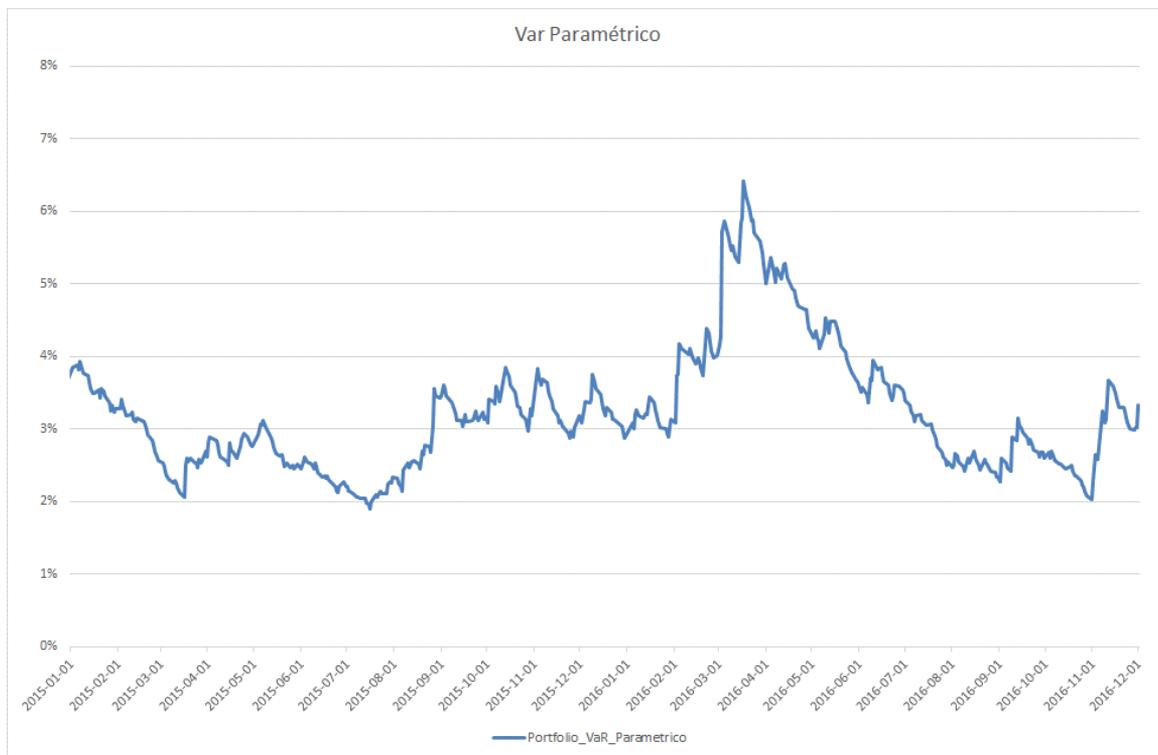
No gráficos abaixo é possível observar a volatilidade EWMA durante o governo Dilma e Temer. Além disso, está sendo calculado o VaR diário das posições da carteira teórica com 95% de confiança no mesmo período.



**Figura 4. Volatilidade da carteira teórica na crise de 2016**

Fonte: Elaboração própria

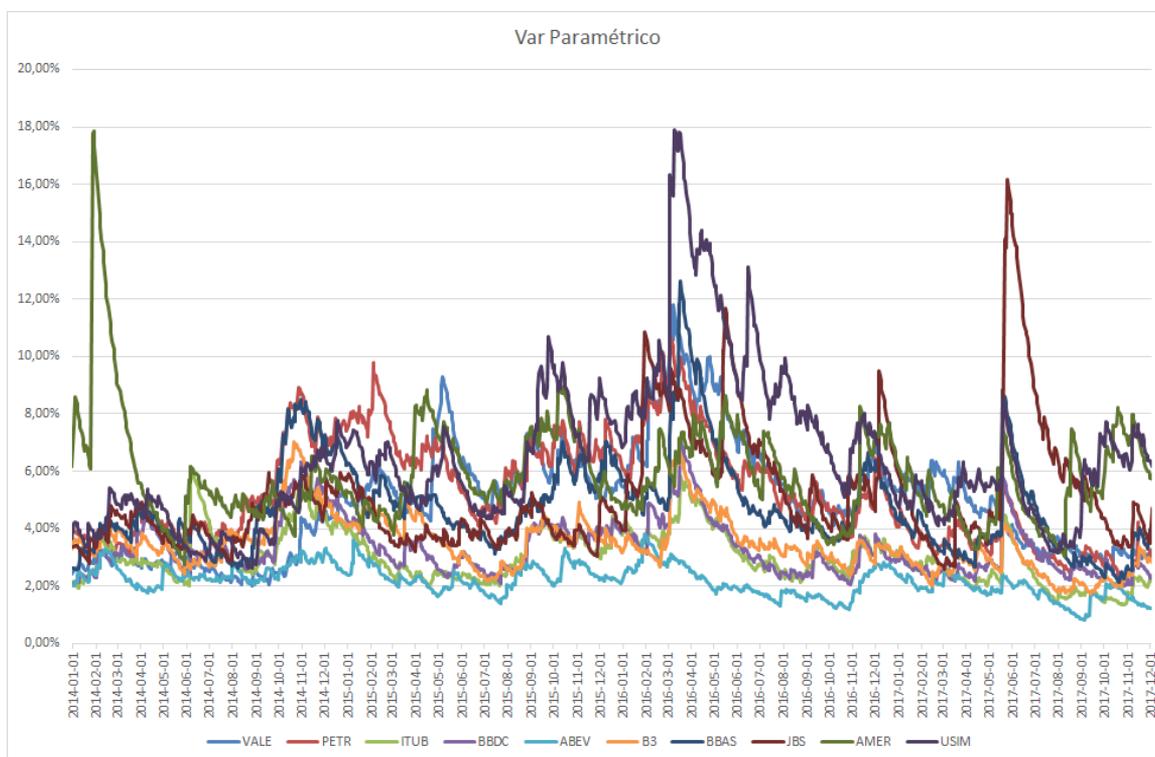
A volatilidade do portfólio variou na média entre 1% e 4%, parecido com a volatilidade média vista na crise de 2008. No pico de estresse na crise do governo Dilma, no início de 2016, a volatilidade chegou a 9%, abaixo dos 15% vistos na crise do Subprime.



**Figura 5. VaR Paramétrico da carteira teórica durante a crise de 2016**

**Fonte: Elaboração própria**

O VaR paramétrico do portfólio atingiu 6.42% no ápice da crise.



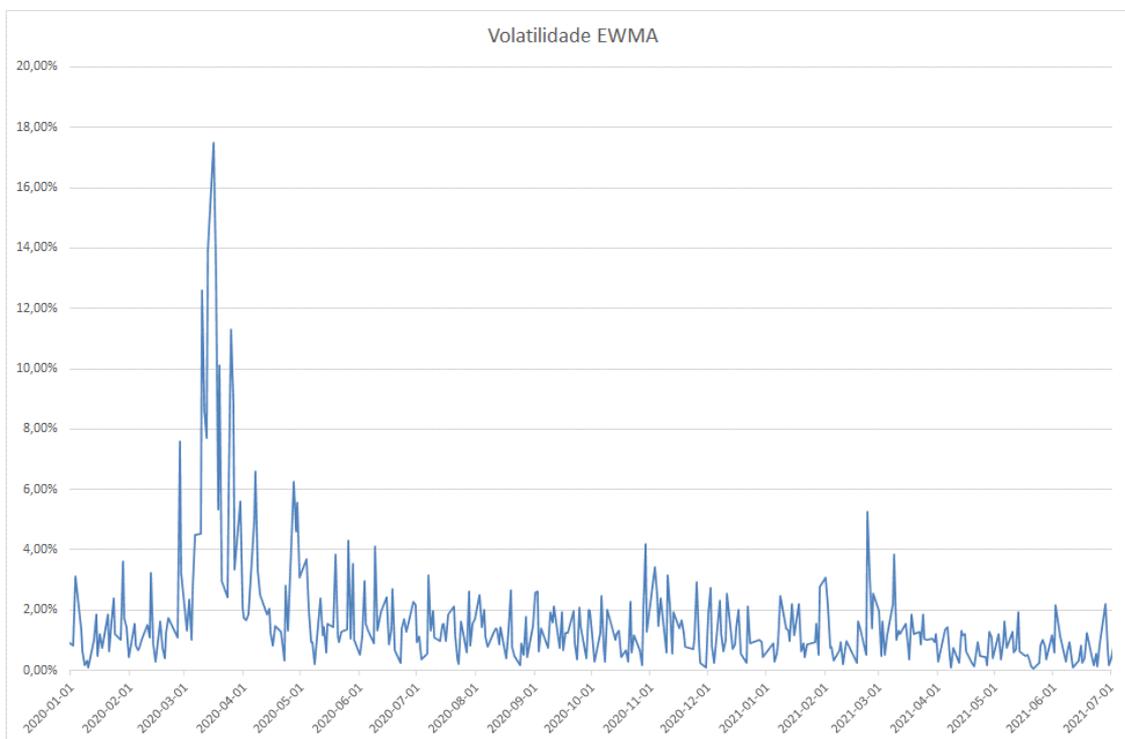
**Figura 6. VaR Paramétrico por posição da carteira teórica na crise de 2016**

Fonte: Elaboração própria

No gráfico acima, é possível observar o VaR das posições para um período mais amplo do que o gráfico anterior. Na média, o VaR das posições variou entre 2% e 10%, assim como na crise de 2008. Porém, é possível notar 3 desvios impactantes além dessa média. Primeiro, no início de 2014, em que o VaR de uma Amer3 atingiu quase 18%. Segundo, o auge da crise em março de 2016, onde a maioria dos ativos estavam com o VaR bem acima da média. Nesse momento, o ativo com maior VaR foi Usim5, chegando a 18%. Em contrapartida, o menor VaR foi o de Abev3, de 3%. Por fim, o terceiro desvio foi, assim como o primeiro, de um único ativo, no caso Jbss3, em maio de 2017, período do “Joesley Day”, em que o VaR de Jbss3 chegou a bater 16%.

