



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Instituto de Física

Marcus Fernandes da Silva

Estudo da persistência no mercado de câmbio: análise do expoente de Hurst à mudança de câmbio fixo para câmbio flutuante.

Salvador – Ba
Dezembro de 2009
Marcus Fernandes da Silva

Marcus Fernandes da Silva

Estudo da persistência no mercado de câmbio: análise do expoente de Hurst à mudança de câmbio fixo para câmbio flutuante

Dissertação apresentada ao Instituto de Física, da
Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em Física.
Área de concentração: Física Estatística
Linha de Pesquisa: Sistemas Complexos
Orientador: Prof. Dr. José Garcia Vivas Miranda.
Co-Orientador: Prof. Dr. Georges Souto Rocha

Salvador
2009

Marcus Fernandes da Silva

**Estudo da persistência no mercado de câmbio: análise do expoente de Hurst à mudança de
câmbio fixo para câmbio flutuante**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Física

Nota: _____

Data:

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Garcia Vivas Miranda
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Georges Souto Rocha
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof. Dr. Roberto Fernandes Silva Andrade
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Gilney Figueira Zebende
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial da Bahia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Railza, a minha madrinha Jaciara e a meu irmão Lucas por toda base familiar que me ofereceram: foi com eles que construí meu caráter e aprendi a respeitar ao próximo.

A minha esposa Idaraí Santos de Santana por todo carinho, amor e companheirismo.

José Garcia Vivas Miranda (orientador), Georges Rocha (co-orientador), Raimundo Diniz (economista do Banco Central) e Pablo Muñoz pela ajuda e paciência na realização deste trabalho.

Agradeço, especialmente, ao CNPq por acreditar e investir em minha formação no Mestrado em Física.

RESUMO

Este trabalho usa conceitos da propriedade persistência para descrever o comportamento das flutuações cambiais entre os regimes de câmbio fixo e câmbio flutuante. Para tanto, fez-se uso do cálculo do Expoente de Hurst, que é uma ferramenta que pode expressar a propriedade persistência de um determinado perfil. A determinação deste expoente foi via método RMS, que relaciona o desvio padrão médio (ou rugosidade média) de um perfil (no nosso caso esse perfil é a cotação diária do dólar) com intervalos de tempos determinados. Quando há uma lei de potência entre os valores das rugosidades médias com os intervalos de tempo considerados, então o expoente desta lei é denominado por expoente de Hurst. O primeiro objetivo deste trabalho é, a partir da análise de Hurst, observar o comportamento da mudança entre os regimes de câmbio fixo e câmbio flutuante dos países em desenvolvimento Brasil, México e Argentina. O segundo é o de observar, também a partir da análise de Hurst, se há um comportamento padrão do regime de câmbio flutuante para os países desenvolvidos Canadá e Austrália; caso isso ocorra, associaremos eficiência do mercado de câmbio com o expoente de Hurst. Observamos que houve um comportamento padrão dos países em desenvolvimento na mudança entre os dois regimes cambiais. Este padrão foi caracterizado por persistência; seguido por um rápido decréscimo para valores antipersistentes e seguido de um rápido crescimento para valores persistentes. Foi observado que os valores médios do expoente de Hurst para os países em desenvolvimento se afastaram mais do valor 0,5 (movimento Browniano ordinário) do que os países desenvolvidos, o que corrobora a hipótese de que a eficiência do mercado de câmbio está associada ao movimento browniano ordinário.

ABSTRACT

This paper uses concepts of persistence to describe the behavior of currency fluctuations between the regimes of fixed Exchange rates and floating Exchange. Therefore, we used the Hurst exponent, which is a tool that can characterize the persistence of a particular profile. The determination of this exponent was through RMS method, which relates the average standard deviation (or average roughness) of a profile (in our case this profile is the daily rate of U.S. dollars) with time intervals. When there is a power law between the values of average roughness and the time intervals, then the exponent of this law is referred as the Hurst exponent. The first objective of this work is observes the behavior of the Hurst exponent in the switching between regimes of fixed exchange rates and floating exchange rate for the developing countries: Brazil, Mexico and Argentina. The second is to observe, also from the Hurst analysis, if there is a pattern behavior of floating exchange rate regime for the developed countries Canada and Australia if this happens, we will associate the efficiency of the foreign exchange market with the Hurst exponent. We observed a pattern behavior for the developed countries in the shift between the two exchange rate regimes. This pattern was characterized by persistence, followed by a rapid decrease antipersistentes values for and followed by a rapid increase to persistent values. It was observed that the Hurst exponent values for the developing countries distance themselves from 0.5 (ordinary Brownian motion) then the developed ones. This corroborates the hypothesis that the exchange market efficiency is associated with the ordinary Brownian motion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cotação diária do dólar no Brail.....	21
Figura 2 – Comportamento da taxa de juros SELIC com o tempo.....	23
Figura 3 – Relação entre o dólar e a taxa de juros SELIC	24
Figura 4 – Evolução anual do IGPM	30
Figura 5 – Evolução das reservas internacionais com o tempo	31
Figura 6 – Relação entre as reservas internacionais e a cotação do dólar.....	32
Figura 7 - Balança Comercial Brasileira.....	33
Figura 8 - Esboço de um reservatório de água com um fluxo de entrada $\xi(t)$ e um de saída $\langle \xi(t) \rangle$	34
Figura 9 – Volume anual das águas do Lago africano Albert.....	35
Figura 10 – Procedimento para o cálculo do desvio médio, o <i>RMS</i> , em janelas de lado <i>h</i>	38
Figura 11 – Movimento Browniano Fracionário para $H=0,1$, $H=0,5$ e $H=0,9$	42
Figura 12 - Evolução temporal do real brasileiro em função do dólar dos Estados Unidos.....	47
Figura 13 - Evolução temporal do peso mexicano em função do dólar dos Estados Unidos.....	48
Figura 14 - Evolução temporal do peso argentino em função do dólar dos Estados Unidos.....	48
Figura 15 - Evolução temporal do dólar canadense em função do dólar dos Estados Unidos.....	49
Figura 16 – Evolução temporal do dólar australiano em função do dólar dos Estados Unidos...	49
Figura 17 - Cotação diária do dólar na Argentina para o ano de 1999.....	50
Figura 18 - Resultado <i>RMS</i> para as flutuações cambiais australianas.....	56
Figura 19 - Evolução anual do Expoente de Hurst para as flutuações cambiais australianas.....	57
Figura 20 - Resultado <i>RMS</i> para as flutuações cambiais brasileiras.....	57
Figura 21 - Evolução anual do Expoente de Hurst para as flutuações cambiais brasileiras.....	58
Figura 22 - Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais argentinas.....	59

Figura 23 - Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais australianas.....	59
Figura 24 - Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais brasileiras.....	60
Figura 25 - Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais canadenses.....	60
Figura 26 - Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais mexicanas.....	61
Figura 27 - Cotação diária do dólar no Brasil para o ano de 2005.....	63
Figura 28 - Cotação diária do dólar para o ano de 2006.....	63
Figura 29 - Resultado do método RMS para as flutuações do dólar com relação ao real para o ano de 2005.....	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
1. MERCADO DE CÂMBIO.....	15
1.1 O MERCADO DE CÂMBIO COMO SISTEMA COMPLEXO.....	15
1.2 TRANSIÇÃO ENTRE MERCADO DE CÂMBIO FIXO E CÂMBIO FLUTUANTE..	19
1.3 OS AGENTES.....	24
1.4 AS REGRAS.....	26
1.5 A INFLUÊNCIA DO CÂMBIO NA ECONOMIA BRASILEIRA.....	29
2. EXPOENTE DE HURST.....	34
2.1 EXPOENTE DE HURST E MÉTODO <i>R/S</i>	34
2.2 EXPOENTE DE HURST E MÉTODO <i>RMS</i>	36
2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS.....	40
2.4 EXPOENTE DE HURST E PERSISTÊNCIA.....	41
2.5 EXPOENTE DE HURST E EFICIÊNCIA DE MERCADOS.....	43
3. METODOLOGIA.....	46
3.1 DADOS.....	46
3.1.1 O PROBLEMA <i>OUT-LIER</i> ARGENTINO.....	49
3.2 ANÁLISE DE HURST DISCRETA.....	51
3.3 ANÁLISE DE HURST CONTÍNUA.....	52
4. RESULTADOS.....	55
4.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO MERCADO DE CÂMBIO.....	55
4.2 ANÁLISE DE HURST NA MUDANÇA ENTRE OS REGIMES DE CÂMBIO FIXO E CÂMBIO FLUTUANTE.....	56
4.2.1 ABORDAGEM DISCRETA.....	56
4.2.2 ABORDAGEM CONTÍNUA.....	58

4.3 MEDIDAS INTERVENCIONISTAS DO BANCO CENTRAL DO BRASIL NO MERCADO DE CÂMBIO EM 2005.....	63
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE 1: PROGRAMA RMS DA ANÁLISE DE HURST DISCRETA.....	73
ANEXO 1: PROGRAMA RMS DA ANÁLISE DE HURST CONTÍNUA.....	75
ANEXO 2: FUNÇÃO WEIERSTRASS.....	81
ANEXO 3: MOVIMENTO BROWNIANO ORDINÁRIO.....	82
ANEXO 4: MOVIMENTO BROWNIANO FRACIONÁRIO.....	84

INTRODUÇÃO

Os físicos estão a contribuir para a modelagem de sistemas complexos utilizando ferramentas e metodologias desenvolvidas na mecânica estatística e na física teórica. Os mercados financeiros estão muito bem definidos como sistemas complexos, sendo que estes são continuamente monitorados – até escalas de tempo de segundos. Além disso, praticamente todas as transações econômicas são arquivadas, e uma crescente fração de número de registros de dados econômicos é cada vez mais acessível a pesquisadores interessados. Fatos como esses fazem os mercados financeiros extremamente atraentes para os pesquisadores interessados em desenvolver uma profunda compreensão da modelagem de sistemas complexos (ROSÁRIO E MANTEGNA, 2000).

Economistas e matemáticos são pesquisadores com uma longa tradição em investigar sistemas financeiros. Os físicos por outro lado, têm investigado os sistemas econômicos só ocasionalmente. Recentemente, no entanto, um número crescente de físicos está se interessando em analisar os sistemas econômicos. Correspondentemente, um número significativo de trabalhos de relevância para a economia está agora a ser publicado em revistas de física. Além disso, novas revistas interdisciplinares – e citações em revistas já existentes – foram lançadas e conferências internacionais estão sendo organizadas (ROSÁRIO E MANTEGNA, 2000).

Além das questões fundamentais, problemas práticos podem explicar parte do recente interesse da comunidade dos físicos nas finanças. Por exemplo, a abordagem de risco, uma atividade fundamental em instituições financeiras, é uma tarefa complexa que necessita de estudos interdisciplinares. Muitas vezes as contribuições dos físicos são complementares às disciplinas mais estabelecidas, então incluir os físicos em uma equipe de gestão de risco pode ser de grande feitio para a mesma (ROSÁRIO E MANTEGNA, 2000).

Alguns físicos brasileiros possuem contribuições para o estudo da econofísica. Giovani L. Vasconcelos (2004) publicou um trabalho no qual este faz um resumo de um minicurso, ministrado pelo mesmo, de “Introdução a Econofísica”, realizada na II Escola de Mecânica Estatística na Universidade de São Paulo, em São Carlos, São Paulo, Brasil, em fevereiro de 2004. Neste minicurso Giovani Vasconcelos fez uma breve introdução aos modelos de base para os preços de derivativos financeiros e fez pequeno apanhado de

problemas em finanças nos quais tiveram grandes contribuições de físicos na última década. Neste trabalho Giovani Vasconcelos faz o seguinte comentário:

O corpo do recente trabalho, realizado por físicos e outros, tem mostrado evidências convincentes de que o modelo clássico das finanças não é totalmente capaz de descrever os mercados reais, e, portanto, novas idéias e modelos estão sendo estudados, sendo que alguns destes têm contribuição da física (VASCONCELOS, 2004, p.2).

Os físicos brasileiros Daniel Oliveira Cajueiro e Ernesto Pinheiro Borges (2008) fizeram um trabalho no qual tentaram mostrar uma analogia, a partir da econofísica, entre água fervente e os mercados financeiros. Neste trabalho os autores mostram uma associação entre sistemas físicos e sistemas econômicos no trecho que segue:

Quebras de mercados financeiros em geral são antecedidas por momentos de grande otimismo refletidos principalmente pela alta apresentada nos índices econômicos e financeiros. O *Crash* marca justamente a transição, quando os agentes econômicos deixam de crer nos fundamentos da economia, são invadidos por uma onda de pessimismo e buscam de forma desesperada se livrar de todos os investimentos que possuem. São duas fases completamente distintas, resultado do comportamento coletivo dos mesmos agentes. Fazendo uma analogia com um sistema físico, o líquido em uma panela fervente e o vapor são constituídos pelas mesmas moléculas de água, mas o modo de agregação lhes confere propriedades bem distintas. Transição de fase em sistemas não lineares altamente correlacionados é um dos exemplos que estimula a física a utilizar seus métodos em sistemas econômicos, e os resultados têm sido surpreendentes (CAJUEIRO E BORGES, 2008, p.33).

Uma parte do mercado financeiro que possui uma estrutura complexa (e então uma ótima linha de pesquisa para econofísicos) é o mercado de câmbio. Um fator preponderante que pode justificar a importância de seu estudo é o fato de que este mercado possui uma considerável influência no sistema financeiro internacional, que atualmente tem como um de seus pilares as relações de oferta e demanda de bens de consumo entre países. Os países que fazem parte desta estrutura financeira formam o sistema financeiro globalizado. Isto faz com que o comportamento das economias destes países seja cada vez mais interdependente. Neste caso, quando um destes países entra em um processo de recessão, todos os outros que integram esta rede sofrem conseqüências nas suas atividades econômicas. Este efeito em cascata pode ter alto grau de letalidade, a depender do tamanho e importância das economias em crise e como esses países estruturam seus mercados internos.

A moeda que rege as transações deste mercado globalizado é o dólar dos Estados Unidos (CHELALA, 2000, p. 39). Portanto, as flutuações desta moeda com as moedas locais

possuem um grande peso para a economia destes, podendo gerar importantes mudanças nas atividades econômicas destes países.

Estas mudanças podem ser boas ou más para a economia destes países, a depender dos agentes envolvidos. Por exemplo, o processo de super desvalorização da moeda norte americana com relação às respectivas moedas locais, dos países que integram o sistema financeiro internacional, pode ser benéfico porque pode gerar uma tendência de grande procura por pacotes de viagens turísticas internacionais e, além disso, pode facilitar o acesso de bens de consumo importados; estes bens de consumo podem ser desde vinhos importados até peças de aparelhos de ressonância magnética, de quimioterapia etc.

Por outro lado, este processo de super desvalorização da moeda dos Estados Unidos pode ocasionar quebra da indústria e do agronegócio de países que optam por centralizar boa parte de suas receitas na exportação de seus produtos, porque isto gera inevitavelmente queda no lucro destes setores da economia, que por sua vez pode gerar uma queda na produção destes setores e isto conseqüentemente pode ter uma grande influência nas taxas de desemprego destes países.

Portanto, as políticas cambiais destas nações tentam propiciar flutuações médias do dólar dos Estados Unidos com relação às suas respectivas moedas locais visando, na medida do possível, beneficiar todos os setores de suas economias.

As políticas cambiais de alguns países integrantes do sistema financeiro internacional utilizaram regimes de câmbio pré fixados; por exemplo, entre os anos de 1995 e 1999, o Brasil optou por utilizar o regime de bandas cambiais (GAROFALLO FILHO, 2000); entre 1995 e 2002, a Argentina utilizou a paridade fixada de um peso argentino igual a um dólar (FERRARI E CUNHA, 2008, p.51; GAROFALLO FILHO, 2000, p.144); e, entre 1992 e 1994, o México, da mesma forma que o Brasil, também optou pelo regime de bandas cambiais (INFORMACIÓN FINANCIERA, 2009, p. 41-50).

Além destas economias em desenvolvimento, algumas desenvolvidas também optaram por esta política cambial. Entre 1962 e 1970, o Canadá optou por uma política cambial na qual fixava o dólar canadense em 0,9250 de dólar estadunidense com a ressalva de que poderiam existir flutuações de $\pm 1\%$ (POWEL, 2005, p. 68). Entre 1970 e 1983, a Austrália utilizou os regimes de taxa fixada e de valorização ou depreciação gradual de sua moeda com relação ao dólar dos Estados Unidos (THE EXCHANGE RATE AND THE RESERVE BANK'S ROLE IN THE FOREIGN EXCHANGE MARKET, 2009).

Devido a inúmeros fatores, esta política cambial não se mostrou eficiente por muito tempo e, portanto, estas nações tiveram que optar por outra política cambial mais adequada ao novo cenário econômico mundial.

É razoável considerar que a opção desses países por abandonar o regime de câmbio fixo estaria atrelada a cenários de graves crises econômicas internas e (ou) externas, isso fazia dessa política inviável porque estas geravam graves conseqüências para suas economias como queda de suas reservas internacionais e aumento do processo inflacionário (PASTORE E PINOTTI, 2000, p.12). Tendo em vista estes acontecimentos, estes países optaram por adotar o regime de câmbio flutuante no qual os valores diários da cotação do dólar emergiriam do mercado com a mínima intervenção de suas autoridades monetárias. Isto por sua vez gerou uma corrida desenfreada pela moeda norte-americana (investimento seguro) pelos agentes destes mercados por causa do alto grau de insegurança que estes tinham para com o cenário econômico futuro destes países.

Há com isso uma razoável importância em saber como reagiu o mercado de câmbio neste processo transitório, respondendo a perguntas como: As flutuações cambiais tendem a certo grau de estabilidade ou para um colapso? Essas flutuações se autoregulam? Caso a resposta a esta última pergunta seja afirmativa, como se processa esta auto-regulação? Estas e outras perguntas podem ser respondidas se estudarmos tais sistemas complexos do ponto de vista das novas teorias, entre elas fractais, caos e o Expoente de Hurst. Com este último é possível observar como evoluem temporalmente as dispersões destas séries em torno de suas médias e também observar se estes sistemas tendem ou não a uma auto-organização. São escassos na literatura dos sistemas complexos trabalhos sobre este e outros sistemas que transitam entre estruturas ordenadas e caóticas. Além destas questões, é possível extrair informações, do ponto de vista econômico, sobre o nível de eficiência de um determinado mercado de câmbio.

Sendo assim, este trabalho está estruturado em: uma fundamentação teórica, na qual é feito um pequeno ensaio sobre o mercado de câmbio na economia brasileira e o Expoente de Hurst, respectivamente nos capítulos 1 e 2; em seguida, o capítulo 3 trata do processo metodológico utilizado neste trabalho; o capítulo 4 mostra os resultados da aplicação do método; e o capítulo 5 as conclusões do trabalho. Toda esta seqüência de estudo está focada nas flutuações cambiais da economia brasileira. O comportamento do câmbio em outros países foi acrescentado com objetivo de observar um possível padrão na mudança entre esses dois regimes cambiais; fixo e flutuante.

1. MERCADO DE CÂMBIO

Este capítulo aborda basicamente a questão do funcionamento do mercado de câmbio brasileiro com algumas de suas características. Vale ressaltar que se trata apenas de um ensaio sobre o tema, haja vista que este assunto apresenta uma grande complexidade que não comporta ser analisada nesta dissertação.

Inicialmente será abordada uma visão geral da estrutura do câmbio para logo em seguida citar alguns acontecimentos históricos que ocorreram na mudança do câmbio fixo para o câmbio flutuante. Nas seções seguintes serão feitas explanações sobre os agentes deste mercado e suas regras. E para finalizar, será mostrada a influência das flutuações cambiais na economia brasileira.

1.1 O MERCADO DE CÂMBIO COMO SISTEMA COMPLEXO

À primeira vista, é razoável considerar o mercado de câmbio como sistema complexo. Para tornar plausível esta afirmativa, é necessário conhecer a fundamentação teórica dos sistemas complexos, a estrutura do câmbio brasileiro e a conexão entre estes. Portanto, esta seção obedecerá esta sequência começando pela concepção de Hearch Moysés Nussenzveig (2008) sobre sistemas complexos¹, na qual estrutura esta categoria de sistema a partir de algumas características do cérebro humano encontradas em maior ou menor grau em outros sistemas complexos.

Separamos as características que consideramos como mais próximas do mercado de câmbio como segue:

1. Sistemas complexos são sistemas dinâmicos em evolução constante, formado de um grande número de unidades;
2. Cada unidade interage com um certo número, bem menor, de outras. Os sistemas complexos são abertos e interagem com sua vizinhança;

¹ Características muito importantes que podem se manifestar em sistemas complexos de um modo geral é a estrutura fractal, a evolução em forma de leis de potência, criticalidade auto-organizada e a não-linearidade (NUSSENZVEIG, 2008, p.13-16).