### 5.3. Volatilidade e VaR na crise do Covid

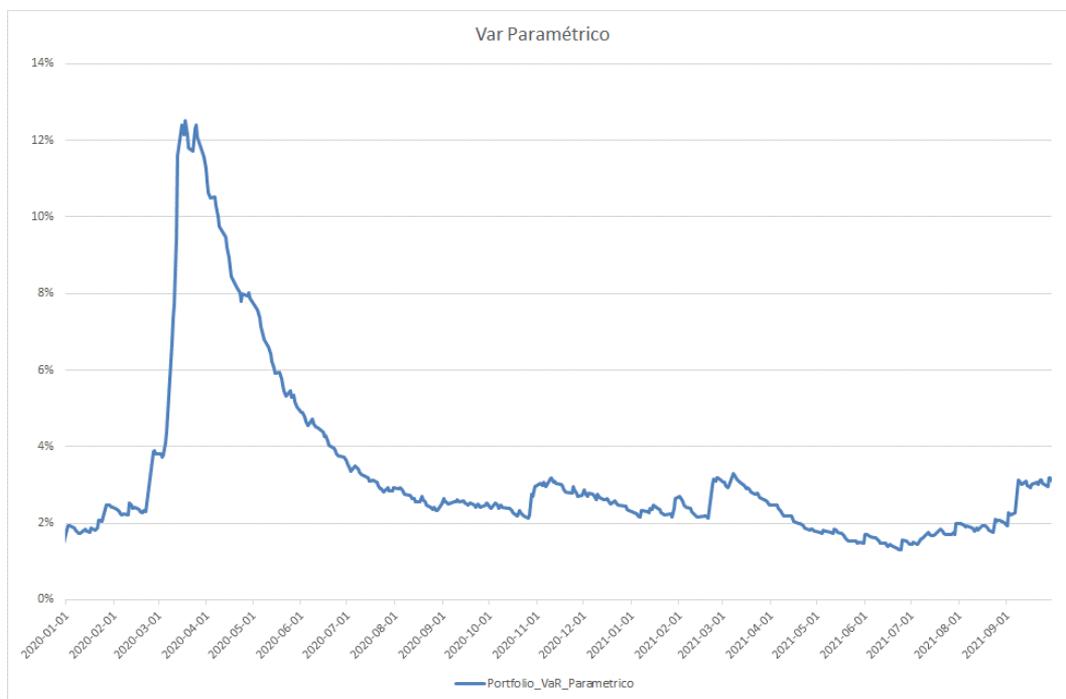
Nos próximos gráficos é possível observar a volatilidade EWMA e o VaR das posições individuais da carteira teórica durante a crise do Covid.



**Figura 7. Volatilidade da carteira teórica na crise da Covid**

**Fonte: Elaboração própria**

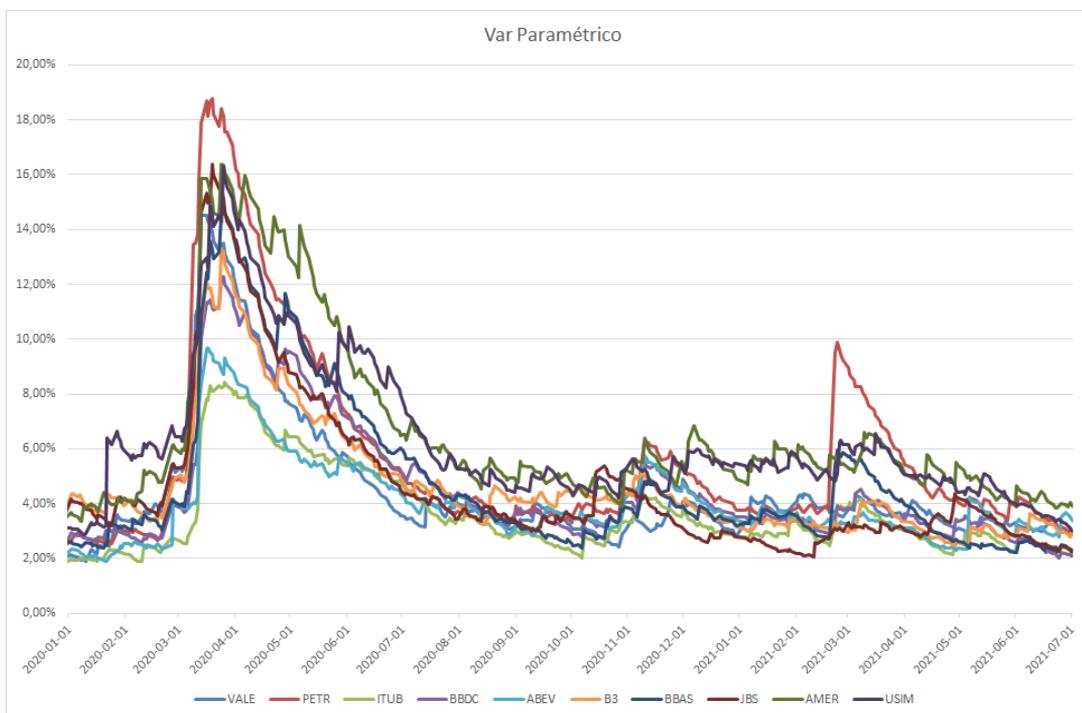
O gráfico da volatilidade em 2020 é muito parecido ao de 2008, no sentido de que a volatilidade varia entre 1% e 4% em condições normais de mercado, e tem um pico de estresse em que a volatilidade vai muito acima dessa média por um período curto. Nesse momento, ou seja, no pior momento da crise, a volatilidade do portfólio bateu quase 18%, acima dos 15% vistos em 2008.



**Figura 8. VaR Paramétrico da carteira teórica na crise da Covid**

**Fonte: Elaboração própria**

Como podemos ver acima, no auge da Covid o VaR paramétrico da carteira atingiu 12.2%.



**Figura 9. VaR Paramétrico por posição da carteira teórica na crise da Covid**

Fonte: Elaboração própria

No gráfico acima, é possível notar que o VaR das posições varia na média entre 2% e 6%, com um pico de estresse em março e abril, quando houve um aumento generalizado do risco das posições. A posição com o VaR mais alto no pior momento foi Petr3, que estava com a chance de perder 18% do valor no dia seguinte com 95% de confiança. Do outro lado, o menor VaR de um ativo no pior momento foi de Itub3, com pouco mais de 8% de perda máxima.

## **6. Indicadores do Relatório Focus**

Os medidores de expectativas das variáveis econômicas são de extrema importância tanto para o investidor, quanto para o Banco Central (BC). Neste capítulo será apresentado os indicadores da economia real que terão suas expectativas coletadas a partir do Boletim Focus, e que serão utilizados em nossos estudos para tentar demonstrar sua eficácia em sinalizar eventos de stress, explicados e contextualizados historicamente para os eventos escolhidos.