3. Os sistemas complexos, em sua evolução constante, mudam as características das interações entre suas unidades em função das experiências adquiridas pela interação com o ambiente. Esta propriedade é conhecida por aprendizado e os sistemas complexos que possuem esta característica também são conhecidos por sistemas adaptativos;
4. Os sistemas complexos se auto-organizam de forma espontânea, criando ordem a partir de um estado desordenado. Esta propriedade é conhecida por ordem emergente;

Um exemplo de sistema que possui estas características é o mercado de câmbio brasileiro, que de acordo com o Regulamento do Mercado de Câmbio e Capitais Internacionais:

abrange compra e venda de moeda estrangeira e as operações com ouro-instrumento cambial, realizadas com instituições autorizadas pelo Banco Central do Brasil a operar no mercado de câmbio, bem como as operações em moeda nacional com sede no país e residentes, domiciliado ou com sede no exterior (BRASIL, 2007, p. 1) .

Levando em consideração o termo moeda estrangeira da definição acima, é possível concluir que há uma gama considerável de moedas envolvidas no câmbio brasileiro, mas vale salientar que a moeda norte-americana possui maior destaque neste mercado e, portanto o foco deste trabalho estará na paridade do dólar dos Estados Unidos e o real do Brasil. Isto será levado em consideração por causa da universalidade da moeda dos Estados Unidos para o mercado financeiro internacional.

A consolidação do dólar como moeda global começou por volta do ano de 1944 na Conferência de Bretton Woods, na qual foi estabelecido que a partir daquele momento o dólar dos Estados Unidos seria a moeda que regularia o funcionamento do sistema financeiro internacional. Participaram desta conferência 44 países, o Brasil foi um destes representantes, na qual ficou decidido que uma onça *troy* (equivalente a 31,1034768 g) de ouro equivaleria a 35 dólares dos Estados Unidos, e em contrapartida os países que fizeram parte desta conferência teriam uma paridade referencial à moeda norte-americana (CHELALA, 2000, p.40). E, por volta de agosto de 1971, devido a fatores como alta especulação financeira, consideráveis custos com a Guerra do Vietnã e as corridas armamentista e espacial, Richard Nixon (presidente dos Estados Unidos na época) anuncia o fim da conversibilidade do dólar em ouro (CHELALA, 2000, p.40). Desde então o dólar seguiu dominando o mercado financeiro mundial mantendo uma grande influência na economia dos países que fazem parte

deste, apesar das constantes mudanças que o mundo passou nos cenários políticos e econômico, sobretudo na virada do século XX para o século XXI.

É razoável considerar o mercado de câmbio brasileiro como sendo de alto grau de complexidade porque este se comporta a partir de relações entre vários tipos de agentes no qual imperam interesses dos mais diversos. Para ilustrar esta afirmativa será feita uma lista de exemplos de fatores que podem vir a influenciar na dinâmica deste mercado. Inicialmente, vamos considerar uma possível atitude do Banco Central do Brasil em uma reunião do Comitê de Política Monetária – COPOM - quando este resolve aumentar a taxa básica de juros Selic (esta taxa é um dos fatores que integram a taxa de juros final utilizada em compras a prazo, empréstimos bancários, cartões de crédito) para diminuir o consumo e conter uma possível inflação de demanda. Quando isto acontece há uma grande procura por títulos da dívida pública brasileira (em particular LFT) por investidores estrangeiros, porque estes rendem a esta mesma taxa Selic (PASTORE E PINOTTI, 2000, p.14; AOUN, 2007, p.1) e que nos últimos anos tem sido uma das maiores do mundo em média (TOLEDO, 2008). Antes de comprar estes títulos os investidores precisam converter sua moeda estrangeira (geralmente o dólar) em reais e isso faz com que o preço da moeda caia, porque a oferta desta fica maior que sua demanda. A situação contrária de desvalorização da moeda nacional também pode acontecer quando está prevista uma iminente crise econômica mundial na qual os investidores ficam inseguros quanto a possíveis prejuízos em investimentos de risco - um exemplo deste tipo de investimento seria ações de uma determinada empresa brasileira na Bolsa de Valores de São Paulo - Bovespa - podendo gerar fuga de capitais do Brasil, que faz com que ocorra uma maior demanda por dólares, fazendo com que o preço deste se eleve.

Outro exemplo seria a atitude que os Estados Unidos, maior economia do planeta, teriam baixando a sua taxa básica de juros para estimular o consumo interno por causa de uma iminente recessão interna. Isto poderia provocar uma fuga de investimentos para os títulos da dívida pública de países em desenvolvimento, que geralmente possuem juros maiores, fazendo com que a oferta de dólares nestes países (o Brasil é um deles) aumente e com isso o preço deste sofra uma queda considerável.

Quando os Estados Unidos resolvem tomar uma atitude contrária com relação a sua taxa básica de juros, aumentado-a para conter uma possível inflação de demanda, o processo da dinâmica do mercado de câmbio nos países em desenvolvimento se processa geralmente de forma contrária. Esta política econômica de oscilação das taxas de juros norte americana é uma das manifestações do domínio econômico dos Estados Unidos no mercado financeiro internacional globalizado (CINTRA, 2000, p.106).

Até este momento foram vistos exemplos de possíveis fatores externos a economia brasileira que podem influenciar nas flutuações do câmbio. Agora, será focado um exemplo de fator interno que muito influenciou as flutuações cambiais brasileiras na época das eleições presidenciais de 2002 (BERGER E MOTTA, 2003, p.14; MARGARIDO, 2008, p.38) conhecido por “Medo Lula”. Este se caracterizou pela insegurança dos investidores com o novo governo de esquerda que estava por vir. Isto aconteceu devido ao avanço nas pesquisas de opinião favoráveis ao então candidato Luis Inácio Lula da Silva, e a possibilidade deste candidato, se eleito, não continuar com a política econômica do então presidente Fernando Henrique Cardoso. Isto fez com que houvesse uma fuga de capitais do Brasil (SADER, 2005, p.2), que por sua vez gerou um aumento do valor do dólar. Neste momento, um dólar chegou a ser comprado por R\$ 4,00. Esta foi a maior paridade com a moeda nacional que o dólar já teve desde o início do Plano Real, sendo que esta marca ainda não foi ultrapassada.

Então é possível concluir que existe uma razoável probabilidade de as flutuações cambiais brasileiras serem sensíveis a um conjunto de fatores internos e externos que basicamente refletem, e ao mesmo tempo influenciam no nível de segurança dos investidores em possuir ou não dólares. Ou seja, o comportamento da estrutura do câmbio no Brasil é, em parte, explicado pela complexidade das relações humanas. Um fato que pode manifestar esta premissa é a recente bolha imobiliária dos Estados Unidos que gerou uma grave crise econômica do sistema financeiro internacional (GALLE *et al*, 2009). Maria Cristina Longo Dias e Tomas Rota (2009) citam que esta crise se originou a partir da ganância exagerada e individualista dos agentes deste mercado em obter grandes taxas de lucro. Com isso, eles chegaram a conclusão de que esta crise econômica envolve em sua totalidade as relações humanas e que a partir dessa compreensão é possível contorná-la.

Portanto, para caracterizar toda esta estrutura do mercado de câmbio brasileiro como sistema complexo, é necessário fazer uma associação das quatro características dos sistemas complexos mostradas no início desta seção com este mercado.

A característica número 1 pode está associada ao grande número de agentes deste mercado, que segundo Emílio Garofallo Filho (2000) são os exportadores de bens e serviços, os viajantes não-residentes ao Brasil, os tomadores de empréstimo e financiamentos, os prestadores de serviços, os investidores não residentes, os importadores de bens e serviços, os viajantes (residentes no Brasil) ao exterior, os devedores de empréstimos e financiamentos, os pagadores de serviços, os investidores (residentes no país) no exterior, bancos, sociedades corretoras, etc (ver seção 1.3).

Para relacionar a característica número 2 com o mercado de câmbio brasileiro vamos citar os leilões de moeda estrangeira entre o Banco Central do Brasil somente com os Dealers, que formam um conjunto de bancos que têm maior peso no mercado interbancário. Estes leilões têm como objetivo aumentar ou diminuir o valor do dólar em reais, quando há uma forte tendência de queda ou de aumento do preço do dólar, respectivamente (ver seção 1.3).

Para estabelecer uma conexão entre a característica número 3 com o mercado de câmbio brasileiro, vamos considerar como sistema complexo o mercado de câmbio e como sua vizinhança os efeitos internos e externos à economia brasileira, já comentados nesta seção. Ao fazer essas considerações, é possível concluir que o mercado de câmbio brasileiro tem uma capacidade de mudar as conexões entre os agentes deste mercado (sugerimos que estas conexões estão associadas com a compra e venda de dólares entre os agentes deste sistema), comprando ou vendendo dólares, a depender do cenário econômico existente. Se estabelecemos que este cenário possui freqüentes mudanças e este mercado é altamente influenciado pelas mesmas, então o mercado de câmbio brasileiro também muda constantemente para tentar se adaptar a elas.

E, para finalizar, a associação entre a característica 4 com o mercado de câmbio está relacionada à cotação diária do dólar calculada pelo Banco Central a partir da média ponderada em dois dias úteis das relações de compra e venda de dólares por todos os agentes deste mercado (ver seção 1.3). A desordem então estaria associada com o que foi visto no parágrafo anterior.

1.2. TRANSIÇÃO ENTRE CÂMBIO FIXO E CÂMBIO FLUTUANTE

Foram expostas até aqui situações da economia com o objetivo de apresentar uma visão geral do câmbio brasileiro. Nesta seção será abordado o comportamento do mercado de trocas de moedas entre o dólar dos Estados Unidos e o real do Brasil na transição do período de câmbio fixo para câmbio flutuante entre os anos de 1995 e 2008.

Neste período, foi estabelecida a consolidação do Plano Real e a transição dos mandatos presidenciais de Fernando Henrique Cardoso e Luis Inácio Lula da Silva que, de certa forma, influenciaram nas flutuações do dólar com suas políticas econômicas.

Com o mercado de troca de moedas se comportando como câmbio fixo, as flutuações do dólar são praticamente nulas porque o Banco Central “impõe” o valor do dólar em reais ao

mercado. Já com o câmbio flutuante, a cotação do dólar emerge do mercado sem uma intervenção direta do Banco Central. (GAROFALLO FILHO, 2000, p.138-151).

Sendo mais rigoroso, o Brasil passou por um regime de flutuação cambial durante um período muito curto de junho de 1994 até março de 1995. Entre 6/03/1995 e 12/01/1999 o Brasil adotou um regime de bandas cambiais com intrabandas, conhecido por câmbio fixo. Durante o período de 13/01/1999 a 15/01/1999 as intrabandas foram abandonadas, e a partir de 18/01/1999 o Brasil adotou o regime de câmbio flutuante (SOUZA *et al.*, 2006, p.200-203).

Durante os anos de 1995 a 1999 o Brasil adotou o regime de câmbio fixo. Neste, as flutuações cambiais possuíam limites de oscilações estipulados pelo Banco Central. Estes limites se estruturavam na forma de bandas cambiais que se caracterizavam por possuir um piso e um teto para o valor do dólar durante certo intervalo de tempo, Emílio Garofallo Filho ilustra esta premissa afirmando:

Como normalmente ao fixar bandas o BC o faz por períodos relativamente longos – um ano, por exemplo -, estabelece “bandas largas”. Assim, o piso seria o ponto de partida para uma desvalorização ao longo do período, que culminaria na banda superior. Portanto, a flutuação de que se trata pode ser livre dentro da banda existente (que pode ser ou não explícita) ou ser “conduzida” por meio de minibandas, dentro das bandas largas admitidas. Quando o Banco Central conduz, pontualmente ou por meio de leilões, operações dentro das bandas inferior e superior, dizemos também que a autoridade opera intrabandas (GAROFALLO FILHO, 2000, p.151).

Ou seja, dentro destas bandas cambiais existia um conjunto de bandas menores, que ao serem somadas formariam a banda maior. As flutuações do câmbio no interior destas pequenas bandas também eram pré-determinadas pelo Banco Central com o objetivo geral de formar flutuações cambiais bem determinísticas de comportamento linear ascendente. Isto traria maior segurança para os agentes do mercado de câmbio brasileiro porque estes poderiam programar melhor seus investimentos. Estes poderiam ser desde uma viagem ao exterior até o lucro com exportações.

É possível observar as flutuações da moeda brasileira com a norte-americana a partir da Figura 1, que mostra a evolução das paridades entre o real e o dólar norte-americano com o tempo em dias entre os anos de 1995 e 2008.

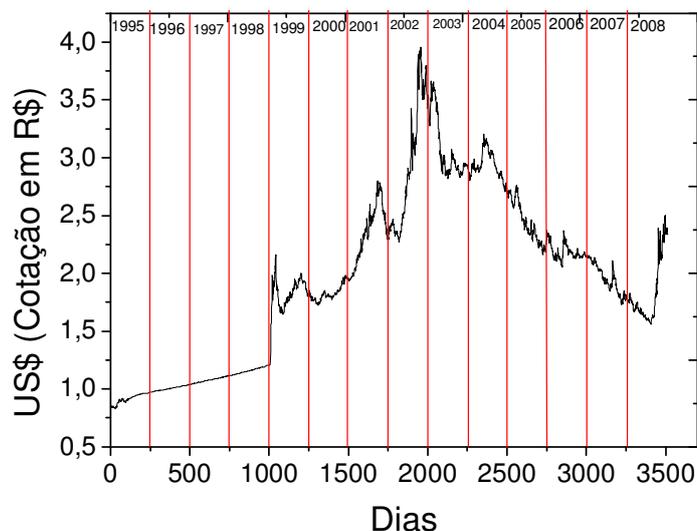


Figura 1 - Cotação diária do dólar no Brasil

A região da Figura 1 que se aproxima de um comportamento linear, localizada mais precisamente entre o início do ano de 1995 e o início do ano de 1999, corresponde ao período de câmbio fixo e a região rugosa corresponde ao período de câmbio flutuante.

Um fato importante que pode ser observado nesta Figura é a tendência de queda mais expressiva do dólar entre os anos de 2005 e 2007, se comparado com os anos anteriores. Uma forma de explicar esta tendência seria a utilização da política dos juros altos - que tem a tendência de captar investimentos estrangeiros para o país, atraídos pelo alto rendimento dos títulos públicos brasileiros - e a consolidação da estabilidade econômica brasileira. Esta, muito provavelmente gerada por uma maior distribuição de renda, que por sua vez faz surgir maior crescimento econômico no país gerando mais investimentos nos setores industriais, agrícolas e de serviços. Este processo gera mais emprego, crescendo o mercado consumidor que por sua vez gera mais desenvolvimento nos setores da economia já citados.

O ciclo de desenvolvimento econômico quando traz mais segurança aos investidores, devido entre outros fatores, ao alto poder de consumo da população brasileira, garante ainda mais investimentos para o Brasil. Esse conjunto de fatores faz com que haja maior oferta do que demanda por dólares dentro do país fazendo com que haja uma tendência de desvalorização desta moeda frente ao real do Brasil.

O ano de 2008 continuou a seguir esta tendência de queda do dólar até setembro deste ano quando estourou a bolha imobiliária dos Estados que culminou em uma das piores crises econômicas que o mundo passou desde a famosa crise de 1929.

Esta crise resultou numa grande insegurança dos investidores, originou um efeito em cascata de grande procura por dólares americanos (a moeda do mercado financeiro internacional) originando, pela lei da oferta e demanda, uma forte valorização da moeda norte-americana frente à moeda brasileira (GALLE *et al*, 2009).

Após esta rápida retrospectiva do câmbio na economia brasileira nestes últimos anos, uma questão que se faz pertinente analisar é o porquê da mudança do câmbio fixo para o flutuante. Esta mudança se deu devido a vários fatores dentre os quais serão enfatizados apenas um conjunto destes.

Após uma forte valorização do real frente ao dólar nos primeiros anos do plano real, gerando um déficit na balança comercial brasileira, o Brasil importou mais que exportou. Isto fez com que o governo brasileiro tomasse uma atitude de aumentar exageradamente a sua taxa básica de juros Selic para atrair investidores estrangeiros interessados em comprar títulos da dívida pública brasileira para como isso aumentar suas reservas internacionais. Com isso, seria gerada uma grande reserva de dólares no país que faria com que o Brasil ficasse protegido contra eventuais crises econômicas mundiais (MARGARIDO *et al*, 2003, p.1).

Não obstante, esta corrida desenfreada se tornou um tiro no pé, porque o governo brasileiro não contava com as crises econômicas do México entre o final de 1994 e o começo do ano de 1995, a crise dos tigres asiáticos em 1997 e a crise russa de 1998 que fizeram desaparecer o interesse dos investidores pelos títulos da dívida pública brasileira e das economias em desenvolvimento.

Isso gerou um grande rombo nas contas do país que obrigou o Brasil a se desfazer quase que totalmente do pouco do que restava de suas reservas para com isso minimizar os custos de sua dívida pública gerada pela elevação exagerada de sua taxa básica de juros (MARGARIDO *et al*, 2003, p.1).

Com o que já foi comentado até agora fica razoável considerar as flutuações da taxa básica de juros como um dos importantes fatores na estruturação do câmbio. Podemos observar o comportamento destas taxas na Figura 2 e Figura 3. Na primeira figura podemos perceber grandes valores das taxas básicas de juros nos primeiros anos do plano real que muito provavelmente fez com que a dívida pública brasileira aumentasse significativamente, já na região de câmbio flutuante estas flutuações se mostraram mais estáveis.

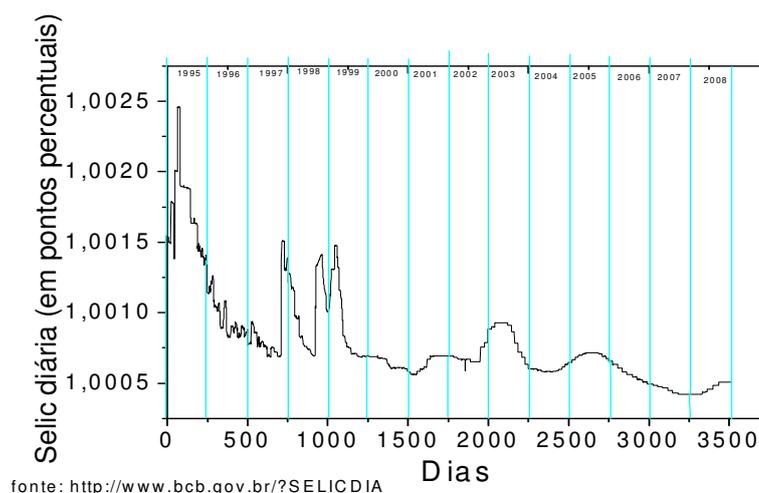


Figura 2 - Comportamento da taxa de juros SELIC com o tempo.

Na análise da Figura 2 - que representa a relação entre as taxas de juros diárias com o tempo, em dias, entre os anos de 1995 e 2008 e da Figura 3 – que representa a relação entre o dólar e a taxa de juros selic, observa-se que altos valores da taxa de juros estão relacionados geralmente a menores valores do câmbio e que baixos valores dos juros geram valores não definidos do câmbio. Isso pode sugerir uma liberdade das flutuações do câmbio a juros baixos, ou seja, é como se o sistema fosse libertado da taxa de juros para flutuar com certa autonomia, diferente do que acontece com as altas flutuações da taxa de juros em que o sistema se mantém “preso” a esta influência.

Com todo este conjunto de crises econômicas que o mundo passou e a elevação exagerada da dívida pública do Brasil no período em que o País adotava o câmbio fixo, esta situação revelou-se insustentável. Então, em meados de janeiro de 1999, o Banco Central optou por liberar o mercado de câmbio.

No primeiro momento, essa medida gerou uma grande insegurança dos agentes deste mercado com relação ao que estava por acontecer na economia brasileira. Com, isso houve uma grande demanda por dólares no mercado que fez com que o ocorresse a maior desvalorização da história de uma moeda nacional frente ao dólar.

Esse conjunto de fatores fez com que o Banco Central esgotasse completamente as suas reservas internacionais existentes na época e contraísse um grande empréstimo junto ao FMI visando acalmar o mercado e conter uma possível onda inflacionária (MARGARIDO *et al*, 2003, p.1).

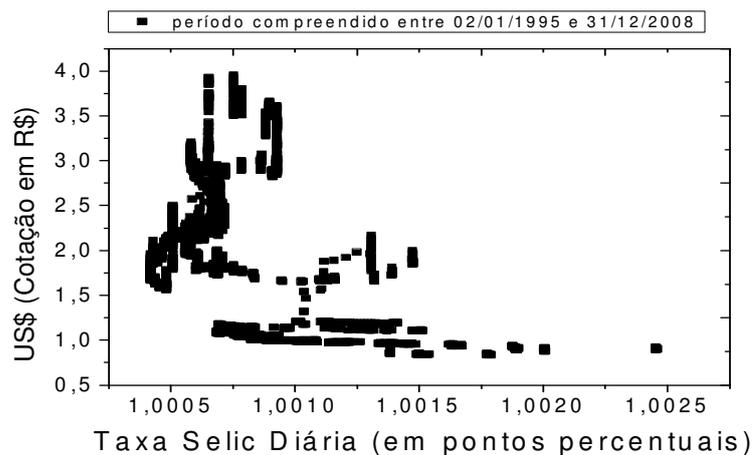


Figura 3 - Relação entre o dólar e a taxa de juros SELIC.