### **6.1. PIB**

A primeira variável projetada pelo mercado a ser analisada é o crescimento do PIB - indicador econômico que representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos em um determinado local, em um determinado período de tempo. A partir dele, busca-se identificar tendências para o desempenho futuro da economia. Pode ser quantificada de forma simplificada pela ótica da demanda da seguinte forma:

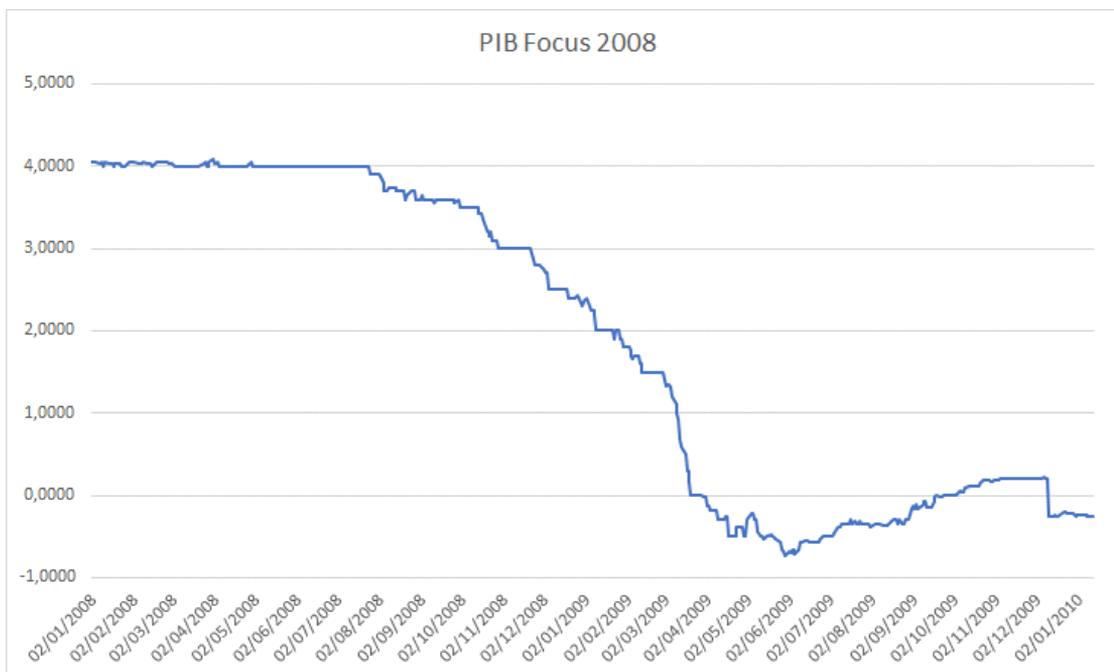
$$\text{PIB} = C + G + I + (X - M)$$

Onde, “C” representa o consumo das famílias e das empresas do setor privado, “G” é igual aos gastos do governo e das empresas públicas, “I” constitui os investimentos das famílias e do governo e “(X – M)” representa a balança comercial, que é calculada pela diferença entre exportações e importações.

#### **6.1.1. PIB em 2008**

O boletim Focus publica semanalmente a visão do mercado sobre as estimativas para o crescimento do PIB. Abaixo é possível ver as expectativas dos agentes econômicos,

nas respectivas datas, em relação a qual iria ser o PIB no final de 2009. Ou seja, as expectativas durante a crise do Subprime.



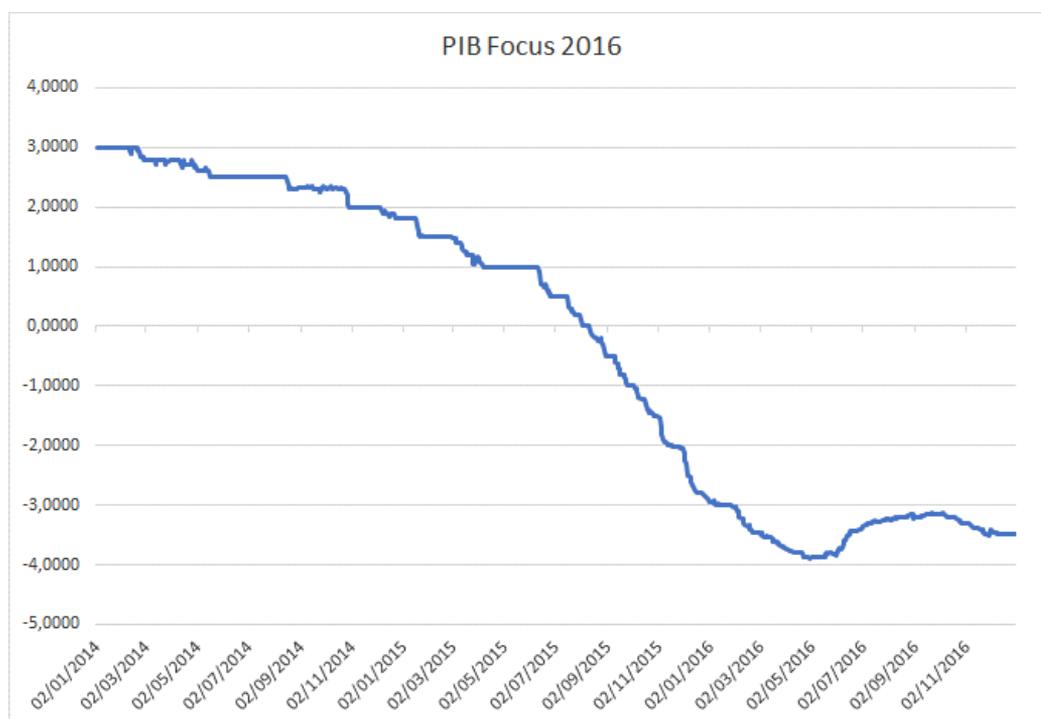
**Figura 10. Projeções Focus para o PIB de 2008**

**Fonte: Elaboração Própria**

Antes da crise, as expectativas rondavam os 4% de crescimento do PIB brasileiro em 2009. Com a crise imobiliária americana, as expectativas chegaram a bater em 0,7% de queda.

### **6.1.2. PIB em 2016**

Na crise do governo Dilma, as expectativas para o PIB ficaram bem abaixo das vistas em 2008, como é possível observar no gráfico abaixo.



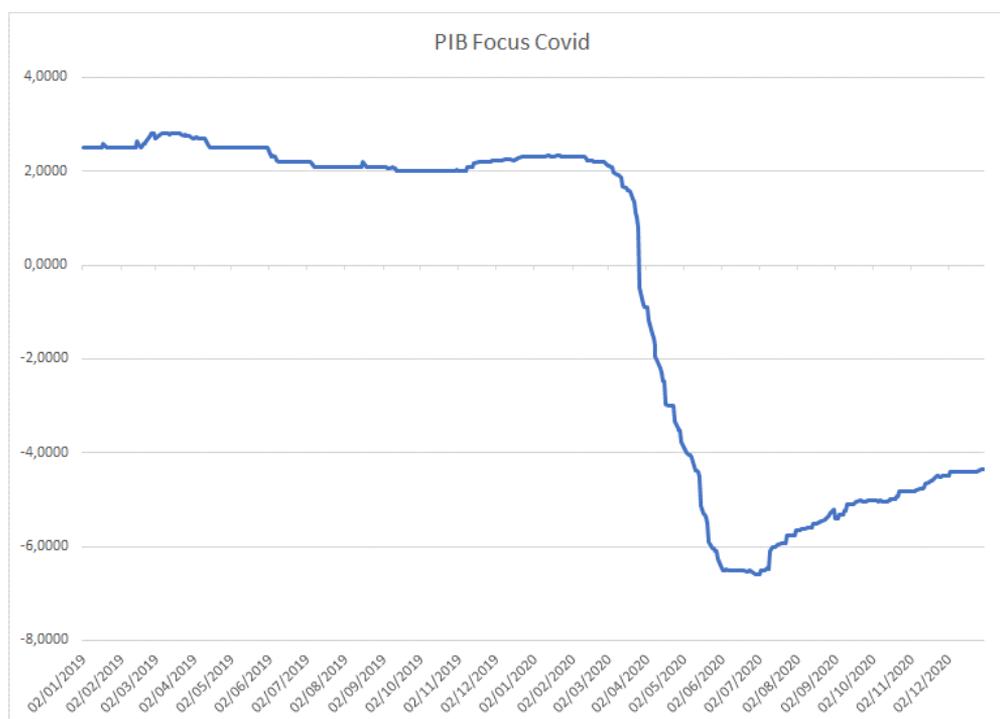
**Figura 11. Projeções Focus para o PIB de 2016**

Fonte: Elaboração Própria

Enquanto na crise do Subprime a menor estimativa bateu em 0,7% de queda do PIB, em 2016 os agentes estimavam uma retração de quase 4% do PIB no final do ano. Durante esse ano, as expectativas rondavam entre 3% e 4% de queda no PIB.

### **6.1.3. PIB no Covid**

Na crise do coronavírus, as estimativas para o PIB ficaram ainda menores com o choque de demanda. É possível visualizar abaixo as estimativas do mercado para o PIB durante o ano de 2020.



**Figura 12. Projeções Focus para o PIB de 2020**

Fonte: Elaboração Própria

As estimativas para o PIB de 2020 estavam em 2,3% em janeiro. Com o confinamento global, as expectativas do mercado para o Produto Interno Bruto bateram em 6,5% de queda no pior momento em julho. Houve uma leve melhora no final do ano, em que os agentes previam uma queda de 5,14%.

## 6.2. Expectativa Taxa de Juros

A segunda variável econômica projetada a ser analisada será a meta para taxa Selic estimada pelos agentes econômicos e abordada pelo relatório Focus. A taxa Selic representa os juros básicos da economia brasileira. Os movimentos da Selic influenciam

todas as taxas de juros praticadas no país. Por exemplo, quanto um banco cobra ao conceder um empréstimo, o que um investidor recebe ao realizar um investimento, entre outros.

A ideia é que com a diminuição da taxa Selic, o BC esteja estimulando a atividade economia porque o crédito fica mais barato e, portanto, as pessoas conseguem pegar empréstimos de forma menos custosa para financiar o seu negócio. Do outro lado, com o aumento do poder de compra da população, dado essa queda na taxa, os preços como um todo aumentam e, dessa forma, a inflação pode ser um problema. Por isso, o BC tem que definir sabiamente a taxa Selic levando em conta o momento em que a economia se encontra.