Finalizadas as turbulências do câmbio fixo, o Brasil passou a adotar o regime de câmbio flutuante com intervenções esporádicas do Banco Central, para isso, utilizando da fixação da taxa básica de juros e da realização de leilões da moeda estrangeira junto aos Dealers - conjunto de bancos que detém o maior número de transações financeiras no país.

Com a realização dos leilões, os quais tinham por finalidade controlar valorizações e desvalorizações exageradas do dólar frente ao real, o mercado de câmbio flutuante não ficou abandonado à própria sorte. Pois, se acontecesse, o Brasil muito possivelmente poderia passar por graves períodos de crises porque uma valorização exagerada do dólar frente ao real geraria uma pressão inflacionária em decorrência da influência do aumento dos preços dos produtos importados.

1.3. OS AGENTES

Devido ao acentuado grau de complexidade do mercado de câmbio brasileiro e ao fato deste fazer parte do mercado financeiro internacional, torna-se razoável dizer que o número de agentes que fazem parte deste mercado é considerável. Estes agentes estabelecem entre si relações de oferta e demanda de dólares com o objetivo de obter lucros ou com a moeda norte-americana ou com a moeda brasileira.

Emílio Garofallo Filho (2000) classifica os agentes deste mercado em primário e secundário. Os agentes primários são os responsáveis pela oferta e demanda de dólares. Já os

secundários são agentes responsáveis por intermediar a oferta e demanda de dólares entre os agentes primários.

Então fica fácil estabelecer que a base deste mercado, câmbio comercial de operações legais, está nas relações de comércio de moeda estrangeira entre os agentes primários e secundários no qual os agentes primários são classificados em agentes de oferta e agentes de demanda.

Os agentes de oferta, que convertem dólares em reais, são os exportadores de bens e serviços, os viajantes não-residentes ao Brasil, os tomadores de empréstimos e financiamentos, os prestadores de serviços, os investidores não-residentes, etc.: os de demanda, que convertem moeda nacional em moeda estrangeira, são os importadores de bens e serviços, os viajantes (residentes no Brasil) ao exterior, os devedores de empréstimos e financiamentos, os pagadores de serviços, os investidores (residentes no país) no exterior, etc.

Os agentes secundários são os bancos que, além de servir como intermediários para os agentes primários fazem parte de um mercado de oferta e demanda de dólares entre eles classificado por mercado interbancário (GARCIA; URBAN, 2005). Dentro deste mercado os bancos podem ser agentes de oferta ou agentes de demanda. A negociação entre os bancos pode ser por via sociedades corretoras, que legalmente não podem lucrar com as transações interbancárias. A existência destas entidades é facultativa. Geralmente elas surgem quando há negociações de grandes volumes de dólares e reais.

Dentro deste mercado existem dois agentes que centralizam o comércio de dólares, são eles: Banco Central e Dealers. O primeiro tem como função interferir no mercado de câmbio com base nas leis e normas definidas pelo Conselho Monetário Nacional; composto pelo Ministro da Fazenda, Ministro do Planejamento e pelo Presidente do Banco Central. Este interfere no mercado de câmbio através de negociações com os Dealers (GAROFALLO FILHO, 2000, p.173-185; GARCIA e URBAN, 2005), que é um conjunto móvel de bancos que detêm o maior número de relações de fluxos de capitais neste mercado.

Todos agentes deste mercado interagem com o objetivo de concretizar ou operações de *hedge*, ou operações de arbitragem, ou operações de especulação (GAROFALLO FILHO, 2000, p.173-185; GARCIA e URBAN, 2005). As operações de *hedge* são medidas que um determinado agente faz para se proteger quanto a uma iminente desvalorização do real ou do dólar. Quando há algum risco de desvalorização do dólar, e um conjunto de agentes do mercado possui uma grande concentração destes, o mesmo tende a desfazê-los vendendo-os ao mercado. O mesmo acontece com os reais quando sua desvalorização se torna iminente.

As operações de arbitragem se caracterizam pelo lucro que um determinado agente realiza ao comprar dólares em um mercado (que os vende a um preço baixo), e logo em seguida vendê-los a outro disposto a comprá-los por um preço mais alto.

As operações de especulações se caracterizam por ações a primeira vista incoerentes com a dinâmica do mercado, ou seja, um agente especulador compra dólares em épocas de forte oferta e os vende em épocas de forte demanda. Geralmente o momento de forte demanda coincide com períodos de graves crises econômicas no cenário internacional e as de forte oferta coincidem com épocas de grande euforia no cenário econômico internacional.

Todas as relações de compra e venda de dólares entre os agentes são registradas no Banco Central em um setor do mesmo conhecido como SISBACEN (Sistema de Informações do Banco Central). E no mercado de câmbio flutuante, o BACEN (Banco Central) divulga as taxas cambiais, conhecida como PTAX, a partir de uma média ponderada no mercado interbancário em dois dias úteis. Esta taxa é divulgada na página do Banco Central na Internet <http://www.bcb.gov.br> e nos grandes meios de comunicação.

1.4. AS REGRAS

Apesar do grande número de interesses envolvidos, o sistema financeiro brasileiro possui leis e normas para tentar garantir seu funcionamento da melhor maneira possível. De acordo com o Banco Central do Brasil estas leis (LEIS, 2009) são: Lei 4.131 de 03 de setembro de 1961 (Lei do Capital Estrangeiro), Lei 4.595 de 31 de dezembro de 1964 (Lei do Sistema Financeiro Nacional), Lei 4.728 de 14 de julho de 1965 (Lei do Mercado de Capitais), Lei 6.024 de 13 de março de 1974 (Lei de Intervenções e Liquidações), Lei 6.385 de 07 de dezembro de 1976 (Lei do Mercado de Valores Mobiliários), Lei 7.357 de 02 de setembro de 1985 (Lei do Cheque), Lei 7.492 de 16 de junho de 1986 (Lei do Colarinho Branco/ Crimes Financeiros), Lei 9.069 de 29 de junho de 1995 (Lei do Real), Lei 9.447 de 14 de março de 1997 (Lei da Responsabilidade Solidária), Lei 9.613 de 03 de março de 1998 (Lei da “Lavagem” de Dinheiro), Lei 9.710 de 19 de novembro de 1998 (Lei do PROER) e Lei 10.214 de 27 de março de 2001 (Lei do Sistema de Pagamento Brasileiro).

Pode-se considerar razoável afirmar que este conjunto de leis tenta organizar este sistema de forma tal que o mesmo não entre em colapso, e também para beneficiar ao máximo a economia brasileira.

Como a complexidade deste sistema é muito grande, torna-se plausível considerar que estas leis tenham um grande conjunto de ramificações na forma de artigos e parágrafos que classificam e ordenam as funções de cada agente deste mercado. Devido a estes motivos e por simples comodidade o foco legal desta seção será na Lei 4595 de 31 de dezembro de 1964 e alguns de seus artigos e parágrafos com o objetivo de mostrar as funções do Banco Central e do Conselho Monetário Nacional, estas instituições possuem maior peso legal neste mercado, no mercado de câmbio brasileiro no qual faz parte do sistema financeiro nacional.

O artigo 4 trata dos deveres do Conselho Monetário Nacional. O parágrafo 5 deste artigo diz que compete ao CMN:

“Fixar as diretrizes e normas da política cambial, inclusive quanto a compra e venda de ouro e quaisquer operações em Direitos especiais de Saque e em moeda estrangeira.” (BRASIL, 1964)

O parágrafo décimo oitavo deste artigo diz que é competência do Conselho Monetário Nacional:

Outorgar ao Banco Central da República do Brasil o monopólio das operações de câmbio quando ocorrer grave desequilíbrio no balanço de pagamentos ou houver sérias razões para prever a iminência de tal situação. (BRASIL, 1964)

O parágrafo trigésimo primeiro desta lei diz que é competência do Conselho Monetário Nacional: “Baixar normas que regulem as operações de câmbio, inclusive swaps², fixando limites, taxas, prazos e outras condições.” (BRASIL, 1964)

O artigo 57 diz que:

Passam à competência do Conselho Monetário Nacional as atribuições de caráter normativo da legislação cambial vigente e as executivas ao Banco Central da República do Brasil. (BRASIL, 1964)

O artigo 9 diz que:

² . Swap significa troca. No caso dos contratos de swaps, pode-se trocar moedas, taxa de juro ou commodities. Um swap de taxas de juros pode ser utilizado para transformar uma taxa flutuante numa taxa fixa, e vice-versa. Um swap de moedas pode ser usado para transformar um empréstimo numa moeda estrangeira em outra moeda. É uma operação mais sofisticada. Por isso, as tesourarias de bancos e os gestores de fundos de investimento são os que mais usam o mercado de swaps. A idéia é que dois investidores façam aplicações "casadas" que, no dia do vencimento, servirão como proteção do dinheiro ou até mesmo como especulação para aumentar o capital (MERCADO DE SWAPS, 2009).

Compete ao Banco Central do Brasil cumprir e fazer cumprir as disposições que lhe são atribuídas pela legislação em vigor e as normas expedidas pelo Conselho Monetário Nacional. (BRASIL, 1964)

O artigo 10 diz que:

Compete privativamente ao Banco Central do Brasil:
VII- efetuar o controle dos capitais estrangeiro nos termos da lei;
VIII- ser depositário das reservas oficiais de ouro, de moeda estrangeira e de direitos especiais de saque e fazer com estas últimas todas e quaisquer operações previstas no convênio constitutivo do Fundo Monetário Nacional.
X- conceder autorização às instituições financeiras, a fim de que possam:
d) praticar operações de câmbio. (BRASIL, 1964)

O artigo 11 diz que:

Compete ao Banco Central do Brasil:
III- Atuar no sentido do funcionamento regular do mercado cambial da estabilidade relativa das taxas de câmbio e do equilíbrio no balanço de pagamentos, podendo para esse fim comprar e vender ouro e moeda estrangeira, bem como realizar operações de crédito no exterior e separar os mercados de câmbio financeiro e comercial.(BRASIL, 1964)

O Parágrafo Único do artigo 57 diz:

“Fica extinta a Fiscalização Bancária do Banco do Brasil S.A., passando suas atribuições legais ao Banco Central do Brasil.” (BRASIL, 1964)

Outra regra muito importante é a de que fica proibida a negociação direta de dólares entre os agentes primários e o Banco Central do Brasil (GAROFALLO FILHO, 2000, p.175). Estes agentes negociam dólares por intermédio dos bancos.

Enfim, esta seção propôs abordar parte da estrutura jurídica do câmbio brasileiro com o objetivo de expor uma visão superficial deste mercado do ponto de vista legal. Vale lembrar que este arcabouço legal não é aceito de forma harmônica por alguns agentes deste mercado.

Existem críticas quanto ao anacronismo destas leis que foram feitas em contextos históricos da economia brasileira muito diferente dos contextos atuais (GARCIA e URBAN, 2005).

Além disso, a existência do câmbio paralelo – que tem uma postura marginal (GAROFALLO FILHO, 2000, p.156-157) – faz com que a estrutura legal deste mercado não

seja garantida totalmente muito possivelmente devido ao número considerável de agentes deste mercado.

1.5. A INFLUÊNCIA DO CÂMBIO NA ECONOMIA BRASILEIRA

Pontuar o grau de influência das oscilações do preço do dólar na economia brasileira não é um trabalho fácil. Existe toda uma cadeia de influências que termina no preço final ao consumidor ativo.

Para ilustrar este fenômeno vamos exemplificar fazendo uma explanação de toda uma possível cadeia de influência no preço final do pão francês considerando que quando o dólar se valoriza com relação ao real devido a uma grave crise financeira mundial, o tradicional pão francês tende a ficar mais caro porque o trigo – matéria-prima importada e de maior peso na fabricação do pão francês - aumenta automaticamente de preço. O atravessador, que compra o trigo importado e leva para o padeiro, aumenta o preço do frete para o padeiro por causa do alto preço do trigo somado com despesas de manutenção de seu veículo, impostos e seu lucro. Quando o trigo chega ao padeiro e se transforma em pão francês o consumidor paga a conta final da alta do dólar, do frete do atravessador, das despesas da padaria, dos impostos pagos pelo padeiro e atravessador e dos lucros destes.

Pode-se dizer que muito provavelmente esta cadeia aconteça em todos os produtos finais que tenham matéria-prima importada. Quando o preço do dólar tem uma queda muito acentuada há certa probabilidade de existir preços mais baratos para o consumidor ativo. É muito importante salientar que as flutuações destes preços também possuem um caráter complexo influenciadas por outros fatores como grandes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional, catástrofes climáticas, guerras inesperadas, dentre outros.

A Fundação Getúlio Vargas tenta quantificar toda esta cadeia no preço final dos produtos a partir de um índice de inflação conhecido por IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado) (INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA, 2009). Este índice é fracionado em outros três subíndices classificados por: IPA (Índice de Preços no Atacado), IPC (Índice de Preços ao Consumidor) e o INCC (Índice Nacional de Custo da Construção), no qual os seus pesos para o cálculo final do IGPM são, respectivamente de 60%, 30% e 10%.

O primeiro corresponde à soma dos preços em todas as etapas das distribuições de grandes lotes de mercadoria, denominado por preços no atacado; o segundo está ligado aos preços dos produtos que têm contato direto com o consumidor, denominado por preços no varejo; e o último abrange todos os possíveis custos da construção civil.

É possível estimar que o peso maior no cálculo do IPA, que tem maior peso no IGPM, vem das importações e exportações de mercadorias. Geralmente estas acontecem com maior frequência com os grandes navios cargueiros que atracam nos portos brasileiros. Isso faz com que as flutuações cambiais exerçam uma grande influência no IPA que por sua vez influencia com grande peso no cálculo final do IGPM.

Observa-se da Figura 4 que o IGPM teve elevações consideráveis nos anos de 1999 - ano de mudança do câmbio fixo para o câmbio flutuante - e 2002, ano que aconteceu o fenômeno “Medo Lula”. Vale lembrar que o IGPM serve como parâmetro para aumentos nas taxas de aluguéis (ÍNDICE GERAL DE PREÇOS DO MERCADO, 2007).

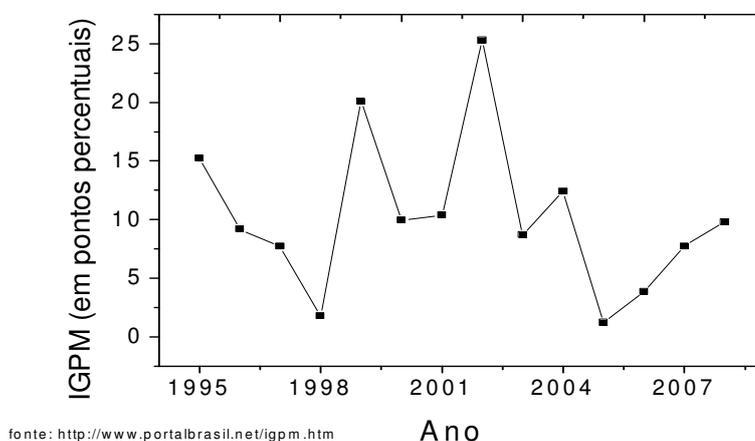


Figura 4 - Evolução anual do IGPM

Outro fator importante a se considerar é a questão das reservas internacionais brasileiras. Estas correspondem a quantos dólares o país conseguiu armazenar para se proteger de uma eventual crise financeira mundial que possa vir a atingir o país. Estas reservas encontram-se em poder do Banco Central que aumentam em quantidade muito possivelmente devido aos leilões com os Dealers com o objetivo de aumentar o preço do dólar quando este se encontra muito desvalorizado no mercado. Portanto, é possível concluir a partir desta premissa que quando o preço do dólar está muito elevado neste mercado o montante destas reservas diminui devido aos leilões do Banco Central, caso contrário estas reservas tendem a aumentar.

A Figura 5 mostra a evolução das reservas internacionais em função do tempo. Pode-se observar o crescimento significativo das reservas internacionais entre os anos de 2005 e 2008.

É muito razoável supor que este salto das reservas internacionais tenha uma pequena contribuição da tendência acentuada de queda do dólar nos últimos quatro anos, ou seja, muito provavelmente o Banco Central fez vários leilões para conter a grande depreciação do dólar durante esta época. A Figura 6 mostra a cotação diária das reservas internacionais em função da cotação diária do dólar dos Estados Unidos, na qual é possível observar que pequenos valores do dólar estão associados a grandes valores das reservas internacionais, e valores pequenos das reservas internacionais estão associados a grandes valores do dólar; isto mostra que as épocas de dólar baixo (entre os anos de 2005 a 2008, por exemplo) são muito propícias ao aumento das reservas internacionais como se pode observar na **Figura 1** e Figura .

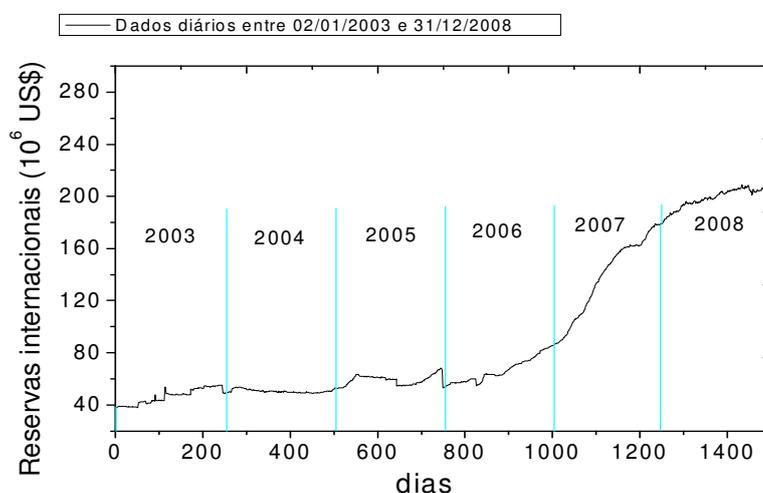


Figura 5 - Evolução das reservas internacionais com o tempo.

O peso maior nas reservas internacionais está na balança comercial brasileira (ver Figura 7), que é a diferença entre tudo o que o Brasil exportou e importou, ou seja, este saldo – a diferença entre o que o Brasil obteve nas suas operações de venda ao exterior com relação ao que ele comprou do exterior - é incorporado às reservas internacionais brasileiras.

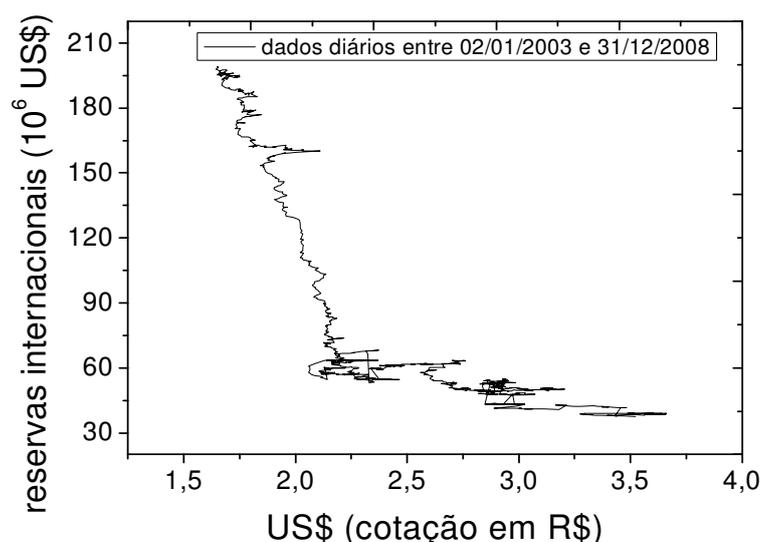


Figura 6. Relação entre as reservas internacionais e a cotação do dólar

Vale ressaltar um fato curioso com relação ao câmbio relacionado com as importações e exportações brasileiras. Diz à lógica de mercado que câmbio baixo, dólar desvalorizado perante o real, corresponde a uma queda das exportações e um aumento das importações, porque isto geralmente ocasiona queda da receita das empresas que exportam e uma maior facilidade em adquirir produtos importados porque nestas duas situações um real compra mais dólares. Mas, no caso da economia brasileira isto não está acontecendo. Nos anos de 2005, 2006 e 2007, de tendência acentuada de queda do dólar, a balança comercial brasileira - a diferença entre tudo o que foi exportado e tudo que foi importado pelo Brasil - teve um crescimento significativo, ou seja, o Brasil exportou mais que importou nestes anos, isso pode ser visualizado na Figura 7.

Este fato pode ser justificado pela grande demanda de vários países por produtos brasileiros, ou seja, o mundo de modo geral está crescendo. E o Brasil por sua vez está também com uma demanda muito forte por produtos estrangeiros, ou seja, o Brasil está acompanhando o crescimento da economia mundial.

Pode ser que os fatores tais como, juros altos, queda do câmbio, aumento das reservas internacionais contribuíssem para o crescimento da economia brasileira entre os anos de 2005 e 2007. Quando se observa em particular nesta mesma figura o ano de 2008, constata-se que há uma queda considerável do saldo entre as exportações e importações brasileiras se comparados com anos anteriores. Este fato aconteceu muito possivelmente devido a crise do mercado financeiro que estourou por volta do mês de setembro deste ano (GALLE *et al*, 2009).

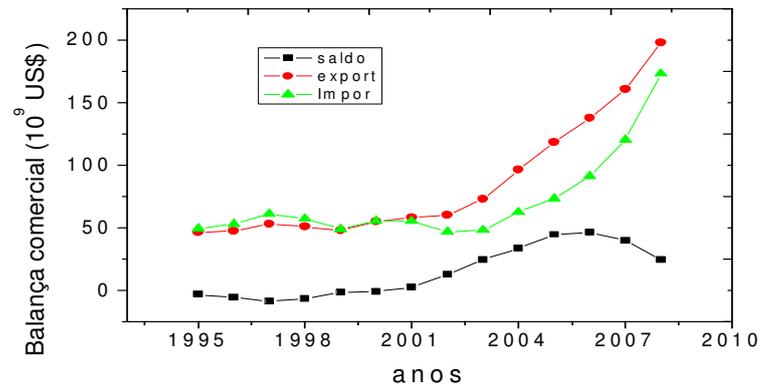


Figura 7. Balança Comercial brasileira

2. EXPOENTE DE HURST

Este capítulo aborda basicamente algumas informações sobre o Expoente Hurst e alguns métodos para determiná-lo. Inicialmente será feita uma pequena explanação sobre os métodos *R/S* e *RMS* e logo em seguida será mostrada a equivalência entre estes. Na sequência, serão feitos pequenos comentários sobre persistência e grau de eficiência de mercados extraídos do Expoente de Hurst.

2.1. EXPOENTE DE HURST E MÉTODO *R/S*.

O método *R/S* é um método com bases empíricas. Surgiu com a tentativa de se resolver o problema de um reservatório finito submetido a um fluxo de entrada aleatório. A questão baseia-se na determinação do volume de um reservatório, conhecendo-se seu fluxo de entrada de água $\xi(t)$, e considerando que seu fluxo de saída seja igual a média de $\xi(t)$, de maneira que este reservatório nunca seque ou transborde (FEDER, 1988). A Figura 8 ilustra este problema.

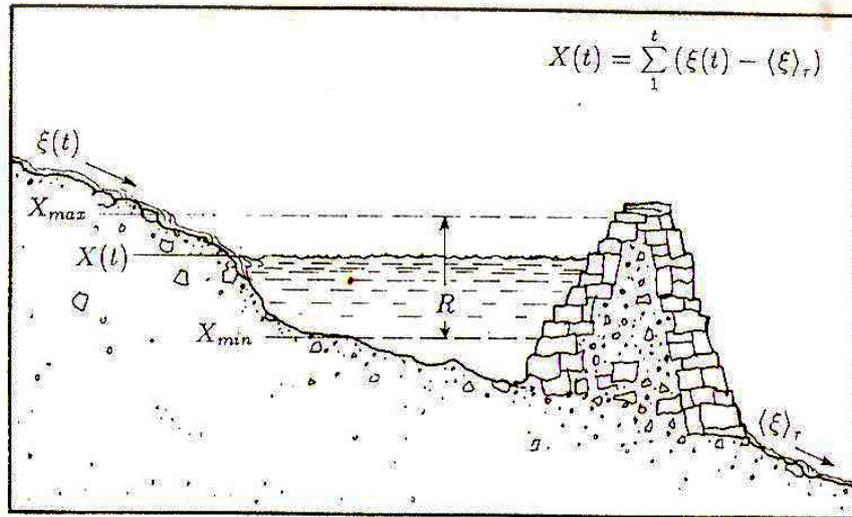


Figura 8. Esboço de um reservatório de água com um fluxo de entrada $\xi(t)$ e um de saída $\langle \xi \rangle_\tau$. A diferença acumulada entre o volume de água que entra e sai deste reservatório é $X(t)$. O volume do reservatório para que ele não seque e nem transborde, R , é a diferença entre o máximo e o mínimo conteúdo do reservatório (FEDER, 1988, p. 151).

Considerando um intervalo de tempo τ , a média do fluxo de entrada será,

$$\langle \xi \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad (1)$$

Seja $X(t)$ a diferença acumulada entre o fluxo de entrada e sua média

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t \{ \xi(u) - \langle \xi \rangle_{\tau} \}, (1 \leq t \leq \tau) \quad (2)$$

O máximo e o mínimo de (2) representam o volume máximo e mínimo de água que passará pelo reservatório no período τ . Desta forma, o volume total do reservatório para que ele nunca seque nem transborde, deverá ser a diferença entre o máximo e mínimo de X ,

$$R(\tau) \equiv \max X(t, \tau)_{1 \leq t \leq \tau} - \min X(t, \tau)_{1 \leq t \leq \tau} \quad (3)$$

Obviamente, $R(\tau)$ depende do fluxo $\xi(t)$, que por sua vez depende do período τ . A Figura 9 mostra as grandezas $X(t)$, $\xi(t)$, R para o lago africano Albert.

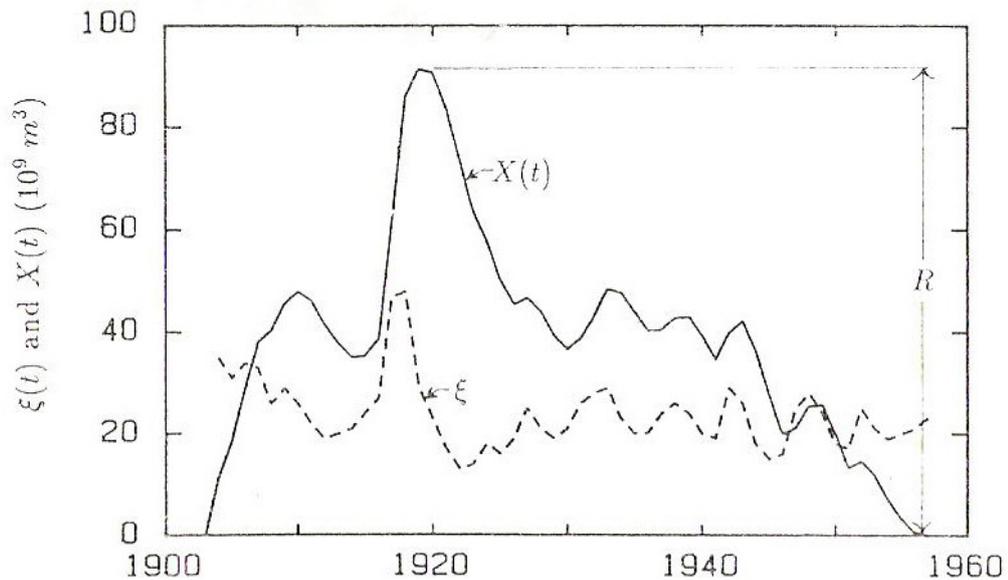


Figura 9. Volume anual das águas do Lago africano Albert. $\xi(t)$ (linha pontilhada) e a diferença acumulada da sua média $X(t)$ (linha contínua). O volume do reservatório para que ele não seque e nem transborde é indicado por R (FEDER, 1988, p. 150)

Hurst investigou os períodos de cheia do Rio Nilo considerando os reservatórios finitos: o Lago Vitória e Lago Albert (SUTCLIFFE, 1978, p. 539), os maiores afluentes do Rio Nilo. E percebeu que R dependia do período τ como uma lei de potência,

$$R/S = \left(\frac{\tau}{2}\right)^H \quad (4)$$

no qual H é o Expoente de Hurst e S é o desvio padrão do fluxo de entrada de águas nestes reservatórios definido por

$$S = \left(\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \{\xi(t) - \langle \xi \rangle_{\tau}\}^2\right)^{1/2} \quad (5)$$

introduzido apenas para que a variável R/S seja um número adimensional tornando mais fácil a comparação com outros fenômenos (MIRANDA, 1997, p.14).

Para os períodos de cheia do Rio Nilo, Hurst encontrou $H=0,72$. Além de fazer este estudo para o Rio Nilo, Hurst estudou outros fenômenos naturais dependentes do tempo e encontrou o mesmo valor para o parâmetro H (SUTCLIFFE, 1978, p. 540; MIRANDA, 1997, p.15). Caso o valor deste expoente coincidisse com 0,5 – representando séries independentes – estaria de acordo com a teoria clássica da época (SUTCLIFFE, 1978, p.540). Como isto não aconteceu então Hurst chegou a uma conclusão revolucionária para época de que as séries temporais destes fenômenos eram auto-correlacionadas. A diferença entre o valor teórico e empírico do parâmetro H ficou conhecida por Fenômeno de Hurst (SUTCLIFFE, 1978, p.540).

Desde então o método R/S foi amplamente utilizado na caracterização de estruturas relacionadas a fenômenos naturais e econômicos dependentes do tempo (SUTCLIFFE, 1978, p.540; MOLINA, 2002; CAJUEIRO e TABAK, 2003; MUÑOZ *et al*, 2007).

2.2. EXPOENTE DE HURST E MÉTODO RMS

Outro método, particularmente simples, que pode ser aplicado a perfis ou superfícies definidas por dados pontuais é o cálculo do desvio padrão ou RMS (do inglês “Root Mean Square” que significa desvio quadrático médio). Este método consiste em determinar o desvio em torno da altura média para os pontos de uma superfície que estão dentro de uma janela quadrada de comprimento h . O procedimento se repete para janelas de distintos tamanhos, e representa o desvio médio típico versus o tamanho h das janelas, em um gráfico

bidimensional com escalas logarítmicas. Na prática existem diversas opções, de modo que se pode utilizar janelas de mesmo tamanho h distribuídas aleatória ou sistematicamente por toda a superfície.

A demonstração sistemática de um caso particular deste método, aplicado neste trabalho, começa considerando-se inicialmente uma função discreta $Z(x_i, y_i)$ cujos valores representam as dimensões de uma superfície topográfica regularmente espaçada. A expressão para os valores médios de RMS a distintas escalas h - denominado $\overline{W}(h)$ - calculados sobre janelas vizinhas, distribuídas sequencialmente sobre todo o perfil, vem dada pela seguinte expressão:

$$\overline{W}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{u=1}^{N_h} \left\{ \frac{1}{m_h} \sum_{i \in h} \left[Z(x_i, y_i) - \overline{Z}_h \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

No qual N_h é o número total de janelas de lado h , m_h é o número de pontos que tem em cada janela de comprimento h , $\sum_{i \in h}$ simboliza a soma sobre todos os pontos pertencentes a janela de tamanho h , e \overline{Z}_h representa o valor médio das alturas para os pontos da janela. O termo entre chaves constitui o quadrado do desvio RMS para uma janela, de forma que a soma exterior executa a média sobre todas as janelas distribuídas sequencialmente sobre toda a série.

A Figura 10 ilustra a operação da equação 6 para um perfil topográfico qualquer. No caso bidimensional \overline{Z}_h é representado por um plano horizontal e o perfil por uma superfície topográfica.

Caso exista uma lei de potência entre $\overline{W}(h)$ e o tamanho da janela h para uma determinada superfície topográfica, assume-se a seguinte expressão:

$$\overline{W}(h) = L.h^H \quad (7)$$

O parâmetro H fica definido por Expoente de Hurst. Para determinar o valor de H da superfície, basta calcular a inclinação da reta do gráfico, em escala logarítmica, das rugosida-

des médias, $\bar{W}(h)$, em função de suas respectivas janelas temporais, h .

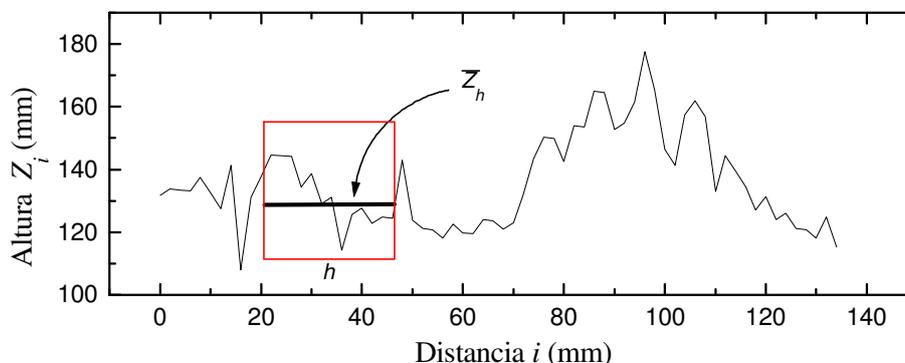


Figura 10. Procedimento para o cálculo do desvio médio, o *RMS*, em janelas de lado h (MIRANDA, 2000, p.113).

Na equação (7) a constante de proporcionalidade L tem unidade de comprimento, na verdade está relacionado com o comprimento característico do perfil. Sayles e Thomas (1978) propuseram uma expressão para L no caso em que $H=1/2$ (dito, movimento Browniano ordinário (ver anexo 3)) e Berry e Hannay (1978) a generalização para $0 < H < 1$, o movimento Browniano fracionário (ver anexo 4). Esta generalização propõe uma expressão para L cuja definição formal vem dada por uma distância σ ao longo do perfil cujo declive esperado entre os pontos, separados por σ seja igual a um (BERRY e HANNAY, 1978). O declive esperado vem definido pelo valor do desvio local, o *RMS*, entre os pontos considerados, partindo por um parâmetro, σ que é função da distância que o separa, ou seja:

$$\frac{\bar{W}(\sigma)}{\sigma} = 1 \quad (8)$$

Substituindo a equação (7) na equação (8), resulta uma expressão para a constante de proporcionalidade, L , em função do expoente H e do novo parâmetro, σ , ou seja:

$$L = \sigma^{(1-H)} \quad (9)$$

Por sua vez, a equação (7) pode se expressar em função do novo parâmetro σ com o qual se obtém:

$$\overline{W}(h) = \sigma^{1-H} \cdot h^H \quad (10)$$

Sayles e Thomas (1978) e Barry e Hannay(1978) denominaram o parâmetro σ pelo termo topotesia. Para a maioria das superfícies fractais³ reais o valor de σ é pequeno, sendo muitas vezes menor que a resolução da medida. Seu valor não tem significado físico, mas serve para representar a escala absoluta da estrutura da superfície.

Aplicando o logarítmo em ambos os lados da equação (10) obtém-se:

$$\ln(\overline{W}) = (1-H)\ln\sigma + H\ln(h) \quad (11)$$

Que é a equação de uma reta com coeficiente angular $a = H$ e coeficiente linear $b = (1-H)\ln(\sigma)$. Então, o valor da topotesia, σ , expressa em função do coeficiente linear b da reta ajustada em escala logarítmica é:

$$\sigma = \exp\left(\frac{b}{1-H}\right) \quad (12)$$

e os erros de ajuste são dados por:

$$\Delta D_p = \Delta a \quad (13)$$

e

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma[(1-H)\Delta b + b \cdot \Delta a]}{(1-H)^2} \quad (14)$$

³ A terminologia “superfícies fractais” está associada a superfícies que estruturam-se a partir da geometria fractal. A Idéia básica deste conceito é a auto-similaridade, que implica na invariância de escala (MIRANDA, 1997, p.5-12). De acordo com Mandelbrot “Um fractal é uma Figura feita de partes similares ao todo de alguma forma”. Exemplos destas estruturas vão desde o couve-flor até a geometria dos alvéolos pulmonares. Os fractais possuem uma incrível característica de ocupar o maior espaço possível com menor massa. Um exemplo desta façanha estaria nos pulmões dos seres humanos que correspondem a uma área de cerca de 5 campos de futebol. Muito provavelmente, esta estrutura faz com que haja um maior número possível de trocas gasosas de oxigênio e gás carbônico para o organismo, sem haver sobrecargas (devido a seu peso pouco expressivo dos pulmões) à caixa torácica.

O cálculo da topotesia, (12), apresenta uma singularidade para valores de H próximo a 1. Esta particularidade pode ser interpretada mediante a definição formal de topotesia; de acordo a equação (7) para $H \rightarrow 1$. $\bar{W} = cte \in \mathfrak{R}$ para todo valor de h .

Considerando um caso particular em que $cte = 0$, tem-se topologicamente uma superfície plana, com rugosidade nula, e de acordo com a definição de topotesia (equação (8)), para uma superfície de rugosidade nula ($\bar{W}(h) = 0$) tenderá a 1, no limite, quando $\sigma \rightarrow 0$.

Devido à distribuição discreta das escalas, o ajuste do gráfico em escala logarítmica não representa uma estimação precisa de H para todas as escalas, de forma que, para que os pontos estejam igualmente espaçados no gráfico de escala logarítmica, define-se uma escala inicial h_0 e as escalas seguintes são dadas mediante a relação:

$$h_i = C^i h_0 \quad (\text{para valores de } C > 1).$$

2.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

A determinação do Expoente de Hurst pode ser feita tanto pelo método *RMS*, quanto pelo método *R/S*. Para tornar plausível esta afirmativa é necessário observar se estes métodos possuem resultados equivalentes. Para resolver este problema, Miranda (1997) mostrou a equivalencia entre estes métodos gerando uma série hipotética a partir da função Weierstrass (ver anexo 2) para um Expoente de Hurst fixado em 0,5. Logo em seguida ele fez uso destes métodos à esta série encontrando um erro relativo de 0,8% para o primeiro e 1,8% para o segundo para o valor do Expoente de Hurst fixado. Isto leva a concluir que os dois métodos possuem um alto grau de precisão com razoável equivalência.

Então é possível considerar que o método *RMS* pode ser utilizado para caracterizar estruturas relacionadas a fenômenos naturais e econômicos com o mesmo nível de precisão do método *R/S*, com uma pequena exceção: o método *R/S* não se mostra muito confiável para valores pequenos do Expoente de Hurst, entre 0,1 e 0,3, com erros de até 93% (MIRANDA, 1997, p.22). A Tabela abaixo comprova esta afirmativa:

H Teórico	Método R/S		Método RMS	
	H	Err. Relat.	H	Err. Relat.
0,1	0,193	93,00 %	0,104	4,0 %
0,3	0,353	17,67 %	0,300	0,0 %
0,5	0,522	4,40%	0,490	2,0 %
0,7	0,695	0,71%	0,662	5,4 %
0,9	0,845	6,11%	0,829	7,8 %

Tabela 1. Resumo dos valores encontrados por Miranda (1997) para os métodos R/S e RMS utilizando a Função Weierstrass.

Com os dados da Tabela 1 é possível observar que o método RMS é mais preciso que o R/S para valores de H menores que 0,5. Já para Expoente de Hurst maior que 0,5 os dois métodos possuem razoáveis equivalências.

2.4. EXPOENTE DE HURST E PERSISTÊNCIA

A correlação de séries temporais pode ser manifestada a partir uma propriedade conhecida por persistência. É possível estudar esta propriedade em uma determinada série temporal, sensível às suas condições iniciais, com o auxílio do parâmetro Expoente de Hurst, ou expoente H .

De acordo com Feder (1988), as séries que possuem $H > 1/2$ são persistentes, ou seja, incrementos positivos no passado aumentam a probabilidade de incrementos positivos no futuro: Edgar Palomas Molina (2000) classifica esta propriedade dizendo que se a tendência da série temporal tenha sido positiva no último período observado, é mais fácil que esta tenda a continuar sendo positiva do que negativa no período seguinte, e o contrário também é verdadeiro.

Já as séries que possuem $H < 1/2$ são antipersistentes, que mostram que para incrementos positivos no passado, incrementos negativos no futuro têm maior probabilidade: fazendo uma adaptação do raciocínio de Edgar Molina acima pode-se dizer que se a tendência

da série temporal tenha sido positiva no último período observado, é mais fácil que esta tenda a ser negativa do que positiva no período seguinte, e o contrário também é verdadeiro.

Séries temporais independentes se manifestam com $H = 1/2$ no qual seu comportamento é não-correlacionado; quando isto acontece, a evolução temporal dessas são denominadas por Movimento Browniano Ordinário (ver anexo 3).

As séries persistentes e antipersistentes possuem memória de longo prazo, enquanto que as não-correlacionadas são sem memória (SUTCLIFFE, 1978, p.540; SOUZA *et al*, 2006). Para melhor ilustrar a propriedade persistência, à Figura 11 mostra o comportamento de três perfis distintos associados à Expoente de Hurst 0,1, 0,5 e 0,9.