### 6.2.1. Expectativa Selic em 2008

Abaixo é possível visualizar o gráfico com as expectativas do mercado para a meta da Taxa Selic durante a crise de 2008, disponibilizadas pelos relatórios Focus.

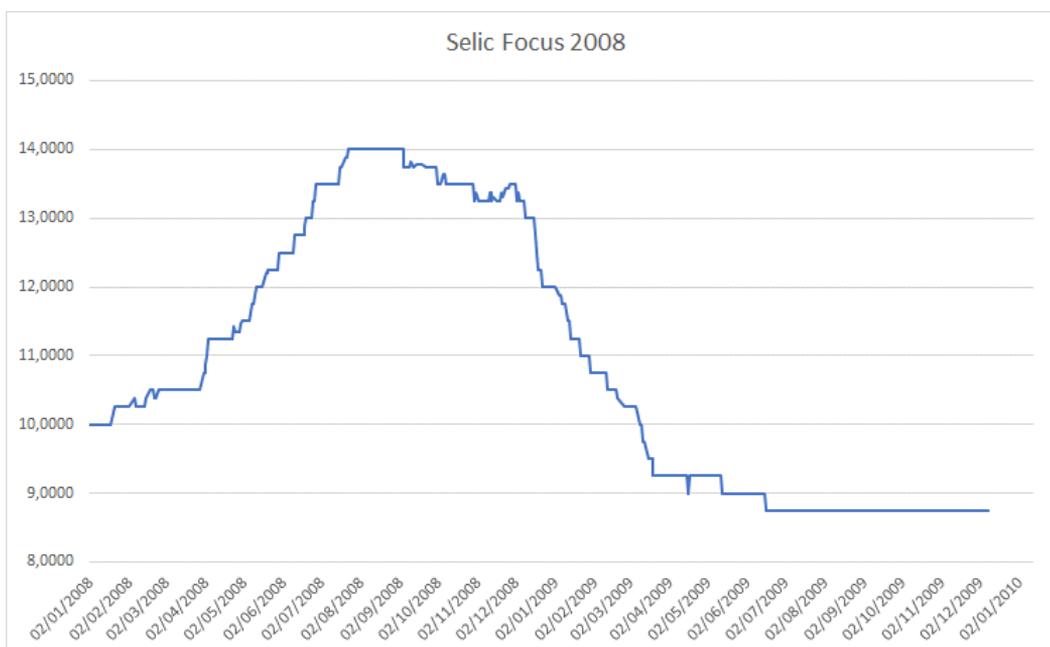


Figura 13. Projeções Focus para o Selic de 2008

Fonte: Elaboração Própria

É possível notar que, no início de 2008, as expectativas para a taxa subiram de 10,3% para 14%. No final do ano, as expectativas convergiram para uma queda na Taxa Selic, que pulou de 13,5% em novembro do mesmo ano para 8,8% em junho de 2009. Ou seja, no início da crise as expectativas subiram e depois de quase um ano as expectativas caíram de forma abrupta como é possível olhar no gráfico acima.

### 6.2.2. Expectativa Selic em 2016

No início da crise da Dilma, assim como em 2008, a tendência da previsão sobre a taxa de juros era de alta como é possível ver no gráfico abaixo.

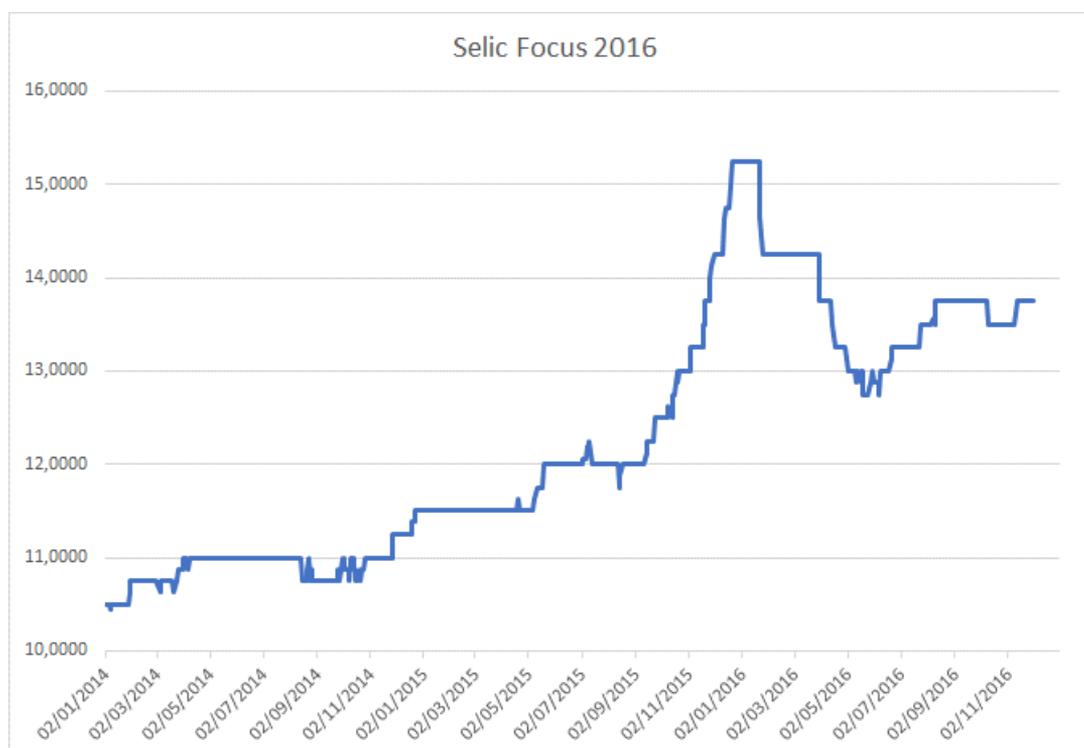


Figura 14. Projeções Focus para o Selic de 2016

Fonte: Elaboração Própria

No primeiro ano do gráfico, as expectativas para a taxa pularam de 11,5% para 15,3%. Com o arrefecimento da inflação na época, as expectativas mudaram de direção e começaram a cair até o patamar de 13,8% no final de 2016.

### 6.2.3. Expectativa Selic no Covid

Diferente das outras duas crises, em 2020 as expectativas para a taxa de juros durante o ano caíram.

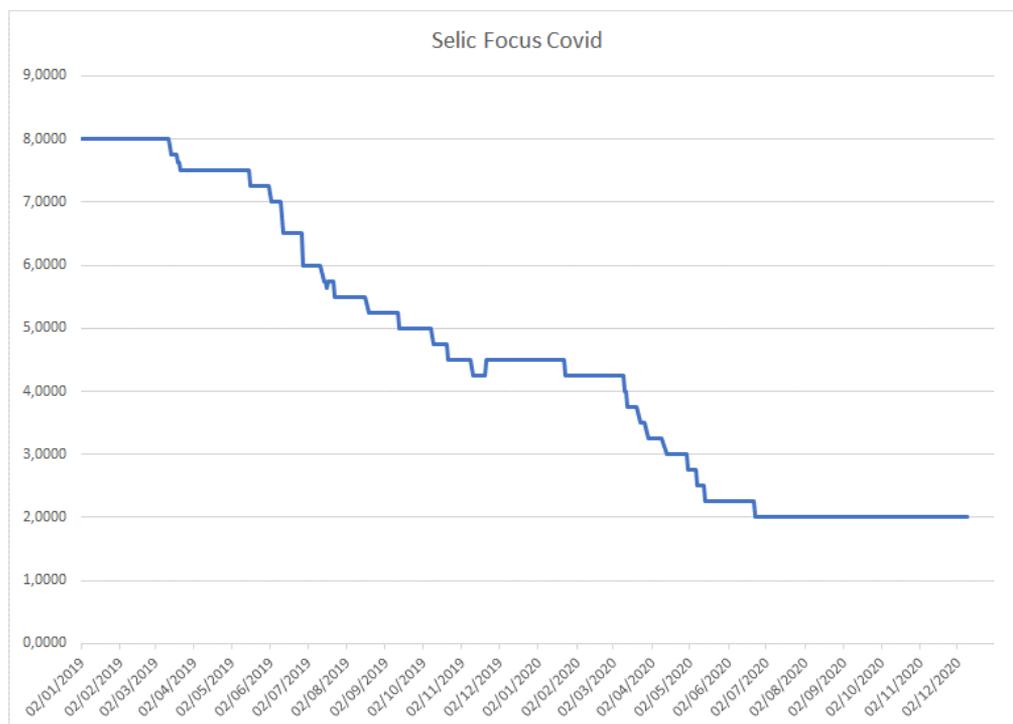


Figura 15. Projeções Focus para o Selic de 2020

Fonte: Elaboração Própria

No início de 2020, as expectativas eram para uma taxa de 4,1%, o que é bem abaixo da média histórica do Brasil. Com o confinamento em todo o país, as expectativas caíram drasticamente, como é possível visualizar no gráfico acima. A meta se manteve constante em 2% durante o segundo semestre.