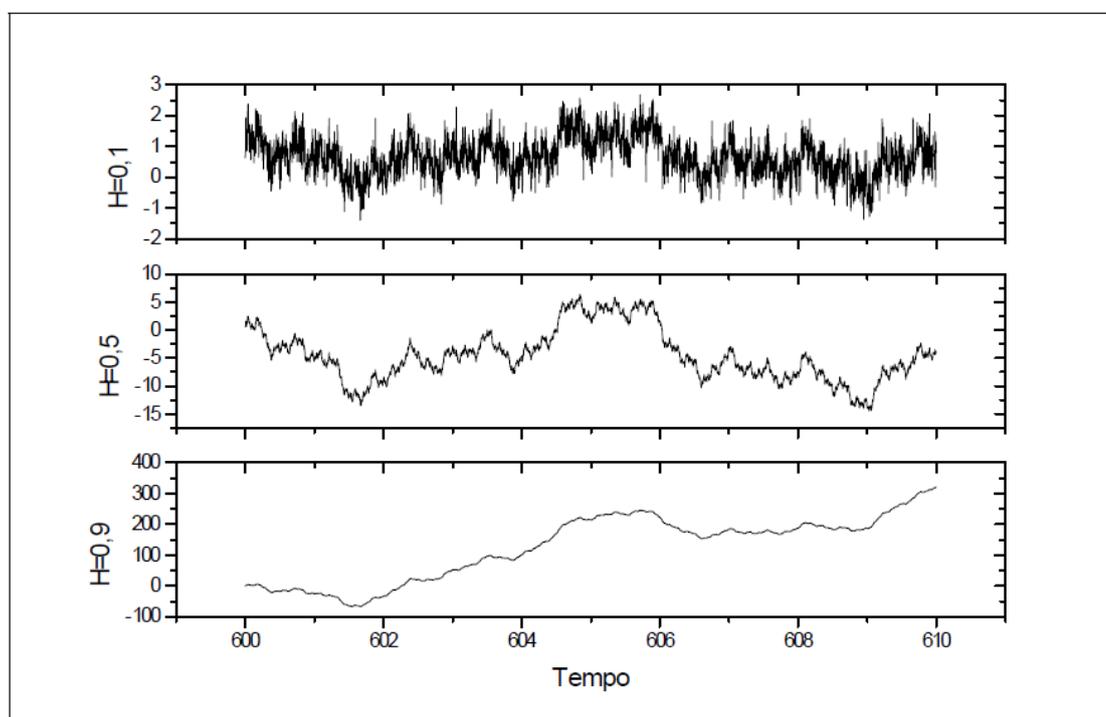


Figura 11. Movimento Browniano Fracionário (MIRANDA, 1997, p.18).

Um bom exemplo desta relação de persistência é o movimento Browniano fracionário (ver anexo 4) que podemos relacionar, a título de ilustração, às flutuações de um mercado de câmbio fictício. Se as flutuações deste mercado são persistentes, então haverá uma probabilidade maior de acentuadas valorizações e desvalorizações do valor do dólar em longo prazo, isto geraria dispersões grandes deste valor em torno da média à medida que o tempo fosse passando tornando-o atrativo para especuladores interessados em obter altas somas de lucros com estas dispersões.

Já quando há antipersistência, as flutuações deste mercado são pequenas á longo prazo, comparando-as com as flutuações persistentes, por causa de menores dispersões em

torno da média, se comparado com as flutuações cambiais persistentes, que esta propriedade proporciona. Isto geraria um processo mais lento de valorização ou desvalorização do câmbio com o tempo (em flutuações cambiais persistentes este processo é mais acelerado), tornando este mercado pouco atrativo para especuladores por causa das baixas somas de lucro proporcionadas pelo mesmo.

Para flutuações cambiais brownianas teríamos um mercado com oscilações de preços independentes entre si, este comportamento representaria o caminho do meio entre a persistência e a antipersistência.

Do que já foi exposto é possível concluir que o Expoente de Hurst é um parâmetro capaz de descrever o comportamento de sistemas ao mesmo tempo complexos e caóticos, compostos por um número muito alto de variáveis que as influenciam e extremamente sensíveis a estas, e com isso poder ter uma noção de como emerge um comportamento global destes. Ou seja, o Expoente de Hurst é capaz de evidenciar algumas características do mecanismo de auto-regulação destes sistemas.

2.5. EXPOENTE DE HURST E EFICIÊNCIA DE MERCADOS⁴

Além de informar sobre a persistência, é possível extrair informações do Expoente de Hurst do ponto de vista econômico, isto é, sobre o grau de eficiência de um determinado mercado.

Antes de explorar este tipo de informação será feita uma pequena explanação sobre a relação existente entre as flutuações cambiais brasileiras e o índice Bovespa para comparar o grau de eficiência escolhido por Cajueiro e Tabak (2003), associado com os mercados de ações de bolsas de valores, com o mercado de câmbio: à medida que o câmbio tende a se valorizar, o índice Bovespa tende a se comportar de forma contrária.

Para uma questão de ilustração serão citados dois exemplos que podem mostrar esta relação: quando o Brasil recebe o título de grau de investimento (CAROLO, 2008, p.38), este

⁴ Além da eficiência de mercados, o Expoente de Hurst pode trazer outras informações do ponto de vista econômico. SOUZA et al (2006) utilizaram o método *R/S* para investigar a memória de longo prazo (com o auxílio do Expoente de Hurst) do câmbio no Brasil entre os anos de 1995 e 2004. Edgar Palomas Molina (2000) mostra que existe uma influência de questões emocionais nos mercados de capitais, que se expressa na forma de uma relação correlacionada entre passado e futuro no mercado de capitais. Para comprovar esta premissa o autor fez um estudo da persistência dos índices de preços e ações IPC, IPC por setores, Dow Jones e S&P500, tendo como auxílio a determinação do Expoente de Hurst destas séries a partir do método *R/S*.

título mostra que a economia brasileira é estável e pouco propensa a calotes, então começa a existir uma maior atração pelas ações de empresas brasileiras na Bovespa por parte dos investidores estrangeiros.

Isto tende a acontecer porque os investidores ficam mais seguros com estas ações devido a possibilidade de altas somas de lucro tornar-se mais concreta. À medida que surge este interesse, estes investidores são forçados a converter o dólar em reais para ser possível a compra destas ações. Quando isto acontece há uma tendência de valorização do índice Bovespa e uma de desvalorização do câmbio. Já quando o mundo mostra rumores de um possível período de crise econômica (GALLE *et al*, 2009), os investidores tendem a se desfazer de suas ações, consideradas como investimento de risco, e procurar um investimento mais seguro como o dólar, que é a moeda dos comércios entre as nações mundiais. Isto faz com que haja uma forte tendência de valorização do câmbio e desvalorização do Índice Bovespa.

Portanto, é possível concluir que as flutuações destes mercados tendem a um mesmo comportamento por causa da grande demanda ou oferta, ora por dólares ora por ações da Bovespa que são condicionadas pelo comportamento do cenário econômico do Brasil e do mundo.

Cajueiro e Tabak (2003) observaram que a eficiência de mercados de bolsa de valores está associada com $H = 1/2$. Segundo estes a velocidade na transmissão de informação em mercados eficientes é muito grande e há uma grande sincronia entre os agentes destes mercados que transmitem estas informações.

Portanto, eles acharam razoável considerar as maiores economias do mundo globalizado, o Japão e os Estados Unidos, como as mais eficientes. Com esta informação foi possível observar a ascensão de mercados emergentes. Para testar esta ascensão, eles selecionaram um banco de dados de cotações diárias de índices de Bolsas de Valores de alguns países emergentes e as do Japão e Estados Unidos entre janeiro de 1992 e dezembro de 2002. Para calcular o Expoente de Hurst destas flutuações eles utilizaram o método *R/S* e chegaram à conclusão de que as flutuações dos índices das bolsas de valores do Japão e dos Estados Unidos tendiam a 0,5 enquanto que os países emergentes se distanciavam mais deste valor.

Pablo Muñoz *et al* (2007) estudaram as flutuações cambiais do Brasil (relação entre o dólar e o real) e do Chile (relação entre o dólar e o peso Chileno). Eles notaram, com o auxílio do método RMS, que as flutuações cambiais brasileiras entre os anos de 1999 a 2005 ainda não se aproximaram da estrutura de um mercado eficiente. Já as flutuações cambiais chilenas entre os anos de 1982 e 2002 estão tendendo a um grau de eficiência maior.

É possível concluir então que o grau ideal de eficiência de mercados, tanto cambial quanto de índice de bolsa de valores, está associado a $H = 1/2$. Este parâmetro pode servir para observar quanto os mercados de um país emergente está distante do grau ideal de eficiência. Possivelmente o tamanho desta distância está associado a inúmeros fatores, tais como: nível de distribuição de renda, de emprego, de produção industrial, de produção agrícola e o investimento em educação da população nestes países.

3. METODOLOGIA

3.1. DADOS

Foram coletados dados referentes às cotações diárias do dólar no Brasil, Argentina e Canadá, ou seja, para cada dia foi extraída a relação entre o dólar dos Estados Unidos e o real brasileiro, o dólar dos Estados Unidos e o peso argentino e o dólar dos Estados Unidos e o dólar canadense respectivamente, entre os anos de 1995 e 2008 (TAXAS DE CÂMBIO, 2009).

Além da cotação diária do dólar para estes países, foram acrescentadas as cotações do dólar no México (MERCADO CAMBIÁRIO, 2009) entre os anos de 1992 e 2008 e da Austrália (HISTORICAL EXCHANGE RATE, 2009) entre os anos de 1984 e 2008. O resumo destes dados está na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2

Resumo dos dados coletados

PAÍS	DATA DE INÍCIO	DATA FINAL	Nº TOTAL DE DADOS	DATA DA MUDANÇA DO REGIME CAMBIAL	Nº MÉDIO DE COTAÇÕES DIÁRIAS ANUAIS
BRASIL	02/01/1995	31/12/2008	3513	18/01/1999	250
ARGENTINA	02/01/1995	31/12/2008	3513	06/01/2002	250
CANADÁ	02/01/1995	31/12/2008	3513	31/05/1970	250
MÉXICO	01/01/1992	31/12/2008	6052	22/12/1994	350
AUSTRÁLIA	03/01/1984	31/12/2008	6339	12/12/1983	250

Fonte: Os dados coletados entre 02/01/1995 e 31/12/2008 foram extraídos de Taxas de Câmbio (2009). Os dados mexicanos foram extraídos de Mercado Cambiário (2009), e os da Austrália de Historical Exchange Rate (2009). As datas de mudança dos regimes cambiais no Brasil, Argentina, Canadá, México e Austrália foram obtidas de Souza et al. (2006), Faucher e Armijo (2004), Powell (2005), Mercado Cambiário (2009) e Historical Exchange Rate (2009), respectivamente.

Os países Argentina, México foram acrescentados com o objetivo de fazer uma comparação da crise cambial brasileira com a crise cambial destes países.

Os países Canadá e Austrália (países que possuem economias estáveis) foram adicionados durante seus períodos de flutuação do câmbio, para se validar a associação da eficiência do mercado de bolsa de valores com $H = \frac{1}{2}$ encontrada por Daniel O. Cajueiro e Benjamim M. Tabak (2003) para o mercado de câmbio dos países em desenvolvimento considerados.

As Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 mostram as cotações diárias do dólar dos Estados Unidos em função do tempo em dias para o Brasil, México, Argentina, Canadá e Austrália, respectivamente.

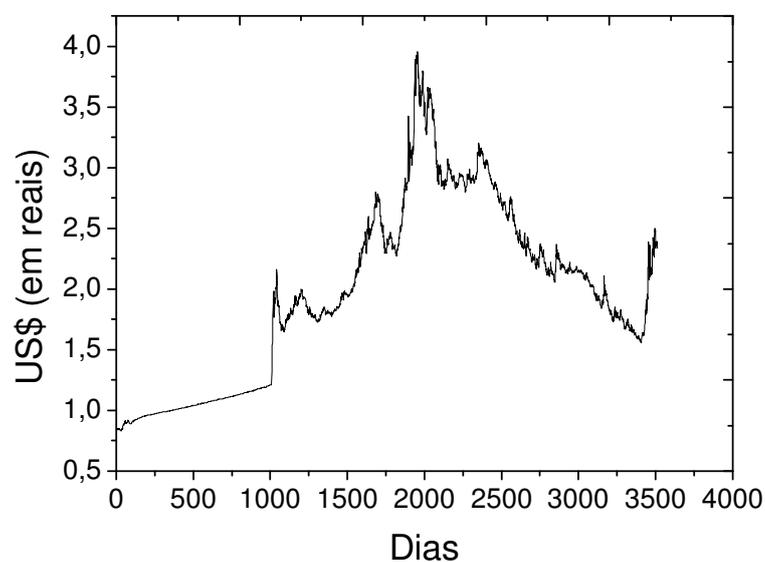


Figura 12. Evolução temporal do real brasileiro em função do dólar dos Estados Unidos

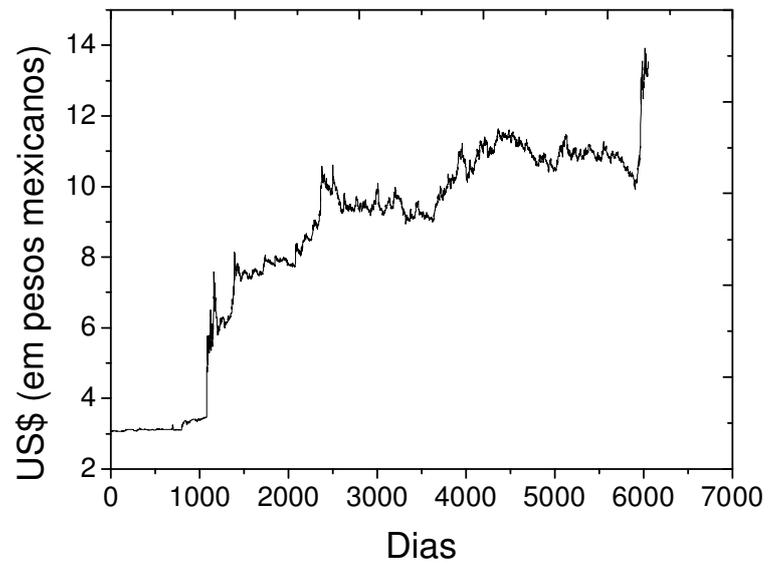


Figura 13. Evolução temporal do peso mexicano em função do dólar dos Estados Unidos

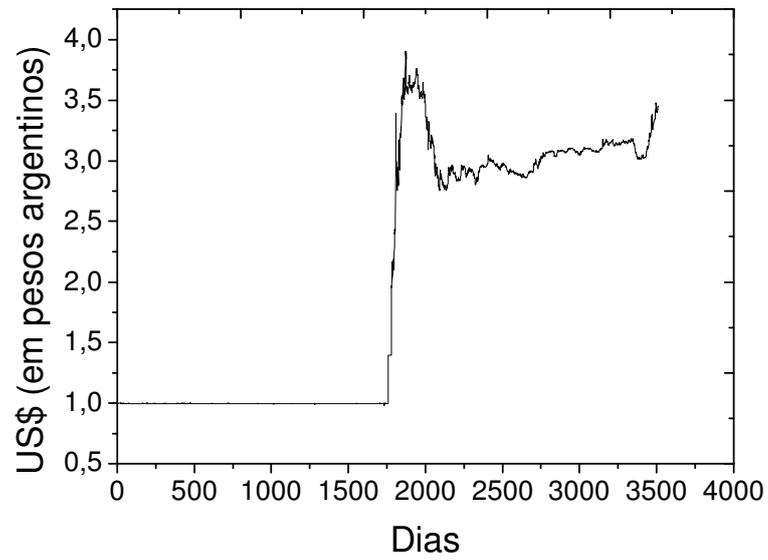


Figura 14. Evolução temporal do peso argentino em função do dólar dos Estados Unidos

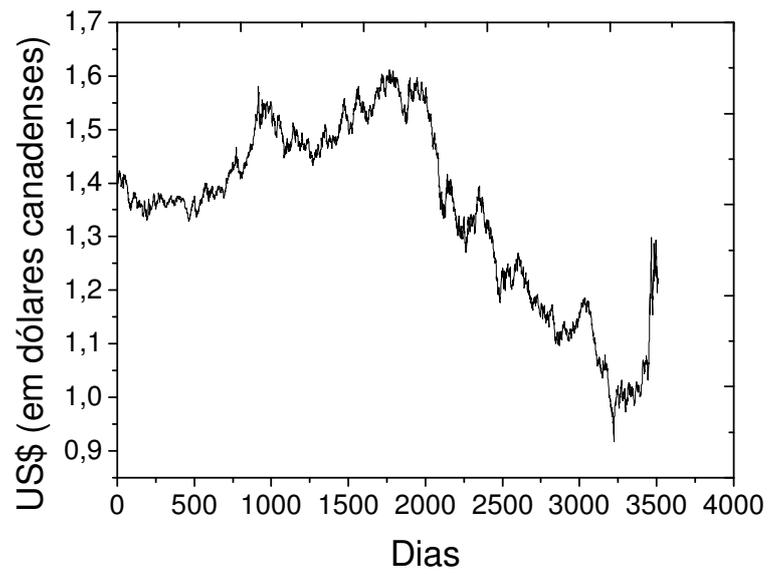


Figura 15. Evolução temporal do dólar canadense em função do dólar dos Estados Unidos

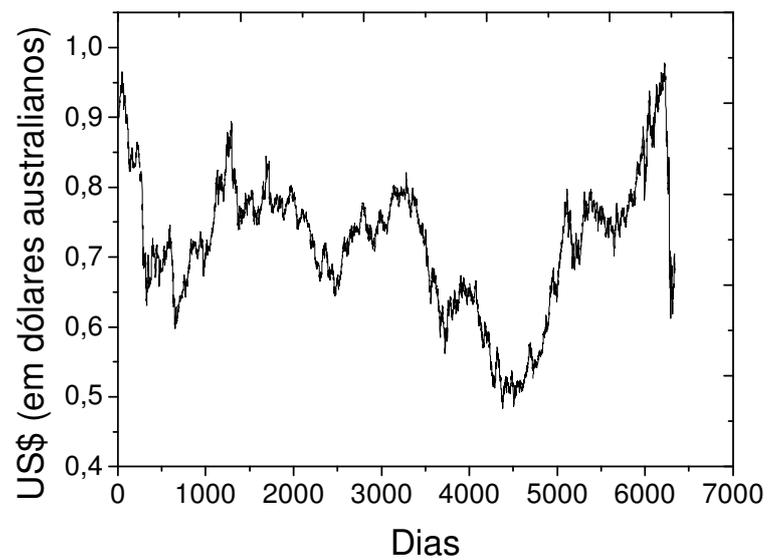


Figura 16. Evolução temporal do dólar australiano em função do dólar dos Estados Unidos

3.1.1. O PROBLEMA *OUT-LIER* ARGENTINO

Ao comparar o resumo dos dados coletados da Argentina na Tabela 2 com a Figura 14, é possível observar que entre os anos de 1995 e 2001 a Argentina optou por adotar um regime

de câmbio fixo, com uma paridade fixada entre um dólar dos Estados Unidos e um peso argentino. À primeira vista parece ser bem determinada esta paridade, mas ao diminuir a escala percebe-se que não é bem assim. Ao isolar as cotações do dólar para Argentina no ano de 1999, por exemplo, é possível observar que há certa flutuação do câmbio, na qual existe um ponto que possui distância média dos dados de aproximadamente 7 vezes maior que o desvio padrão da série. Este ponto corresponde ao dia 25/01/1999, momento no qual o dólar dos Estados Unidos valia 0,98802 pesos argentinos. Nos dias 22/01/1999 (dia anterior) e 26/01/1999 (dia posterior) os valores do dólar dos Estados Unidos eram respectivamente 0,99762 e 0,99785. A Figura 17 mostra essas características com detalhes:

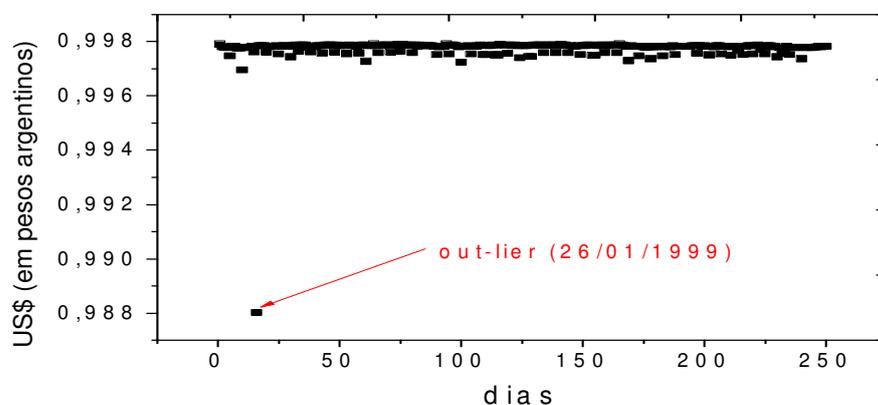


Figura 17. Cotação diária do dólar na Argentina para o ano de 1999

As flutuações do dólar dos Estados Unidos em torno de 1 peso argentino e o problema *out-lier* se repetiu nos anos de 2000 e 2001 nos dias 11/02/2000 (neste dia o dólar dos Estados Unidos valia 0,99161 pesos argentinos) e 03/12/2001 (neste dia o dólar dos Estados Unidos valia 0,9984 pesos argentinos), sendo que no dia 10/02/2000 (dia anterior a 11/02/2000) o dólar dos Estados Unidos valia 0,99779 pesos argentinos, no dia 14/02/2000 (dia posterior a 10/02/2000) o dólar dos Estados Unidos valia 0,99777 pesos argentinos, no dia 30/11/2001 (dia anterior a 03/12/2001) o dólar dos Estados Unidos valia 0,98303 pesos argentinos e no dia 04/12/2001 o dólar dos Estados Unidos valia 0,9975 pesos argentinos. Isto fez com que o método *RMS* (ver seção 3.2) não mostrasse resultados aceitáveis para estes períodos.