### 6.3. Projeção Câmbio

A terceira variável da economia real a ser comparada com a carteira teórica é a expectativa para a taxa de câmbio. A taxa de câmbio representa o preço de uma moeda estrangeira em relação a moeda nacional. No caso, utilizaremos USD/BRL que compara do dólar americano em unidades da moeda brasileira.

#### 6.3.1. Expectativa câmbio 2008

É possível visualizar no gráfico abaixo as expectativas para o câmbio durante a crise do Subprime.

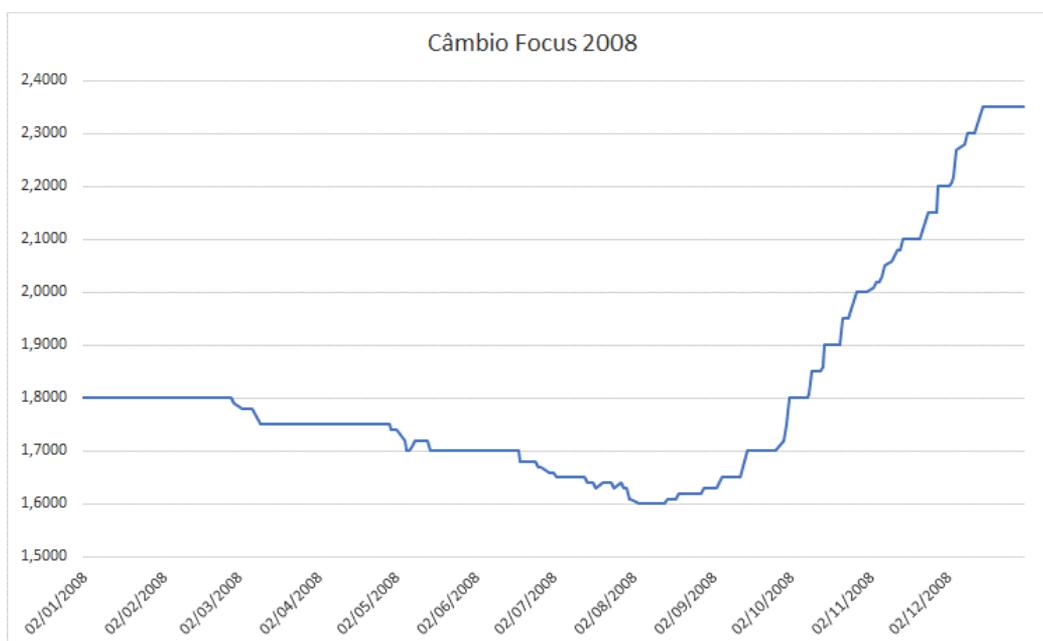


Figura 16. Projeções Focus para o Câmbio de 2008

Fonte: Elaboração Própria

Do início de 2008 até dezembro, a expectativa para o fechamento da paridade naquele ano aumentou em 35.3% , sendo esperado um câmbio de 2.3.

### 6.3.2. Expectativa câmbio 2016

Durante a crise do governo Dilma, as expectativas para alta do câmbio aumentaram ainda mais como é possível ver no gráfico abaixo.

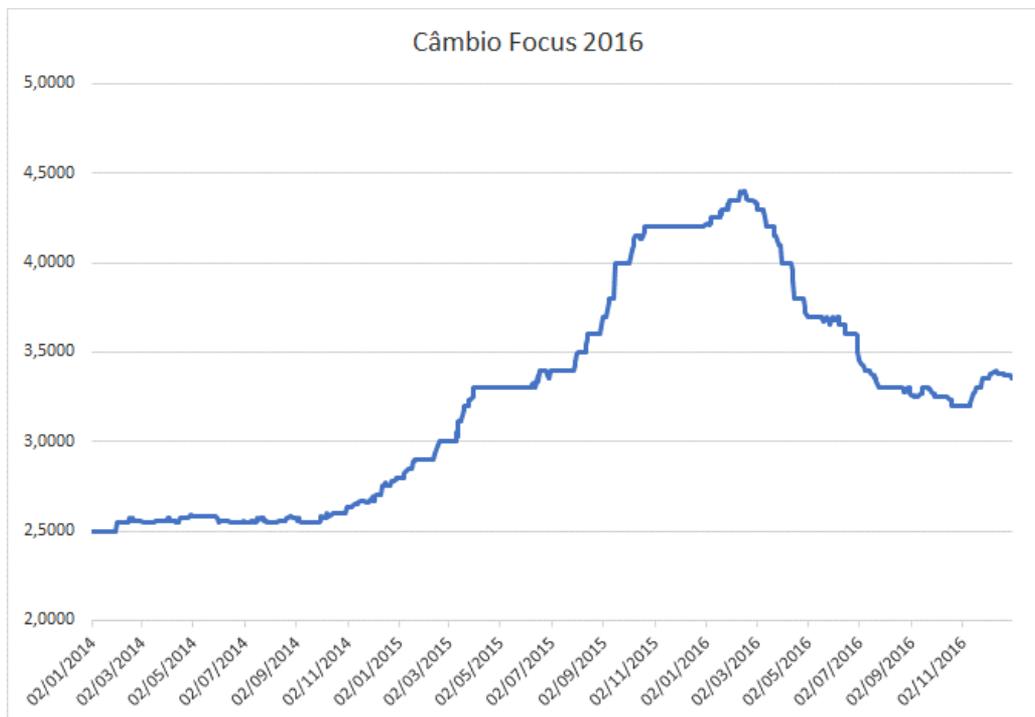


Figura 17. Projeções Focus para o Câmbio de 2016

Fonte: Elaboração Própria

No ápice da crise, em novembro de 2016, a taxa de câmbio esperada pelo boletim Focus alcançou 4.4. No entanto, com a oficialização do impeachment da então presidente Dilma, a expectativa para o fechamento do câmbio pelos agentes de mercado caiu 23% desde o auge para 3.35.

### 6.3.3. Expectativa câmbio na Covid

Em 2020, as expectativas para o câmbio atingiram seu maior nível na década, 5.50. O Brasil vinha de sucessivas quedas na taxa de juros desde o final do governo Dilma, o que fez o diferencial entre as taxas da estrutura a termo diminuir sucessivamente. Ao mesmo tempo, houve uma queda muito forte, porém, em menor proporção dos juros americanos para sustentar a economia durante a crise. Isso fez com que a relação entre as duas taxas fosse ao menor nível da história e por consequência fazendo com que o câmbio calculado depreciasse. Ou seja, a demanda pelo real ficou relativamente menor.

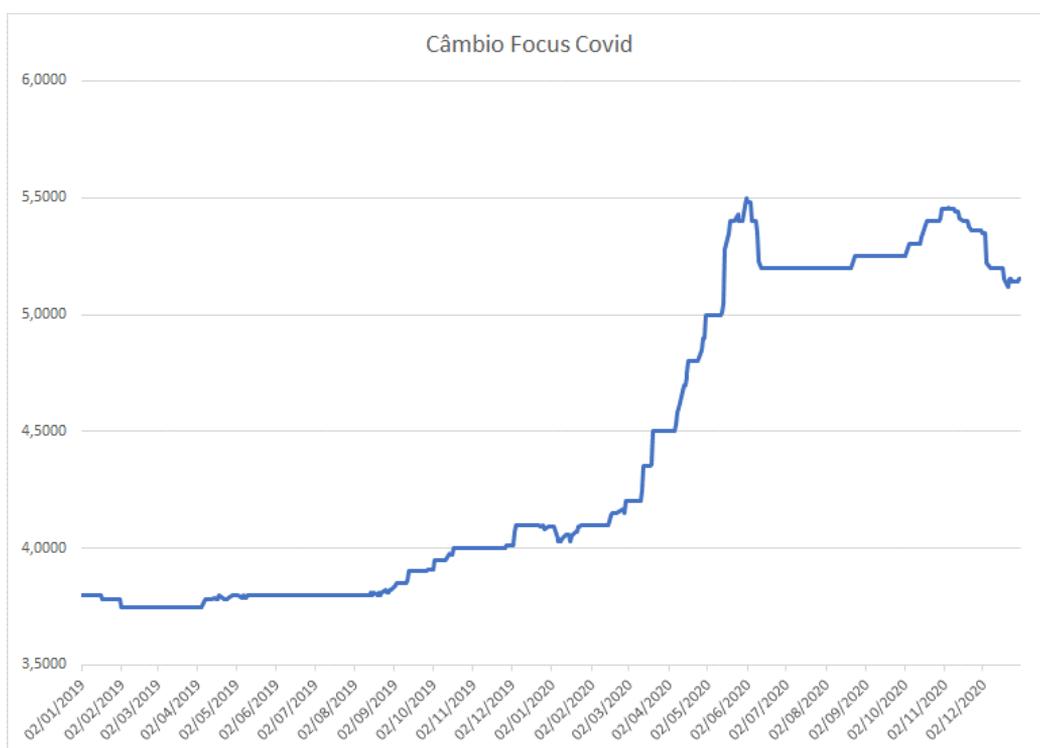


Figura 18. Projeções Focus para o Câmbio na Covid

Fonte: Elaboração Própria

## 6.4. Expectativa Inflação

O último fator é a expectativa de inflação. A inflação desempenha papel significativo nas tomadas de decisão dos agentes de mercado de modo que, quando há expectativas de alta inflacionária, os investidores tendem a ficar mais preocupados com a preservação de seu valor de compra.