Para resolver este problema foi feita uma escolha de trocar os pontos *out-liers* pelos valores médios das cotações do dólar entre seus primeiros vizinhos. Todos os resultados

discutidos neste trabalho foram obtidos levando em consideração esta solução do problema dos out-liers.

Este problema não foi identificado nos outros países estudados.

3.2 ANÁLISE DE HURST DISCRETA

Nesta fase foram selecionadas, em arquivos diferenciados, todas as cotações diárias anuais do dólar dos Estados Unidos com relação às moedas: real (moeda brasileira), peso argentino (moeda argentina), dólar canadense (moeda canadense), peso mexicano (moeda mexicana) e dólar australiano (moeda australiana). Cada um destes arquivos possui uma coluna de números referentes ao valor do dólar dos Estados Unidos com relação as suas moedas locais.

Encerrada a etapa de separação dos dados em arquivos diferenciados, fez-se uso do algoritmo RMS elaborado na Linguagem de Programação Fortran (Ver Apêndice 1). Este algoritmo inicialmente lê um dos arquivos de entrada, citado acima, e fornece como resultado um arquivo de saída com duas colunas: a primeira corresponde às escalas temporais, h , e a segunda aos respectivos valores de rugosidades médias, $\overline{W}(h)$ (ver seção 2.2).

As escalas usadas foram obtidas a partir de uma inicial de 4 dias e a final corresponde a metade do tamanho do perfil. As seguintes foram encontradas sequencialmente a partir de uma progressão, na qual o termo seguinte seria um número inteiro 10% maior que o número anterior. Isto foi feito para que todos os pontos estudados $(h, \overline{W}(h))$ tivessem o mesmo peso no espaço logaritmo, fazendo com que estes fiquem igualmente espaçados.

Este processo se finaliza com a determinação do Expoente de Hurst das flutuações anuais do câmbio, via análise gráfica. Para tanto, se faz em gráfico log x log a relação entre as rugosidades médias, $\overline{W}(h)$, e as escalas estudadas, h (ver seção 2.2).

Esta forma de determinação do Expoente de Hurst possui problemas, porque a análise das flutuações cambiais é resumida somente na determinação anual do valor deste expoente, e com isso não é possível obter informações sobre o comportamento das flutuações do câmbio entre dois anos consecutivos. Esta alternativa seria viável, porque com ela é possível obter informações mais precisas sobre o comportamento do Expoente de Hurst na mudança de

câmbio fixo para flutuante, além de tornar mais suave as curvas do Expoente de Hurst em função das escalas temporais anuais. Ou seja, é mais proveitoso mudar o estudo da análise discreta do Expoente de Hurst (relação entre o valor do Expoente com o ano) visto nesta seção para uma abordagem contínua do mesmo. A próxima seção faz a abordagem da análise contínua do Expoente de Hurst com mais detalhes.

3.3 ANÁLISE DE HURST CONTÍNUA

Da mesma forma que na análise discreta do Expoente de Hurst, foram separados em arquivos diferenciados, todas as cotações diárias e anuais do dólar dos Estados Unidos com relação ao real, ao peso argentino, ao dólar canadense, ao peso mexicano e ao dólar australiano, com a ressalva de que em cada um desses arquivos constam duas colunas: a primeira referente a uma sequência ordinária de dias (dia 1, dia 2, dia 3 e assim sucessivamente) em que definiu-se cotações diárias do dólar; e, na segunda, consta os respectivos valores do dólar norte-americano com relação às moedas dos países estudados.

Ao encerrar esta etapa de separação dos dados em arquivos diferenciados, fez-se uso de outro algoritmo RMS elaborando um programa em Linguagem C (Ver Anexo 1). Este programa executa o cálculo RMS a partir de cinco parâmetros: o primeiro é o nome do arquivo de entrada, estruturado da forma comentada acima; o segundo é o nome do arquivo de saída no qual dispõe os resultados esperados; o terceiro é um número que corresponde ao tamanho da escala anual considerada (ver Tabela 2); e os últimos parâmetros referem-se ao início e ao fim da escala temporal diária, h , para determinação do Expoente de Hurst (ver seção 3.2.2).

Após serem fornecidos estes parâmetros, este programa faz todas as etapas da Análise discreta do Expoente de Hurst vista na seção 3.2.2 para valores fixos de escalas temporais anuais varridas por toda a série diariamente, por exemplo: para os países que possuem um número médio de cotações diárias anuais de 250 dias (ver Tabela 2), este algoritmo segue toda a sequência da análise discreta da seção 3.2.2 para escalas temporais entre 1 e 250 dias, em seguida, o programa move a janela anual um dia, ou seja, calcula o expoente para a série compreendida entre o dia 2 e o dia 251, depois entre os dias 3 e 252 e assim sucessivamente.

Para todos os países o tamanho da janela anual foi de 250 dias, com exceção do México que foi de 350 dias (ver Tabela 2), possivelmente porque o mercado de câmbio

mexicano deve funcionar aos sábados e domingos. E para os outros países estudados isto provavelmente não deve acontecer.

Esta forma de fixar valores de escalas temporais e anuais varridos diariamente por toda a série faz com que a análise contínua do Expoente de Hurst fique defasada em 1 ano, porque este algoritmo calcula o valor deste expoente a partir do primeiro dia da escala temporal anual considerada. Estes valores de escalas temporais anuais fixadas são fornecidos ao terceiro parâmetro. O último parâmetro foi expresso nas escalas temporais diárias, h , entre 4 e 42 dias nas séries de todos os países expressos na Tabela 2 (ver Figuras 11, 12, 13, 14 e 15).

Este programa expressa seu resultado em um arquivo de saída (no qual o seu nome é especificado no segundo parâmetro do programa) com um conjunto de números dispostos em quatro colunas. A primeira se refere a uma sequência de números ordinários correspondentes as escalas temporais anuais estudadas, por exemplo: para os países que possuem um número médio de cotações diárias anuais de 250 dias, o número 1 desta coluna corresponde a escala temporal entre o dia 1 e o dia 250, o número 2 corresponde a escala temporal entre 2 e 251 dias, e assim sucessivamente; para o México esta sequência se modifica somente acrescentando mais 100 dias para o limite final da escala temporal comentada logo acima. A segunda, terceira e quarta colunas correspondem aos respectivos valores do Expoente de Hurst, desvio padrão e coeficiente de correlação de Pearson, R^2 .

As Tabelas 3 e 4 ilustram os modelos de formato para os arquivos de entrada e de saída, respectivamente, para a Argentina com três dias.

Dias	Valores do dólar em pesos argentinos
1	0.996
2	0.997
3	0.9974

Tabela 3. Modelo de arquivo de entrada para a Argentina

Sequência Ordinária	H	Desvio Padrão	R^2
1	0,09	0,01	0,95486
2	0,09	0,01	0,95211
3	0,09	0,01	0,9443

Tabela 4. Modelo de arquivo de saída para a Argentina

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO MERCADO DE CÂMBIO

Para observar a eficiência do mercado de câmbio durante o regime de câmbio flutuante, foram calculados os valores médios dos Expoentes de Hurst durante este regime para todos os países considerados. Os resultados destes cálculos se encontram na Tabela 5:

PAÍS	$\langle H \rangle$
Canadá	$0,50 \pm 0,06$
Austrália	$0,52 \pm 0,06$
México	$0,53 \pm 0,05$
Brasil	$0,57 \pm 0,08$
Argentina	$0,57 \pm 0,08$

Tabela 5. Valores Médios do Expoente de Hurst, durante o regime de câmbio flutuante, para os países considerados.

Da Tabela 5 é possível observar que os valores do Expoente de Hurst encontrados para os países Canadá e Austrália se aproximam mais do valor de $H=0,5$ que os outros países considerados. Como estes países desenvolvidos possuem economias mais estáveis que a dos países em desenvolvimento considerados, então é possível concluir que a eficiência do mercado de câmbio está associada ao Expoente de Hurst 0,5, de forma similar ao encontrado por Daniel Cajueiro e Benjamim Tabak (2003) em seu trabalho com as flutuações da bolsa. Um fato curioso é que o México possui um valor de Expoente de Hurst mais próximo de 0,5 que os países Argentina e Brasil, e, além disso, o valor do seu expoente está muito próximo dos países desenvolvidos considerados, ou seja, o mercado de câmbio deste país está mais próximo do grau ideal de eficiência que os países Brasil e Argentina.

4.2 ANÁLISE DE HURST NA MUDANÇA ENTRE OS REGIMES DE CÂMBIO FIXO E CÂMBIO FLUTUANTE

4.2.1 ABORDAGEM DISCRETA

As Figuras 18 e 20 mostram os resultados RMS obtidos para os países Austrália e Brasil, respectivamente. O intervalo mais próximo de um comportamento linear foi considerado entre as escalas temporais, h , de 4 e 42 dias como pode ser observado pelas duas linhas verticais nestas Figuras e, portanto, o Expoente de Hurst fica determinado a partir da inclinação do gráfico na região linear considerada. Este mesmo estudo foi feito para os outros países, nos quais o melhor intervalo de determinação do Expoente de Hurst também foi considerado entre as escalas temporais, h , entre 4 e 42 dias.

Os resultados obtidos para o Expoente de Hurst em função dos anos para os países Austrália e Brasil se encontram nas Figuras 19 e 21, respectivamente.

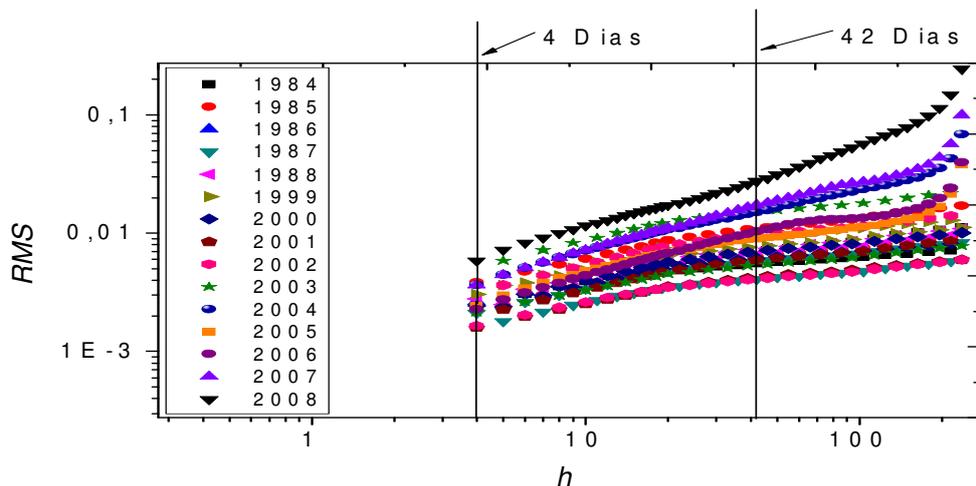


Figura 18. Resultado *RMS* para as flutuações cambiais australianas

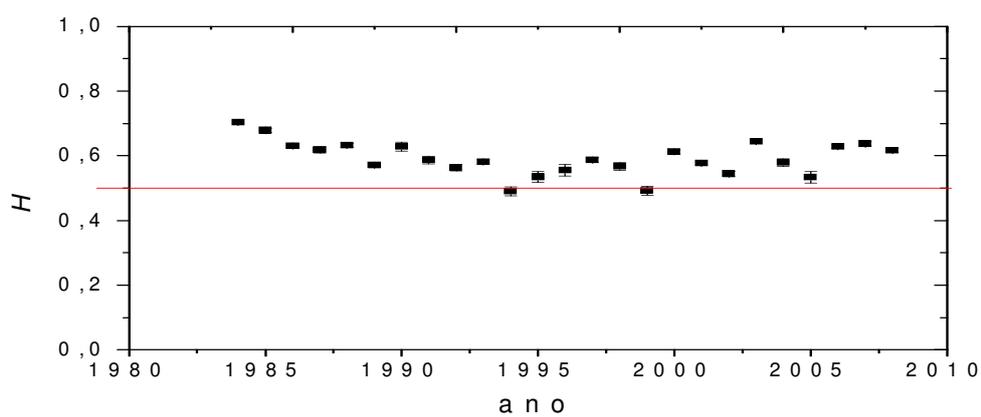


Figura 19. Evolução anual do Exponente de Hurst para as flutuações cambiais australianas

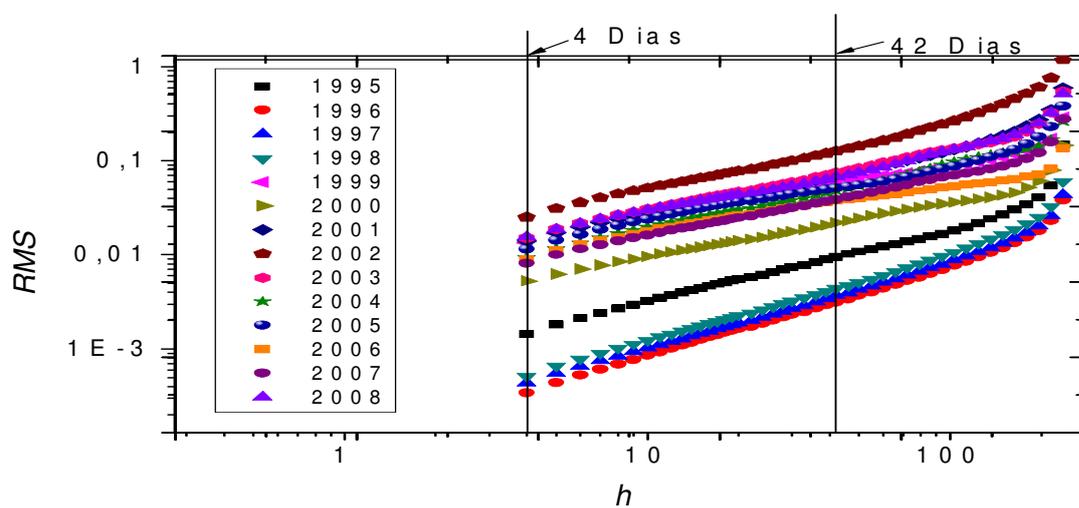


Figura 20. Resultado *RMS* para as flutuações cambiais brasileiras

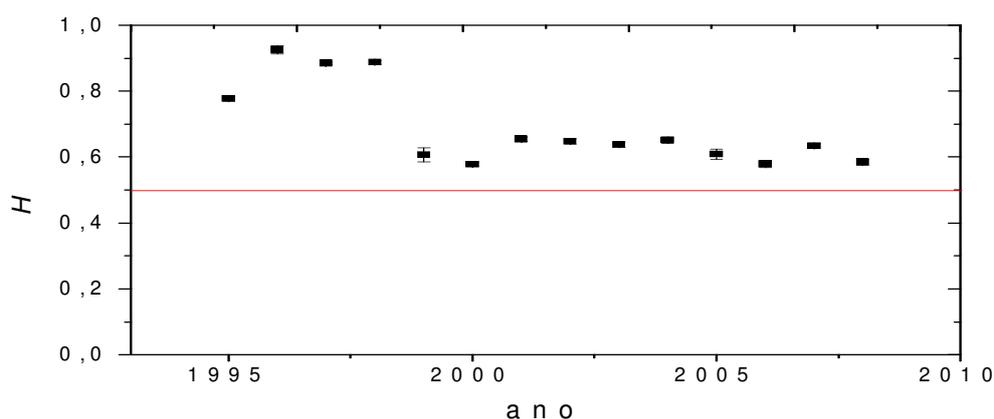


Figura 21. Evolução anual do Expoente de Hurst para as flutuações cambiais brasileiras

No comportamento das flutuações cambiais brasileiras expresso na Figura 20 é possível observar que, durante todo o período considerado (ver Tabela 2), houve persistência (memória de longo prazo) destas flutuações; com a ressalva de que o comportamento de câmbio fixo refletiu valores do Expoente de Hurst próximo de 1, enquanto que durante o regime de câmbio flutuante houve tendência de estabilidade do valor do Expoente de Hurst em torno de $H=0,6$.

Já para a Austrália, a Figura 21 mostra que as suas flutuações cambiais possuem valores do Expoente de Hurst mais próximos de 0,5 se comparados com o Brasil (ver seção 4.1).

4.2.2 ABORDAGEM CONTÍNUA

As Figuras 22, 23, 24, 25 e 26 mostram os resultados da análise contínua do Expoente de Hurst para a Argentina, Austrália, Brasil, Canadá e México, respectivamente. É sensivelmente notória, para que para Brasil e Argentina, uma região de expressiva variação do valor do Expoente de Hurst, que corresponde ao período de crise cambial, ou seja, o período de mudança entre o regime de câmbio fixo e câmbio flutuante para estes países.

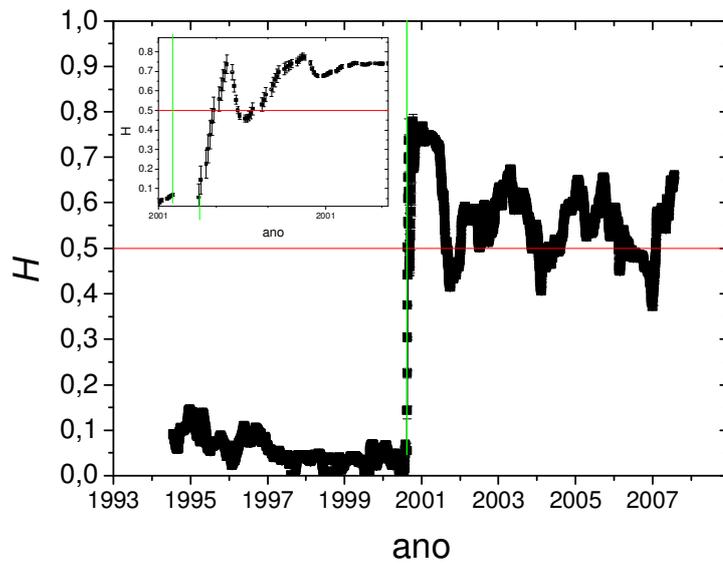


Figura 22. Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais argentinas. . A figura intercalada representa uma ampliação no ponto de mudança entre fixo e flutuante

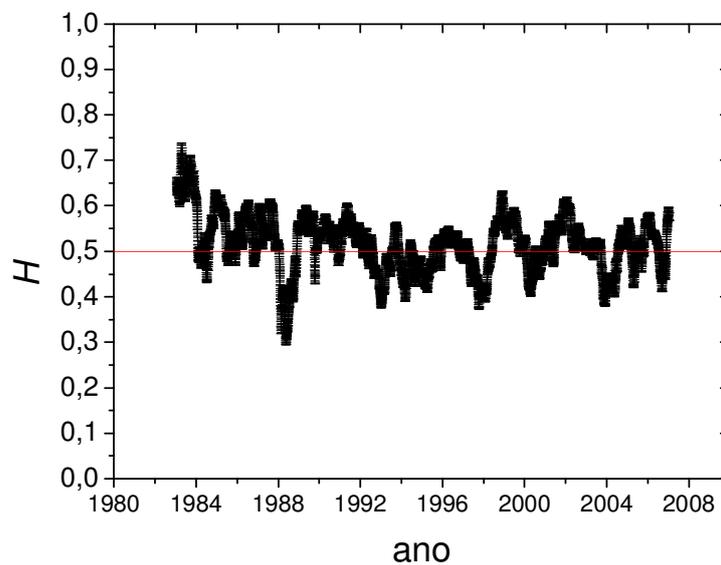


Figura 23. Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais australianas.