### 6.4.1. Expectativa de Inflação 2008

Abaixo é possível observar a evolução das expectativas do IPCA para o ano de 2009, segundo o boletim Focus. Ou seja, são as expectativas que os agentes econômicos tinham, nas respectivas datas, de qual iria ser o IPCA no final de 2009.



Figura 19. Projeções Focus para a IPCA de 2008

Fonte: Elaboração Própria

A expectativa para o IPCA chega no pico em novembro de 2008, em que bateu 5,3% a.a. Tanto antes, quanto depois do auge da crise, o IPCA se mantinha em média entre 4,3.

#### 6.4.2. Expectativa de Inflação 2016

No gráfico abaixo, é mostrado a evolução das expectativas do IPCA para o ano de 2016, o qual foi o pior momento do governo Dilma.

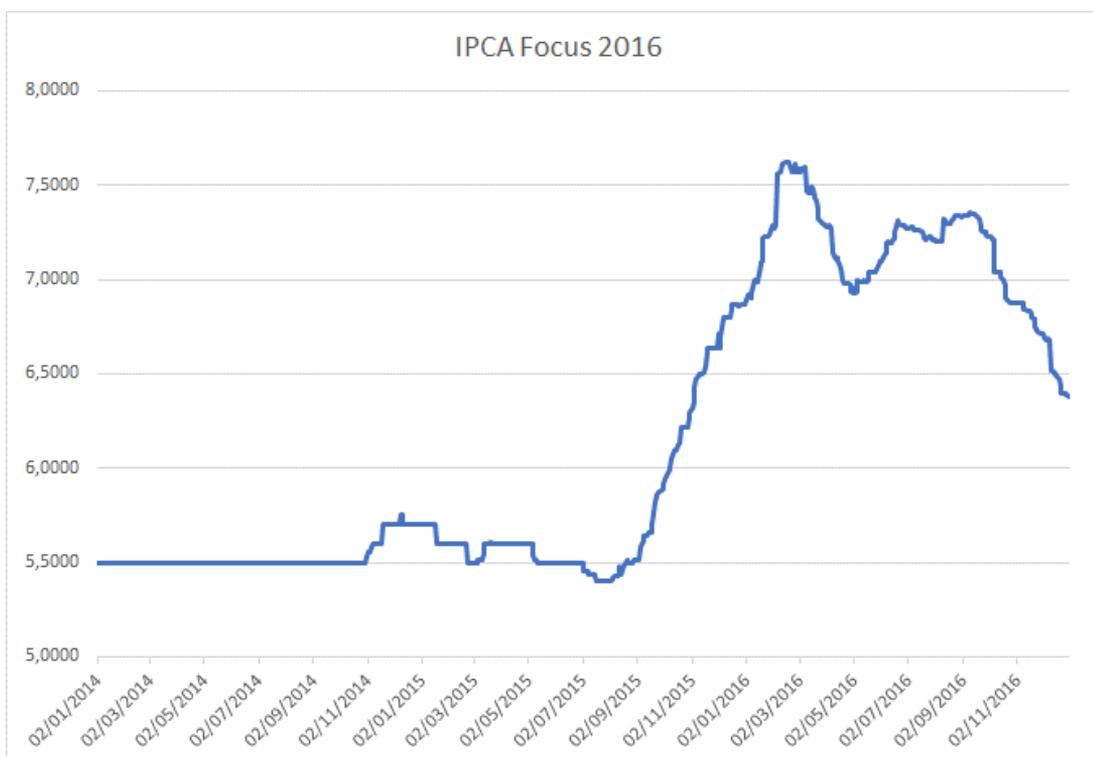


Figura 20. Projeções Focus para o IPCA de 2016

Fonte: Elaboração Própria

O IPCA saiu de 5,45% em julho de 2015 para 7,6%, na máxima, em Fevereiro de 2016. O mercado tinha a expectativa de que haveria um choque de oferta muito grande durante o ano. Com o impeachment do presidente as perspectivas mudaram e a houve uma inversão do movimento.

### 6.4.3. Expectativa de Inflação na Covid

Quanto a crise do coronavírus, houve um choque de demanda com a população dentro de casa. Portanto, diferente das outras duas crises, o IPCA caiu. Podemos observar isso no gráfico abaixo, que mostra as expectativas do mercado em relação ao IPCA no final de 2020.

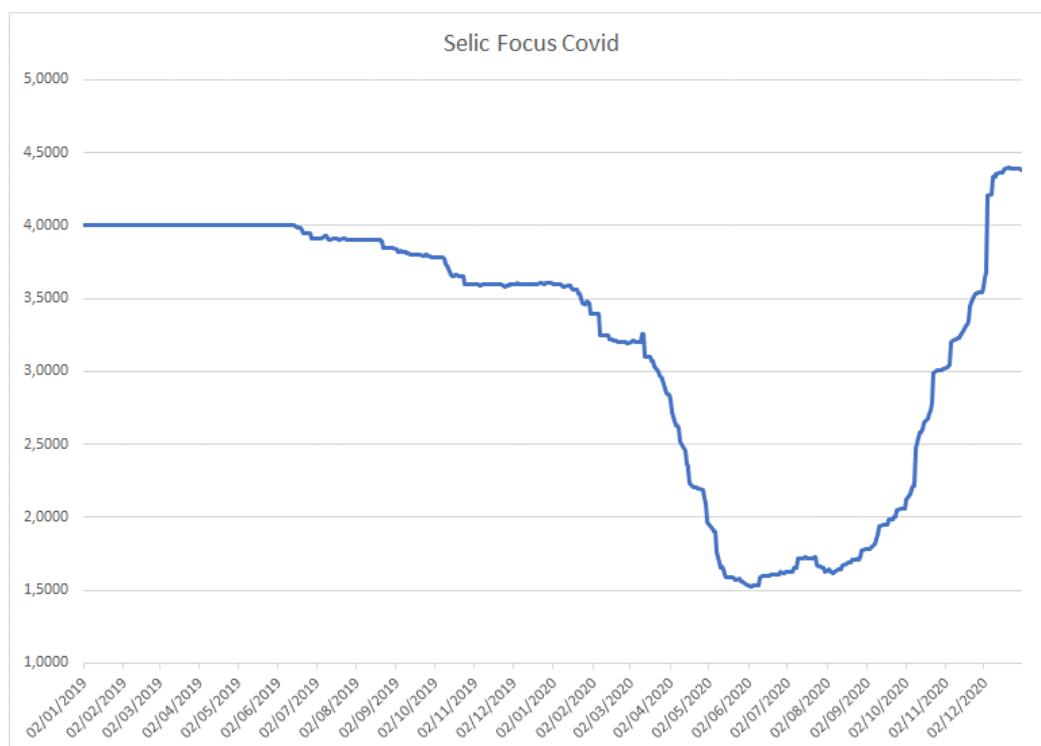


Figura 21. Projeções Focus para IPCA na Covid

Fonte: Elaboração Própria

No início do ano, as expectativas eram de um IPCA a 3,4%. Com a pandemia, o IPCA chegou a bater 1,6% em maio. No final do ano, as expectativas convergiram para 4,4% com o auxílio emergencial dado a população durante o ano, entre outros motivos.

## 7. Aplicação Metodológica

Neste capítulo iremos demonstrar como efetivamente aplicamos os métodos propostos nas variáveis de interesse. Realizaremos uma análise de regressão para examinar como as expectativas de inflação, meta da taxa Selic, taxa de câmbio e expectativas de crescimento do PIB influenciaram a volatilidade realizada da nossa carteira teórica.

A seguinte equação será usada:

$$\text{Volatilidade} = B_0 + B_1 * \text{IPCA} + B_2 * \text{Meta Selic} + B_3 * \text{Câmbio} + B_4 * \text{PIB} + u$$

A ideia é entender como a volatilidade é afetada pelas mudanças nas expectativas com relação a cada uma das variáveis econômicas, mantendo todos os outros fatores que afetam a volatilidade constante. Importante notar também que, embora estejamos incluindo tais variáveis explicativas, sempre haverá fatores não observados, representados pelo termo de erro ('u'). Estaremos supondo também que não há multicolinearidade perfeita entre as variáveis independentes, o que significa que nenhuma é uma constante e não há relação exata entre elas, e também que os fatores não observados no termo de erro não estão correlacionados com as variáveis explicativas. No entanto, precisa-se destacar que essa última suposição pode não ser válida na realidade onde, por exemplo, um fator como a ansiedade dos investidores, que está relacionado com as expectativas de crescimento do PIB, certamente se encontra no termo de erro.

## 7.1. Regressões Crise 2008

Abaixo é possível observar a regressão da volatilidade nas variáveis econômicas vistas durante a crise de 2008.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	EWMA Avg		R-squared:	0.426		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.421		
Method:	Least Squares		F-statistic:	85.77		
Date:	Sat, 18 Nov 2023		Prob (F-statistic):	1.79e-54		
Time:	17:27:05		Log-Likelihood:	-583.84		
No. Observations:	468		AIC:	1178.		
Df Residuals:	463		BIC:	1198.		
Df Model:	4					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
IPCA	1.0345	0.376	2.748	0.006	0.295	1.774
Selic	0.2117	0.092	2.305	0.022	0.031	0.392
Cambio	1.6037	0.215	7.458	0.000	1.181	2.026
PIB	-0.0595	0.058	-1.027	0.305	-0.173	0.054
Intercept	-8.0335	0.880	-9.133	0.000	-9.762	-6.305
Omnibus:	123.384	Durbin-Watson:	0.013			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	269.181			
Skew:	1.384	Prob(JB):	3.53e-59			
Kurtosis:	5.479	Cond. No.	296.			

Figura 22. Regressão na volatilidade durante a crise de 2008  
Fonte: Elaboração Própria

Foram 495 observações com um R-Quadrado de 0,42. Este é conhecido como coeficiente de determinação e está sempre entre 0 e 1. Ele representa a proporção da variabilidade na variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de zero, há uma indicação de um ajuste ruim da reta de MQO, ou seja, muito pouco da variação da variável dependente esperada é capturada pela variação na variável dependente estimada. Nesse caso, é possível ver que as variáveis da economia real na equação explicam 42,6% da variação na volatilidade nessa

amostra de 495 dias. Isso significa que 58,4% das variações na volatilidade ficam sem explicação.

Analisando o teste F de significância global, onde buscamos testar se, pelo menos, uma das variáveis independentes tem um efeito significativo na variável dependente.

As hipóteses do teste F da significância global são as seguintes:

Hipótese nula: O ajuste do modelo somente com o intercepto e seu modelo são iguais, isto é, nenhuma das variáveis independentes tem efeito significativo na variável dependente.

Hipótese alternativa: Pelo menos um dos coeficientes de inclinação das variáveis independentes é diferente de zero.

No caso, vemos que o valor-p para o teste F de teste de significância global é menor que seu nível de significância, logo podemos rejeitar a hipótese nula e concluir que o modelo proporciona um ajuste melhor do que o modelo somente com o intercepto.

As conclusões principais foram quatro. Primeiro, de que se as previsões do IPCA aumentassem 1p.p., a volatilidade aumentaria em 1,03%. Segundo, um aumento de 1p.p. na expectativa da Meta Selic faria com que a volatilidade aumentasse em 0,22%. Além disso, de que um aumento de 1p.p. na cotação do câmbio, faria com que a volatilidade aumentasse em 1,6%. Por último, de que um aumento de 1 p.p. no PIB traria uma redução de -0,06% na volatilidade.

Ao fazer o teste de hipótese para as variáveis B1, B2, B3 e B4, afim de avaliar sua significância estatística a partir da rejeição ou não da hipótese nula, chegamos em conclusões distintas. Vemos que, ao testar para IPCA, Selic e

Cambio, se rejeita a hipótese nula ao nível de significância de 5%, indicando que eles têm impacto estatisticamente significativo na variável dependente. Isso acontece porque o p-valor associado aos coeficientes é menor do que 0.05 (grau de significância), ou seja, podemos garantir a significância estatística. Para o PIB, não se pode rejeitar a hipótese nula ao nível de significância de 5%, dado que o módulo das respectivas estatísticas-t são menores que 1,645. Por exemplo, a estatística t do PIB em nossa regressão é -1,02, onde encontramos por meio da divisão do coeficiente pelo desvio padrão e, portanto, condição suficiente para indicar que o coeficiente do PIB pode não ser estatisticamente significativo.

## **7.2. Regressões Crise Impeachment**

Abaixo é possível visualizar a regressão das variáveis estimadas pelo Focus na volatilidade durante o período final do governo Dilma.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	EWMA Avg		R-squared:	0.613		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.609		
Method:	Least Squares		F-statistic:	176.0		
Date:	Sat, 18 Nov 2023		Prob (F-statistic):	3.10e-90		
Time:	18:01:19		Log-Likelihood:	-48.087		
No. Observations:	450		AIC:	106.2		
Df Residuals:	445		BIC:	126.7		
Df Model:	4					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
IPCA	0.3124	0.056	5.589	0.000	0.203	0.422
Selic	-0.3103	0.027	-11.298	0.000	-0.364	-0.256
Cambio	0.7961	0.040	19.979	0.000	0.718	0.874
PIB	-0.0677	0.022	-3.128	0.002	-0.110	-0.025
Intercept	0.5944	0.351	1.696	0.091	-0.095	1.283
Omnibus:		36.911	Durbin-Watson:		0.056	
Prob(Omnibus):		0.000	Jarque-Bera (JB):		44.761	
Skew:		0.690	Prob(JB):		1.91e-10	
Kurtosis:		3.694	Cond. No.		422.	

Figura 23. Regressão na volatilidade durante a crise de 2016  
Fonte: Elaboração Própria

Foram 450 observações, em que foi achado um R – Quadrado de 0,61, ou seja, as variáveis da economia real explicam 61% das variações na volatilidade, o que é acima dos 42% vistos em 2008.

Ao fazer um teste de hipótese para cada coeficiente, é possível inferir que se rejeita a hipótese nula ao nível de significância de 5% para todos. Isso acontece porque o modulo das estatísticas-t são maiores que o valor crítico do teste-t em todos os casos, indicando que são estatisticamente significativos.

Ademais, a estatística F sugere fortemente a rejeição da hipótese nula de que todos os coeficientes de inclinação das variáveis independentes são iguais a zero.

Vemos que para cada aumento de 1p.p. no IPCA, é esperado um aumento de 0,3% na volatilidade da carteira. Com relação a Selic, para cada aumento de 1p.p. na taxa, espera-se uma redução de -0,3% na volatilidade estimada. Além disso, se a projeção dos agentes econômicos para o Câmbio aumentasse em 1p.p., a volatilidade aumentaria 0,79%. Por último, se a expectativa Focus para o PIB aumentasse em 1p.p., a volatilidade diminuiria -0,06%.

### 7.3. Regressões Covid

Abaixo é possível visualizar a regressão das variáveis da economia real na volatilidade durante o ano de 2020

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	EWMA Avg	R-squared:	0.252			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.246			
Method:	Least Squares	F-statistic:	39.66			
Date:	Sat, 18 Nov 2023	Prob (F-statistic):	1.25e-28			
Time:	18:04:44	Log-Likelihood:	-710.14			
No. Observations:	475	AIC:	1430.			
Df Residuals:	470	BIC:	1451.			
Df Model:	4					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
-----						
IPCA	-1.1081	0.131	-8.485	0.000	-1.365	-0.851
Selic	0.1554	0.065	2.408	0.016	0.029	0.282
Cambio	4.0324	0.456	8.834	0.000	3.135	4.929
PIB	0.8526	0.076	11.201	0.000	0.703	1.002
Intercept	-12.9793	2.078	-6.246	0.000	-17.062	-8.896
=====						
Omnibus:	268.596	Durbin-Watson:	0.028			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	1810.434			
Skew:	2.450	Prob(JB):	0.00			
Kurtosis:	11.214	Cond. No.	308.			
=====						

Figura 24. Regressão na volatilidade durante a crise da Covid

Fonte: Elaboração Própria

Foram 475 dias observados e um R – Quadrado de 0,25. Ou seja, 25% das variações na volatilidade são captadas pelas variáveis do modelo. O que é abaixo das crises de 2008 e 2016, não podendo ser considerado muito satisfatório.

Ao fazer o teste da hipótese nula dos coeficientes, rejeitamos a hipótese nula ao nível de significância de 5% para todos os coeficientes. A estatística F também sugere que pelo menos uma das variáveis independentes é estatisticamente significativa para explicar a variabilidade na variável dependente.

Os coeficientes encontrados foram de -1,1% para o IPCA, 0,15% para a Selic, 4% para o Câmbio, e 0,85% para o PIB. Nesse caso, o mais impactante foi o coeficiente associado a taxa de câmbio. O primeiro, mostra que um aumento de 1p.p. no índice de inflação, faz a volatilidade reduzir em -1,1%. O segundo, mostra que um aumento de 1p.p. na expectativa para a taxa Selic, aumenta ligeiramente a volatilidade em 0,15%. Para o câmbio, de 1p.p. no valor esperado aumenta em 4% a volatilidade e, por fim, um aumento de 1p.p. no PIB aumenta a volatilidade da carteira proposta em 0.85%.

## 8. Volatilidade Implícita nas Opções

Neste capítulo apresentaremos as características das opções selecionadas, das quais serão cuidadosamente selecionadas com base em critérios de liquidez e vencimento. Explicaremos também os cálculos realizados para estimar a volatilidade implícita nas opções selecionadas.

Para calcularmos a volatilidade implícita histórica das opções dos ativos em nosso portfólio, precisaremos: a) preço do ativo objeto na data em questão ( $S$ ); b) strike de exercício da opção ( $K$ ), no caso o preço pelo qual a opção estava dando o direito a ser exercido; c) número de dias úteis até o vencimento ( $t$ ); d) Taxa CDI Anual ( $R_f$ ), taxa composta e contínua utilizada como uma estimativa para a taxa de juros sem risco; e) prêmio da opção de compra ( $C$ ), valor do último negócio da opção expresso em reais.