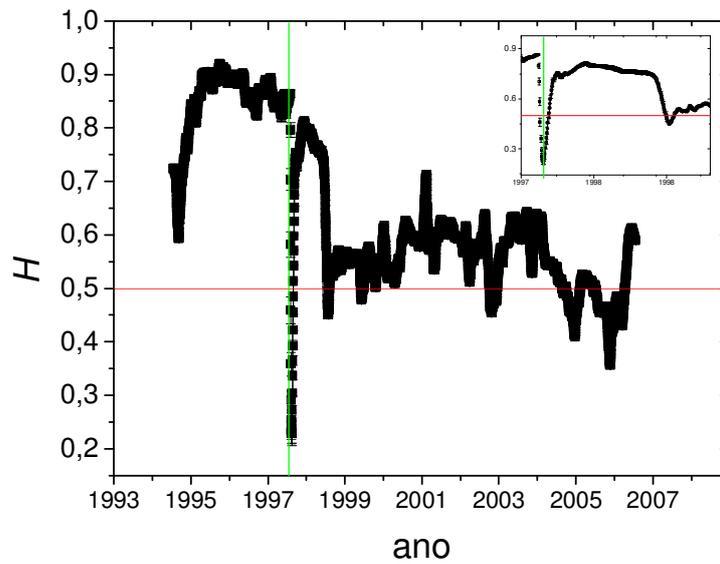


Figura 24. Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais brasileiras. A figura intercalada representa uma ampliação no ponto de mudança entre fixo e flutuante

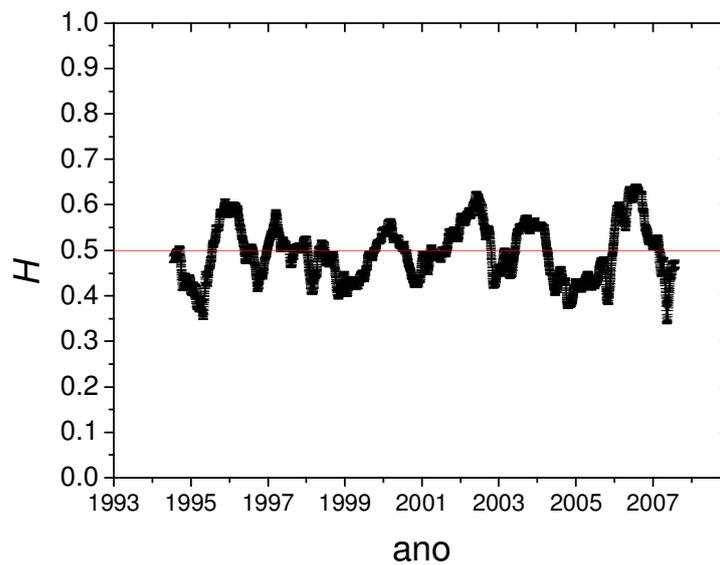


Figura 25. Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais canadenses.

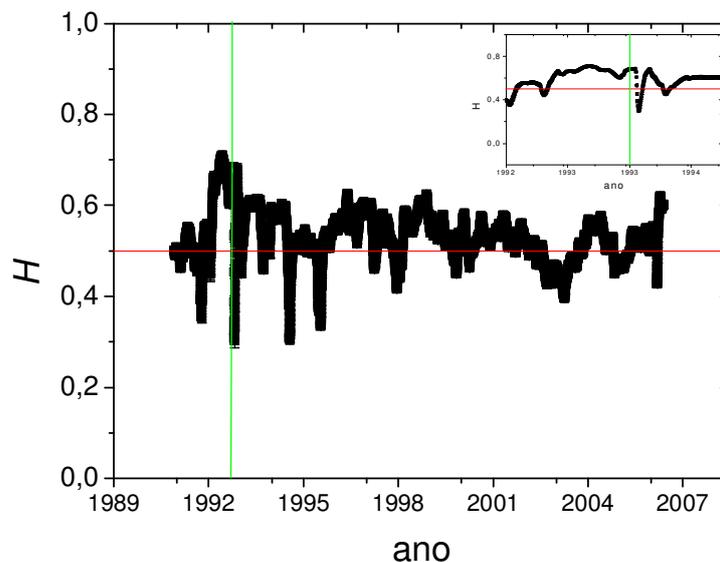


Figura 26. Resultado da Análise Contínua do Expoente de Hurst para as Flutuações Cambiais mexicanas. . A figura intercalada representa uma ampliação no ponto de mudança entre fixo e flutuante

O comportamento das flutuações cambiais brasileiras está expresso na Figura 24. É possível observar que, durante boa parte do período considerado (ver Tabela 2), houve persistência (memória de longo prazo) destas flutuações, com a ressalva de que na região à esquerda da linha verde houve uma aproximação para o Expoente de Hurst 1. Muito provavelmente isto deve expressar políticas cambiais que o governo brasileiro tomou no sentido de preparar o cenário econômico brasileiro na época para o regime de câmbio fixo. Na região à direita da linha verde houve grandes variações do Expoente de Hurst, se comprado com a região anterior, isto muito possivelmente deve está associado a períodos de crises internas associadas, por exemplo, a dívida externa brasileira. Nos últimos anos houve uma tendência para valores do Expoente de Hurst 0,5, ou seja, o mercado de câmbio brasileiro estava caminhando para o grau ideal de eficiência. Esta tendência se acabou no último ano considerado, muito possivelmente devido à crise econômica mundial, que começou por volta de setembro de 2008.

Já a Figura 22 mostra que o comportamento do regime de câmbio flutuante argentino teve um comportamento muito similar ao brasileiro no que diz respeito a períodos de grandes variações dos valores do Expoente de Hurst se comparado com o regime de câmbio fixo e a tendência para o Expoente de Hurst 0,5 quebrada pela grave crise econômica mundial. Agora, durante o regime de câmbio fixo (anterior a linha verde) houve uma predominância de

antipersistência (ver seção 2.4) com $H \rightarrow 0$, isso muito possivelmente expressa flutuações do câmbio, apesar da tentativa deste país em manter fixa a paridade entre um dólar e um peso argentino (ver Figura 13).

A evolução anual das flutuações cambiais mexicanas é observada na Figura 28, que mostra que, entre os últimos anos do regime de câmbio fixo e os primeiros anos do regime de câmbio flutuante houve grandes variações do Expoente de Hurst em torno de meio se comparado com a maior parte do regime de câmbio flutuante. Muito possivelmente isto deve está associado à grande crise econômica que teve seu ápice no ano de 1994 (ver seção 1.2). Já durante a maior parte do regime de câmbio flutuante deste país houve uma tendência para o Expoente de Hurst 0,5 mais expressiva que a do Brasil e da Argentina (ver seção 4.1).

As Figura 23 e 25 mostram que as flutuações cambiais australianas e canadenses, respectivamente, durante o regime de câmbio flutuante (ver Tabela 2), possuem valores do Expoente de Hurst bem próximos de 0,5 se comparados com a Argentina, o Brasil e o México (ver seção 4.1). Ou seja, a hipótese dos mercados eficientes na qual associa maior eficiência aos países desenvolvidos, que na literatura estava associada somente ao mercado de bolsa de valores (ver seção 2.5), também se adéqua ao mercado de câmbio.

Durante a mudança do regime de câmbio fixo para câmbio flutuante houve no Brasil uma crise cambial na qual os agentes deste mercado estavam muito inseguros com relação ao futuro do cenário econômico brasileiro (ver seção 1.2) e, portanto, houve uma forte variação do Expoente de Hurst durante a mudança entre estes dois regimes se comparado com o comportamento dos valores deste expoente durante os períodos de câmbio fixo ou câmbio flutuante.

Como nas Figuras 22 e 26 também é possível observar uma variação expressiva do Expoente de Hurst no momento de mudança entre o regime de câmbio fixo e câmbio flutuante para a Argentina e o México, respectivamente. Então é possível concluir, por comparação ao caso brasileiro, que houve também uma grande insegurança dos agentes do mercado de câmbio destes países para com o cenário futuro de suas economias.

Nas Figuras 22 e 24 é notória a grande semelhança do comportamento do regime de câmbio flutuante argentino e brasileiro, respectivamente. Esta premissa está comprovada na seção 4.1, na qual mostra que os valores médios do Expoente de Hurst para estes países são muito próximos. Muito provavelmente isto deva está mostrando que há certa “sintonia” entre os mercados de câmbio brasileiro e argentino, ou seja, deve haver muitas operações de arbitragem (ver seção 1.3) entre os mercados de câmbio destes países.

4.3 MEDIDAS INTERVENCIONISTAS DO BANCO CENTRAL DO BRASIL NO MERCADO DE CÂMBIO EM 2005

Se compararmos as flutuações do dólar do ano de 2005 com o ano seguinte, é possível observar que no primeiro houve uma forte tendência de queda do valor do dólar maior que no segundo. Isso pode ser observado nas Figuras 27 e 28.

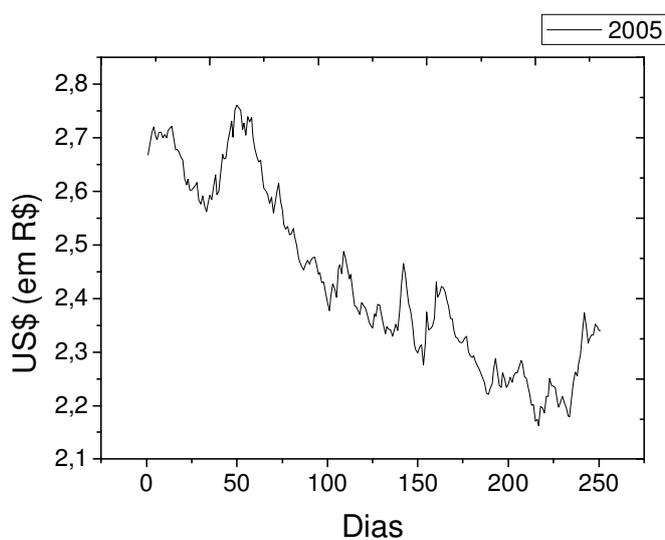


Figura 27. Cotação diária do dólar no Brasil para o ano de 2005.

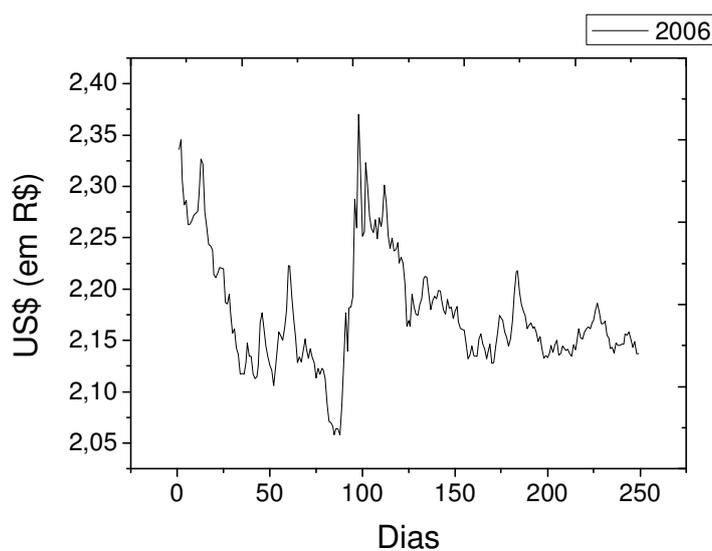


Figura 28. Cotação diária do dólar para o ano de 2006.

Para conter esta forte tendência de valorização do real frente ao dólar, o Banco Central do Brasil optou por fazer leilões de dólares com os Dealers comprando-os destes (ver seção 1.3) com o objetivo de diminuir a forte tendência de desvalorização do dólar frente ao real.

Jason Freitas Vieira e Thiago Davino (2005) fazem um pequeno comentário desta tendência expressiva de queda do valor do dólar no Brasil, mostrado abaixo:

Conforme relatamos nos últimos Visão Cambial, os leilões Swap Reverso (leilões de dólares entre o Banco Central do Brasil e os Dealers) seriam no curto prazo os instrumentos mais eficientes do BACEN (Banco Central do Brasil) para freiar a valorização do real e surtiram o efeito esperado, como verificado nas duas últimas semanas. Porém a tendência ainda é de queda, marcada pela união de fatores tais como os altos juros reais do Brasil, os baixos juros reais no mercado externo, a força líquidez internacional e os consecutivos recordes na balança comercial brasileira. As posições vendidas ainda continuam fortes, apesar de terem diminuído e o dólar deve continuar a experimentar alguns leves suspiros durante a semana, principalmente em caso de leilões de Swap Reverso, que tem maior eficácia em relação à intervenção no mercado de câmbio. Os leilões devem continuar ocorrendo nos próximos dias (VIEIRA E DAVINO, 2005, p.2).

Com o objetivo de tentar estudar a reação do mercado de câmbio brasileiro com relação à medida intervencionista do Banco Central a este mercado, foi calculado o expoente de Hurst para as flutuações cambiais brasileiras no ano de 2005.

Para tanto, foi utilizado o método RMS (ver seção 3.2), no qual mostrou como resultado a Figura 29:

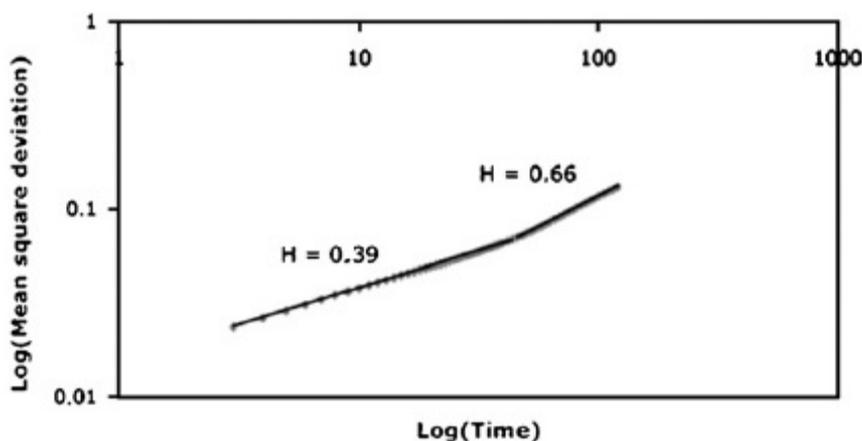


Figura 29. Resultado do método RMS para as flutuações do dólar com relação ao real para o ano de 2005 (MUÑOZ *et al.*, 2007).

Da Figura 29 é possível observar que houve uma pequena descontinuidade na determinação do valor do expoente de Hurst (ver seção 2.2) para as flutuações cambiais brasileiras durante o ano de 2005. Durante mais ou menos 40 dias deste ano houve

antipersistência e nos dias seguintes houve persistência. Considerando que o número médio de cotações diárias do dólar seja de 250 dias (ver seção 3.1), então o comportamento de antipersistência corresponderia a somente 16% de todo o ano de 2005.

Portanto, considerando que antipersistência está associada a baixas flutuações do dólar (se comparadas com as flutuações persistentes) originada pela intervenção do Banco Central do Brasil com o objetivo de diminuir a forte tendência de queda do dólar, então a intervenção do Banco Central neste mercado é pouco proveitosa a longo prazo.

Mesmo com esta baixa eficiência intervencionista, o mercado de câmbio precisa destas, porque a sua característica intrínseca de persistência leva inevitavelmente a colapsos, e, portanto estas medidas são úteis no sentido de diminuir, mesmo que com pouca eficácia, a tendência de colapsar este sistema.

5. CONCLUSÕES

No momento em que o Brasil optou por flutuar o câmbio, houve uma forte demanda dos agentes deste mercado por dólares. Isto gerou a maior desvalorização de uma moeda brasileira frente ao dólar dos Estados Unidos já conhecida. Ao fazer a análise do Expoente de Hurst durante este período foi possível observar uma quebra acentuada deste Expoente se comparado com épocas anteriores e posteriores a este episódio. E, quando o mercado de câmbio brasileiro adotou em definitivo o regime de câmbio flutuante, houve uma predominância de persistência.

Da mesma forma que o Brasil, a Argentina e o México também se caracterizaram por uma forte quebra do valor do Expoente de Hurst, quando estes optaram por mudar seus regimes cambiais de fixo para flutuante. Portanto é possível concluir que também nestes países houve um cenário econômico que trazia um alto grau de insegurança dos investidores. Ao adotar permanentemente o regime de câmbio flutuante houve o predomínio de persistência para estes países.

O estudo das flutuações cambiais da Austrália e do Canadá foi feito com o objetivo de observar um possível comportamento padrão dos seus regimes de câmbio flutuante, e com isso verificar se nos países em desenvolvimento considerados houve uma tendência de equiparação das flutuações do câmbio destes países com os países em desenvolvimento considerados quando estes optaram por mudar seus regimes cambiais de fixo para flutuante.

Ao fazer este estudo, foi observado que as os valores do Expoente de Hurst na Austrália e no Canadá possuíam uma pequena variação destes valores em torno de 0,5. Isto mostrou que a eficiência deste mercado está associada com $H=0,5$ como diz a literatura.

Quando o Brasil e a Argentina optaram pelo regime de flutuação do câmbio, os seus valores do Expoente de Hurst variaram em torno de $H=0,5$ se comparado com os valores de H para o México quando este utilizou este regime. Ou seja, isso mostra que o nível de eficiência não está associado somente a países desenvolvidos, e que é possível a outros países em desenvolvimento montarem políticas cambiais que façam com que seus regimes de flutuação do câmbio caminhem para o nível de eficiência dos países desenvolvidos.

Como há um predomínio de persistência nas flutuações cambiais brasileiras, então se torna indispensável medidas intervencionistas esporádicas no câmbio brasileiro para que este não entre em colapso com processos inflacionários exagerados ou com quebra do mercado

exportador brasileiro. Este colapso eminente pode acontecer devido à característica intrínseca da persistência, que se baseia em forte tendência de queda do valor do dólar no futuro quando esta desvalorização acontece no passado, e o contrário também podendo ser verdadeiro. A determinação do Expoente de Hurst pode ser um parâmetro capaz de mostrar a necessidade de medidas intervencionistas esporádicas em um determinado mercado câmbio.

A persistência também pode mostrar que os mercados de câmbio, que possuem esta propriedade, são altamente propícios a ataques especulativos, porque os agentes especuladores compram dólares quando estes estão desvalorizados com relação as moedas locais e os vendem quando esta situação se inverte

Para todos os países em desenvolvimento estudados houve uma forte tendência para antipersistência no momento exato em que seus países optaram por flutuar seus regimes cambiais, ou seja, esta propriedade mostra que existe uma associação entre ela e o nível de insegurança dos agentes deste mercado em possuir dólares, que também está associada a expressivas demanda por dólares em intervalos de tempo relativamente muito curtos.

A dinâmica da propriedade persistência observada entre a mudança do câmbio fixo para câmbio flutuante, para os três países estudados, exibiu um padrão caracterizado por correlações persistentes, seguidas de um rápido decrescimento para valores antipersistentes e seguidas de um rápido crescimento para valores persistentes.

Do ponto de vista econômico, a primeira mudança repentina entre os comportamentos persistente e antipersistente poderia estar associada com o medo dos investidores com relação ao novo cenário econômico que estava por vir, fazendo com que estes procurassem comprar desenfreadamente por dólares (o investimento seguro da época). O comportamento antipersistente (associado com pequenas flutuações do valor do dólar) deveria estar associado com o fraco comércio de compra ou venda de dólares, ou seja, estes investidores deveriam estar mantendo os dólares comprados durante a mudança do regime de câmbio fixo para flutuante em suas mãos. E o último período de rápido crescimento para valores persistentes deveria estar associado com a familiarização dos investidores com o novo regime cambial.

Ou seja, este padrão pode estar associado a mecanismos de retração e/ou euforia dos agentes de mercado. Esta hipótese sugere trabalhos futuros na direção de modelos computacionais que simulem esse tipo de comportamento.

6. REFERÊNCIAS:

AOUN, S. As mudanças no câmbio e nos juros, Brasil, 1994-2006. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v.2, n.6, p. 01-07, jun. 2007.

BERGER C.; MOTTA L.G. Cobertura das Eleições Brasileiras pela Imprensa Espanhola: Lula põe a esquerda na pauta. **Comunicação & Política**, v.10, n.1, p.11-35, fev. 2003.

BERRY, M. V.; HANNAY, J. H. Topography of Random Surfaces. **Nature**, v.273, n.573, jun. 1978.

BRASIL. Circular 3.462, de 24.07.2009. Banco Central do Brasil. **Regulamento do Mercado de Câmbio e Capitais**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/rex/RMCCI/Ftp/RMCCI-1-01.pdf>>. Acesso em: 26 de agosto de 2009.

BRASIL. Lei nº 4.595, de 31 de dezembro de 1964. Dispõe sobre a Política e as Instituições Monetárias, Bancárias e Creditícias, Cria o Conselho Monetário Nacional e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 dez. 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4595.htm>. Acesso em: 26 jun. 2008.

CAJUEIRO, D. O.; BORGES, E. P. O que há de comum entre a água fervente e os mercados financeiros. **Ciência Hoje**, p. 32-37, maio 2008.

CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M. The Hurt's exponent over time: testing the assertion that emerging markets are becoming more efficient. **Elsevier Science**, p. 1-19, dez. 2003.

CAROLO, Alexandre. Brasil conquista grau de investimento da Standard & Poor's. **Jornal Cana**, Ribeirão Preto, maio de 2008. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/pdf/173/%5Cmerccot.pdf>>. Acesso em 16 de setembro de 2009.

CHELALA, C.A. Política Cambial e Mercado de Moedas na Virada do Século. **Movendo Idéias**, v.5, n.8, p. 39 - 44, dez. 2000.

CINTRA, Marco Antonio Macedo. A dinâmica do novo regime monetário-financeiro norte-americano: uma hipótese de interpretação. **Estudos Avançados**, v.14, n.39, p.103-141, 2000.