O modelo de Black&Scholes será aplicado para estimar a volatilidade, conhecida como desvio-padrão implícito (ISD). Na fórmula, a volatilidade é um parâmetro que não é diretamente observável, no entanto, conhecendo  $S$ ,  $K$ ,  $t$ ,  $R_f$  e o preço da opção no mercado, é possível calcular um único ISD que satisfaça a fórmula de Black&Scholes. Portanto, utilizaremos o método de Newton-Raphson para encontrar a volatilidade implícita, onde encontraremos a raiz da equação da diferença entre o preço observado e o preço teórico calculado pela fórmula B&S, que é justamente a volatilidade implícita desejada. Todas as séries históricas com dados diários foram coletadas direto do site da B3.

### **8.1. Crise 2008 x Vol. Implícita**

Buscamos informações históricas referentes a opções de compra e de venda para Vale e Petrobras, duas empresas com maiores volumes de negociação em nossa carteira, em momentos que antecederam o auge do drawdown visto nos preços dos ativos durante a crise.

Para encontrar a volatilidade implícita, a partir da fórmula de Black&Scholes calculamos o preço das opções, e utilizamos o método de Newton-Raphson para encontrar a volatilidade implícita que torna o preço teórico igual ao preço observado no mercado.

Para opção de compra Petrobras, utilizamos o ticker 'PETRL20', negociado entre as datas do dia 2008/10/15 e 2008/12/15. Temos uma correlação negativa de -0.3 entre a volatilidade implícita da opção e o preço do ativo objeto, e uma correlação positiva de 0.78 entre a série de volatilidade implícita e o var da posição na carteira. O critério de escolha foi o volume total negociado e o período que antecedeu o pior momento da crise. Além disso, optamos por opções mais dentro do dinheiro pois, como aponta MALZ (2000), opções mais dentro do dinheiro tendem a refletir de maneira mais condizente as expectativas dos investidores.

Para Vale, utilizamos o ticker 'VALEL28', negociado entre as datas do dia 2008/10/13 e 2008/12/15 seguindo o mesmo critério de escolha. Temos uma correlação negativa de -0.44, sugerindo uma relação inversa moderada, e uma correlação positiva de 0.38% entre a volatilidade implícita e o var da posição na carteira.

## 8.2. Correlação Crise 2016 x Vol. Implícita

Para a Crise de 2016, buscamos informações referentes a opções de três ativos.

Para Petrobras, utilizamos o ticker 'PETRL20', negociado entre as datas do dia 2016/03/16 e 2016/05/13, com preço de exercício de 7.6, isto é, opção fora do dinheiro. Temos uma correlação negativa de -0.73 entre a volatilidade implícita da opção.

Em Vale, o ticker da opção de venda foi VALEN35, com vencimento para 16/02/2016 e strike de 9.52, negociado durante o período que antecedeu a queda nas ações da mineradora em quase 50%. Durante o período de negociação se manteve OTM – preço do ativo subjacente acima do preço de exercício da opção de venda. Foi levado em consideração opções com menores diferenças entre bid-ask, para garantir maior precisão nos cálculos. Temos uma correlação negativa de -0.64 entre a série de volatilidade implícita e o preço de Vale.

Buscamos também uma call, com strike de 13, estando também fora do dinheiro, e para o mesmo vencimento – 16/02/2015. Ao compararmos a volatilidade implícita de ambas vemos que houve um aumento na assimetria de volatilidade, onde houve uma maior demanda pela put OTM refletindo uma demanda por proteção durante o período.

### **8.3. Correlação Covid x Vol. Implícita**

Durante a crise da Covid, as opções de compra e venda de Petrobras selecionadas foram PETR182 e PETRQ182, respectivamente, ambas com o mesmo vencimento - 05/19/2020 - e mesmo preço de exercício, 18,22.

A partir do método proposto, extraímos a volatilidade implícita de cada série e podemos perceber que houve um aumento no volatility skewness, diferença entre o preço das calls e puts.

Um aumento no volatility skewness indica uma mudança nas expectativas de mercado em relação a volatilidade futura, com implicações na interpretação de risco por diferentes razões.

O aumento na volatilidade implícita das opções de venda em comparação com as opções de compra sugere que os investidores estão mais preocupados com a possibilidade de queda no preço da ação. Existem índices que refletem esse fator, como o S&P Put/Call Ratio que é derivado do volume diário operado no mercado de opções. Quando a liquidez de put no S&P500 aumenta mais que em calls, o índice cresce, e assim vice e versa. Em fevereiro 2020, o ratio atingiu 2.40, na medida que o mercado estava buscando proteção diante da primeira onda da Covid.

## 9. Conclusão

Abaixo é possível visualizar um resumo dos resultados obtidos no último capítulo. Ou seja, as estimações de quanto as variáveis de projeção da economia real influenciam na volatilidade durante as 3 crises vistas.

	<b>Coefficientes 2008</b>	<b>Coefficientes 2016</b>	<b>Coefficientes 2020</b>
<b>IPCA</b>	1,0345	0,3124	-1,1081
<b>Meta Selic</b>	0,2117	-0,3103	0,1554
<b>Câmbio</b>	1,6037	0,7961	4,0324
<b>PIB</b>	-0,0595	-0,0677	0,8526

Sobre o IPCA, tanto em 2008 quanto em 2016, um aumento nas expectativas desse indicador faria com que a volatilidade da carteira aumentasse, 1,03% e 0,31%, respectivamente. Já em 2020, um aumento do IPCA não causaria um impacto altista na volatilidade, na verdade, um aumento desse indicador diminuiria a volatilidade do portfólio em -1,10%. Portanto, em 2020, os investidores não estavam tão preocupados com um aumento dos preços como nas crises anteriores. Isso acontece porque, como foi visto, com o choque de demanda durante a crise, as expectativas para o IPCA caíram. Já em 2008 e 2016, as expectativas para o IPCA cresceram, deixando os investidores mais receosos com esse indicador, o que aumentaria a volatilidade da carteira.

Quanto a meta a Selic, aumento das expectativas desse indicador faria com que a volatilidade aumentasse 0,21% em 2008 e 0,15% em 2016, e em 2020, um aumento de 1.p.p. na expectativa da meta Selic faria a volatilidade diminuir -0.31%.

Sobre a expectativa para a variação do câmbio, um aumento nesse indicador faria com que a volatilidade da carteira aumentasse também nos três cenários de crise. Em 2020, o impacto é maior que as outras crises. Um aumento de 1.p.p. no câmbio causaria uma

volatilidade 4,03% maior. Na crise do Subprime e de 2016, o impacto seria de 1.6% e 0.8%, respectivamente.

Em relação ao PIB, um aumento desse indicador também teria mais impacto na volatilidade em 2020, um impacto negativo. Se o PIB aumentasse em 1p.p. em 2020, a volatilidade da carteira diminuiria 10,27%. Já nas crises de 2008 e 2016, com o mesmo aumento do PIB, a volatilidade aumentaria 0,37% na primeira e cairia 1,83% na segunda.

Em suma, um aumento nas expectativas dos indicadores da economia real em 2020, teria um impacto de forma geral muito mais forte na volatilidade do que nas outras duas crises. É certamente viável questionar a racionalidade do movimento dos investidores na bolsa, uma vez que um aumento de 1p.p. nos indicadores econômicos vistos faria a volatilidade aumentar de forma descontrolada.

Vimos que nos três casos há uma correlação negativa entre a volatilidade implícita e o preço dos ativos subjacentes. O que indica que temos um aumento na percepção de risco pelo mercado, com os compradores dispostos a pagar prêmios mais elevados para se protegerem. O aumento nos preços é incorporado na fórmula de volatilidade implícita, sendo ela uma medida da variação esperada nos preços. Os dados de assimetria de volatilidade também revelaram que são capazes de sinalizar quando os agentes do mercado estão dispostos a pagar mais por proteção contra quedas, levando a um aumento na volatilidade implícita nas opções de venda, quando comparadas com as opções de compra.

**Referências Bibliográficas**

JORION, P. Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk. New York, 2007.

BATES, David S. The Crash Of '87: Was It Expected? The Evidence from Options Markets. The Journal of Finance. v.46, n.3, p.1009-1044, July 1991

HULL, John C. Options, Futures and Other Derivatives. 3. ed. EUA: PrenticeHall,1997. 572 p.

MALZ, Allan M. Do Implied Volatilities Provide Early Warning of Market Stress? RiskMetrics Journal. v.1, n.1, p.41-60, 2000.

BLACK, FISCHER, MYRON (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy, 1973, vol. 81, issue 3, 637-54

GURMEET S. BHABRA, MARIA LILIANA GONZALEZ, KIM MYEONG SUP, JOHN G. POWELL (1999). Did Option Traders Predict the Korean Financial Crisis of 1997? University of Wollongong, Department of Economics, 1999.

C. W. J. GRANGER (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. Econometrica, Vol. 37, No. 3., 424-438