CRUSIUS, Y. *Flutuação da Taxa de Câmbio, intervenções do Banco Central e influência nas Exportações*. **Revista de Conjuntura**, p. 13–18, abr-jun 2003.

DIAS, M. C. L.; ROTTA, T. Filosofia, Economia e a Crise. **Revista Filosofia**. Disponível em: <<http://filosofiacienciaevida.uol.com.br/ESFI/Edicoes/34/artigo133495-4.asp>>. Acesso em: 13 de setembro de 2009.

FAUCHER, P.; ARMIJO, L. E. Crises Cambiais e Estrutura Decisória: A Política de Recuperação Econômica na Argentina e no Brasil. **Revista de Ciências Sociais**, Rio de Janeiro, v.47, n.2, p.297-334, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/dados/v47n2/a04v47n2.pdf>>. Acesso em: 25 de outubro de 2009.

FEDER, J. **Fractals**. New York: Plenum, 1988.

FERRARI, A.; CUNHA, A. M. As origens da crise argentina: uma sugestão de interpretação. **Economia e Sociedade**, Campinas, v.17, n.2, p.47-80, ago. 2008.

GALLE, Juliano M. et al. Crise Norte-Americana: Um modelo explicativo de sua causa. **Revista Multidisciplinar da Uniesp**, n.7, p.170-175, jun. 2009. Disponível em: <http://www.uniesp.edu.br/revista/revista7/pdf/16_crise.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2009.

GARCIA, M. G. P.; URBAN, F. O mercado interbancário de câmbio no Brasil. In: GLEIZER, Daniel Luiz (Org.). **Aprimorando o mercado de câmbio brasileiro**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2005. cap. 5. p. 137-176.

GAROFALO FILHO, Emilio. **Câmbios no Brasil**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros: Cultura Editores Associados, 2000. 253p.

HISTORICAL EXCHANGE RATES. In: RESERVE BANK OF AUSTRALIA, 2009. Disponível em: <<http://www.rba.gov.au/Statistics/HistoricalExchangeRates/index.html>>. Acesso em: 17 de set. 2009.

ÍNDICE GERAL DE PREÇOS DO MERCADO-IGP-M. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2007. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em: 26 de jun. 2008.

INFORMACIÓN FINANCIERA. In: BANCO DE MEXICO, 2009. Disponível em: <<http://www.banxico.org.mx/eInfoFinanciera/DoctosBM/%7B23BCB983-391F-436D-A813-3B887CC61CA1%7D.pdf>>. Acesso em: 20 de set. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. **IGPs**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2009. Disponível em: <http://www.fgv.br/dgd/asp/dsp_IGP.asp>. Acesso em: 26 de jun. 2008.

LEIS. In: BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2009. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?LEIS>>. Acesso em: 15 de set. 2009.

MANTEGNA, R. N.; STANLEY, H. E. **An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 90p.

MARGARIDO, M. A. *et al.* Análise da Evolução dos Índices da Cesta de Mercado Pós-Plano Real na Cidade de São Paulo. **Informações Econômicas**, v.33, n.2, p. 01–06, fev. 2003.

MARGARIDO, M. A. Taxa de Câmbio no Brasil: Quo Vadis? **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v.3, n.3, p. 01-06, mar. 2008.

MERCADO CAMBIÁRIO. In: BANCO DE MEXICO, 2009. Disponível em: <<http://www.banxico.org.mx/tipcamb/tipCamIHAAction.do>>. Acesso em: 17 de set. 2009.

MERCADO DE SWAPS. In: INTELECT GERENCIAMENTO FINANCEIRO, 2009. Disponível em: <http://www.igf.com.br/aprende/glossario/glo_Resp.aspx?id=1949>. Acesso em: 14 de out. 2009.

MIRANDA, J.G.V. **Análise Fractal de Reescalamento Temporal para Chuvas**. 1997. 80 f. Dissertação (Mestrado em Física)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.

MIRANDA, J.G.V. **Análisis Fractal del Microrrelieve del Suelo**. 2000. 317 f. Tese (Doutorado em Edafología)-Faculdade de Ciências da Universidade de La Coruña, La Coruña, 2000.

MOLINA, E. P. Evidencias e implicaciones del fenómeno de Hurst en el mercado de capitales. **Gaceta de Economía**, v.8, n.15, p. 117-153, jun. 2002.

MUÑOZ, P. M. et al. Influence of government controls over the currency exchange rate in the evolution of Hurst's exponent: An autonomous agent-based model. **Physica A**, n.386, p. 786-790, jul. 2007.

NUSSENZVEIG, Hirsch Moysés. **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Copea, 3ª edição, 2008. 276p.

O CÂMBIO e suas influências na economia. In: DIEESE. **Nota Técnica**. 2006. Disponível em: < <http://www.dieese.org.br/notatecnica/notatec24cambio.pdf>>. Acesso em: 26 de jun. 2008.

PASTORE A.C.; PINOTTI M.C. Globalização, Fluxo de Capitais e Regimes Cambiais: Reflexões sobre o Brasil. **Est. Econ.**, v.30, n.1, p. 05-26, jan-mar. 2000.

POWELL, James. **A History of the Canadian Dollar**. Ottawa: Bank of Canada, 2005. 84p. Disponível em: < http://www.bankofcanada.ca/en/dollar_book>. Acesso em: 20 de set. 2009.

SADER, Emir. Crise de Governabilidade no Brasil? **American Progress: a new world of citizen action, analysis, and policy options**, jul. 2005. Disponível em: <<http://americas.irc-online.org/pdf/articles/0507brasil-esp.pdf>>. Acesso em: 12 de set. 2009.

SAYLES, R. S.; THOMAS, T. R. Surface Topography as a Nonstationary Random Process. **Nature**, v. 271, p. 431-434, 1978.

SOUZA, S. R. S. et al. Investigação da Memória de Longo Prazo na Taxa de Câmbio no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v.60, n.2, p. 193-209, abr-jun. 2006.

SUTCLIFFE, J.V. Obituary: Harold Edwin Hurst: 1 January 1880 – 7 December 1978. **Hydrological Sciences—Bulletin—des Sciences Hydrologiques**, v.24, n.4, p.539-541, dez. 1978.

TAXAS DE CÂMBIO. In: BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2009. Disponível em: < <http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpeq.asp?id=txcotacao&id=txcotacao>>. Acesso em: 17 de set. 2009.

THE EXCHANGE RATE AND THE RESERVE BANK'S ROLE IN THE FOREIGN EXCHANGE MARKET. In: RESERVE BANK OF AUSTRALIA, 2009. Disponível em: <http://www.rba.gov.au/MarketOperations/International/ex_rate_rba_role_fxm.html#two> Acesso em: 20 de set. 2009.

TOLEDO, Renato Godoy de. BC mantém taxa de juros altos país conquista título incômodo. **Brasil de Fato**: uma visão do Brasil e do mundo, Porto Alegre, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.brasildefato.com.br/v01/impreso/anteriores/jornal.2008-03-26.0655969542/editoria.2008-03-26.0988995408/materia.2008-03-27.4650464768>>. Acesso em: 26 de jun. 2008.

VASCONCELOS, G. L. A Guided Walk Down Wall Street: An Introduction to Econophysics. **Brazilian Journal of Physics**, v.34, n.3B, p. 1039-1065, set. 2004.

VIEIRA, J. F.; DAVINO T. Dólar em Alta: Sustentável? **Visão Cambial**, p. 1-4, dez. 2005. Disponível em: < http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&rlz=1T4GGLR_pt-BRBR303BR304&q=Jason+Freitas+Vieira+e+Thiago+Davino+%2Bbanco+central+%2B+vis%C3%A3o+cambial&meta=&aq=f&oq=>>. Acesso em 8 de fevereiro de 2010.

APÊNDICE 1: PROGRAMA RMS DA ANÁLISE DE HURST DISCRETA.

```
real a(3000),med,s
dimension desv(3000)
integer z
open(unit=11,file="argdo2001.txt",status="old")
open(unit=13,file="argdo2001sai.txt",status="replace")
n=250
do i=1,n
read(11,*)a(i)
end do
z=3
dowhile(z.lt.n)
h=0
gam=0
dowhile(h.lt.n-z)
s=0.0
do i=h+1,z+h
s=s+a(i)
100 format(2e14.6)
end do
med=s/float(z)
do i=h+1,z+h
desv(i)=(med-a(i))**2
end do
dam=0.0
do i=h+1,z+h
dam=dam+desv(i)
end do
gam=gam+(dam/float(z))**0.5
h=h+1
end do
```

```
if(int(z*1.1).eq.int(z))then
z=z+1
else
z=z*1.1
end if
if(z.lt.n)then
write(13,200)gam/(n-z),int(z)
end if
end do
end
```

ANEXO 1: PROGRAMA RMS DA ANÁLISE DE HURST CONTÍNUA.

```
#include "rugMed.h"
#include <math.h>

mrug::mrug()
{
    c=1.1;
}

bool mrug::read(char *nome)
{
    int i=0;
    fstream file;
    file.open(nome, ios::in);
    if(file.fail()) return false;
    do{
        file>>this->x[i]>>this->y[i++];
    }while(!file.eof());
    this->nt=i;
    file.close();
    return true;
}

struct Hstc mrug::calc(int dia,int winSize,int escI,int escF)
{
    int fim=0,i=0,j=0,ik=0;
    this->ih=0;
    int k=5; // Escala
    int kaux=20;
    struct Hstc H;
    vector <double> vk; // vetor para escalas
    vector <double> vs; // vetor para desvios
    this->ko=0;
    this->il=0;
    this->xk=0;
    this->sx=this->sy=this->sx2=this->sxy=this->sy2=this->
>a=this->b=this->w=0;

    /***** variacao da escala *****/
    fim=(int)(winSize/2);

    while (k<=fim)
    {
        this->initialize(k);
        // printf("escala=%d\n",k);

        /**** somatorio inicial ****/
        for (i=dia; i<dia+k; i++)
```

```

    {
        this->sx+=this->x[i];
        this->sy+=this->y[i];
        this->sx2+=this->x[i]*this->x[i];
        this->sxy+=this->x[i]*this->y[i];
    }

    /**** rugosidade local ****/
    j=dia;
    this->local(j, this->k);

    /**** atualiza somatorio ****/
    for (i=dia; i<dia+(winSize-k-1); i++)
    {
        /*printf ("%d, ", i);*/
        ik=i+k;
        this->sx+=this->x[ik];
        this->sy+=this->y[ik];
        this->sx2+=this->x[ik]*this->x[ik];
        this->sxy+=this->x[ik]*this->y[ik];

        this->sx-=this->x[i];
        this->sy-=this->y[i];
        this->sx2-=this->x[i]*this->x[i];
        this->sxy-=this->x[i]*this->y[i];

        /**** rug local ****/
        j++;
        this->local (j, k);
    }

    /**** guarda resultados ****/
    vk.push_back(k);
    // fprintf (f2, "%d ", k);
    this->s=this->s/ih;
    //fprintf (f2, "%le ", s);
    vs.push_back(s);
    /**** nova escala ****/
    k=(1.0*this->c*k);
    if (k<=kaux)
    {
        k++;
        kaux=k;
    }

    }
    H=this->Fitting(vk,vs,escI,escF);
    vk.clear();
    vs.clear();
    return H;
}

```

```

void mrug::initialize(int k)
{
    this->ko=k;
    this->ih=0;
    this->xk=1.0/(1.0*k);
    this->sx=0.0;
    this->sy=0.0;
    this->sx2=0.0;
    this->sxy=0.0;
    this->s=0.0;
}

void mrug::local(int ii, int kk)
{
    int jj;
    double dh, dd;

    dh = 0.0;

    for (jj=ii; jj<(ii+kk); jj++)
    {
        dd=fabs(this->y[jj]-this->sy*this->xk);
        if (dd>0.0)
            dh+=dd;
    }
    if (dh>0.0)
    {
        this->ih++;
        this->s+=dh/kk;
    }
}

struct Hstc mrug::Fitting(vector <double> xa,vector <double>
ya, int Ei, int Ef)
{
    struct Hstc Ht;
    double
s,sx=0.0,sy=0.0,sx2=0.0,sxy=0.0,sy2=0.0,a,b,r,rx,ry,w,sa,sb;
    int n=0;
                                                                    /*      DETERMINA OS
SOMATORIOS      */
    for(int i=0;i<xa.size();i++)
    {
        if(xa[i]>=Ei && xa[i]<=Ef)
        {
            xa[i]=log(xa[i]);ya[i]=log(ya[i]);
                                                                    /*

```

```

Calcula logaritmo natural */
    sx+=xa[i];    sy+=ya[i];
    sxy+=xa[i]*ya[i];
    sx2+=xa[i]*xa[i];    sy2+=ya[i]*ya[i];
    n++;
}
}

/*          CALCULA A
INCLINACAO */

/* calculo dos coeficientes */
    s=sx2-sx*sx/n;
    a=(sxy-sx*sy/n)/s;
    b=(sy-a*sx)/n;
    w=sy2+a*a*sx2+n*b*b;
    w=w-2.0*a*sxy-2.0*b*sy+2.0*a*b*sx;
    if (w<0.0) w=0.0;
    else w=sqrt(w/(n-2));
    rx=sx2-sx*sx/n;
    ry=sy2-sy*sy/n;
// Slope error
    sa=(sy2+n*b*b+a*a*sx2-2*(b*sy-a*b*sx+a*sxy))/(n-1);
    sb=sqrt( (sx2*sa)/(n*sx2-sx*sx) );
    sa=sqrt( (n*sa)/(n*sx2-sx*sx) );

    if(fabs(ry)<1.0e-10)
    {
        if(fabs(a)<1.0e-10) r=1.0;
        else r=30000.0;
    }
    else r=a*a*rx/ry;

Ht.sl=a;
Ht.sd=sa;
Ht.r=sqrt(r);
Ht.l=b;
Ht.n=n;
Ht.eb=sb;
return Ht;
}

#ifndef MRUG_H
#define MRUG_H
#define np 30005 /* n. maximo de pontos
*/
#define npd 30005L
#define qmax 1+1

```

```

#include <sstream>
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <vector.h>
using namespace std;

struct Hstc {
    double sl,sd,r,l,eb;
    int n;
};

class mrug
{
private:
    struct Hstc Fitting(vector <double> x,vector <double> y,
int Ei, int Ef);
    double poweri (double base, int expo);
    void help();
    void initialize(int k);
    void best();
    void local(int jj, int kk);
public:
    int ih,nt,k,ko,il;
    double xk,sx,sy,sx2,sxy,sy2,a,b,w;
    double s;
    double x[npd];
    double y[npd];
    double c;
    bool read(char *nome);
    struct Hstc calc(int Dia,int winSize,int escIni,int
escFin);

```

```

        mrug();
};

#endif // MRUG_H

#include "rugMed.h"
int main(int argc, char *argv[])
{
    class mrug perfil;
    fstream file0;
    int winSize=atoi(argv[3]),Dia;
    struct Hstc H;
    int escIni=atoi(argv[4]);
    int escFin=atoi(argv[5]);
    if(!perfil.read(argv[1]))
    {
        cout<<"Meleca! nao consegui abrir o arquivo de
entrada"<<endl;
        return 1;
    }
    file0.open(argv[2],ios::out);

    for(Dia=1;Dia<perfil.nt-winSize;Dia++)
    {
        H=perfil.calc(Dia,winSize,escIni,escFin);

file0<<Dia+winSize/2<<"\t"<<H.sl<<"\t"<<H.sd<<"\t"<<H.r<<endl;
    }
    file0.close();
}

```

ANEXO 2: FUNÇÃO WEIERSTRASS

A função Weierstrass é definida como:

$$f_H(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b^{-nH} [1 - \cos(b^n x)],$$

Nos quais $b > 1$ e $0 < H < 1$. Nota-se que $f_H(x)$ depende de b de forma trivial já que b somente determina como a curva é visível para um dado valor de x . Apesar de ser contínua esta função não possui derivada em nenhum ponto.

ANEXO 3: MOVIMENTO BROWNIANO ORDINÁRIO

Considere uma partícula que se move unidimensionalmente, ao longo do eixo X, por incrementos de comprimento $+\xi$ ou $-\xi$ em todos τ segundos, no qual, para o modelo de difusão, definimos ξ como o passo e τ como o tempo de colisão. Por outro lado, ao invés de considerarmos um passo fixo, podíamos considerar o passo ξ se comportando de acordo com a distribuição de probabilidade normalizada

$$P(\xi, \tau) = (4\pi D)^{-1/2} \exp(-\xi^2/4D \tau)$$

Vale ressaltar que a equação acima é solução da equação de difusão unidimensional, na qual usa-se como condição de contorno que todas as partículas iniciam a difusão a partir da origem no instante $t = 0$.

Esse processo de escolha do passo no intervalo τ possui média e variância dadas por:

$$\langle \xi \rangle = 0$$

$$\langle \xi^2 \rangle = 2D \tau$$

A posição da partícula a partir de uma sequência de n passos é dada por:

$$X(t) = \sum \xi_i, (1 < i < n).$$

Entretanto, na prática, não é observado um movimento Browniano com resolução infinita, mas sim um movimento no qual nós observamos a posição da partícula somente em intervalos $b \tau$, sendo b um número arbitrário. Pode-se provar que o movimento Browniano ordinário é invariante a uma transformação que escala o tempo em b e o comprimento do passo em $b^{1/2}$.

$$P(b^{1/2}\xi, b \tau) = b^{1/2} P(\xi, \tau).$$

Por outro lado, do mesmo modo que foi descrito a distribuição de probabilidade para os passos aleatórios, nós podemos descrever a posição da partícula:

$$P(X(t) - X(t_0)) = (4\pi D)^{-1/2} \exp(-[X(t) - X(t_0)]^2/4D(t - t_0))$$

E que satisfaz a relação de escala

$$P(b^{1/2}[X(bt) - X(bt_0)]) = b^{-1/2} P(X(t) - X(t_0)).$$

E média e variância dadas por:

$$\langle X(t) - X(t_0) \rangle = 0$$

$$\langle [X(t) - X(t_0)]^2 \rangle = 2D \tau$$

onde $\tau = t - t_0$.

Wiener em 1923 considerou como incremento na posição de uma partícula em movimento Browniano,

$$X(t) - X(t_0) \propto |\tau|^H$$

no qual $H = 1/2$ para o movimento Browniano Ordinário.

ANEXO 4: MOVIMENTO BROWNIANO FRACIONÁRIO

O conceito de movimento Browniano foi estendido por Mandelbrot ao Movimento Browniano fracionário. Tal movimento se adéqua às estatísticas de Hurst. Para entender o movimento Browniano fracionário é necessário conhecer o Movimento Browniano Ordinário.

Chama-se Movimento Browniano Ordinário ao processo estocástico B_t com parâmetro contínuo t que cumpre os seguintes pré-requisitos:

- a) Para todo $s > 0$, a sucessão de incrementos definida como:

$$B_{t+s} - B_t$$

é uma sucessão de variáveis aleatórias independentes distribuídas normalmente, ou seja,

$$B_{t+s} - B_t \triangleq \mathcal{N}(0,s),$$

no qual \triangleq denota igualdade em distribuição de probabilidade, e $\mathcal{N}(0,s)$ denota a distribuição normal com média zero e variância s .

- b) $B_0 = 0$ e B_t é caso contínuo, isto é, as realizações dos processos são contínuas com probabilidade 1.

Com esta definição, se pode conceituar o movimento Browniano como a soma acumulada de uma sucessão de variáveis aleatórias independentes distribuídas normalmente. Os incrementos $B_{t+s} - B_t$ são chamados ruídos brancos gaussianos em tempo discreto.

Mandelbrot e Van Ness definiram o movimento Browniano fracionário como uma generalização do movimento Browniano Ordinário.

Seja H tal que $0 < H < 1$. Define-se o movimento Browniano Fracionário com parâmetro H , como o seguinte processo estocástico:

$$B_t^H = \frac{1}{\Gamma(H + 1/2)} \left[\int_{-\infty}^t (t-s)^{H-1/2} dB_s - \int_{-\infty}^0 (-s)^{H-1/2} dB_s \right], t \in \mathfrak{R}$$

No qual dB_s é o movimento Browniano Ordinário.

Esta definição estabelece que o Movimento Browniano Fracionário com um Exponente H é uma média móvel de dB_s , na qual, incrementos passados de B_t , são ponderados pelo fator $(t-s)^{H-1/2}$. Nota-se que se $H=1/2$, para todo $t \in \mathfrak{R}$, evidencia e implica no fenômeno de Hurst:

$$\int_{-\infty}^t (t-s)^{H-1/2} dB_s - \int_{-\infty}^0 (-s)^{H-1/2} dB_s = B_t$$

Para outros valores de H , B_t^H é uma integral estocástica de B_t . Os movimentos Brownianos fracionários realmente se dividem em três famílias muito diferentes correspondendo, respectivamente, a $0 < H < 0,5$, $0,5 < H < 1$ e $H=0,5$. Realmente, estes coincidem com as classes de equivalência definidas para os distintos valores do Expoente de Hurst.