

EAESP - FGV - CNPq

PIBIC

**IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HJM: UMA APLICAÇÃO
PARA A PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE TAXA DE
JURO NO BRASIL**

Eduardo Perez Rodriguez

7º Semestre - Bolsista 97/98

Orientador: Prof. Dr. Richard Saito

RELATÓRIO FINAL

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HJM: UMA APLICAÇÃO PARA A
PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO NO
BRASIL

EAESP - FGV - CNPq

Conteúdo

| | | |
|---------|--|----|
| Seção 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| Seção 2 | DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO | 8 |
| Seção 3 | MODELOS DE PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO | 19 |
| Seção 4 | MODELO HEATH JARROW MORTON | 24 |
| Seção 5 | IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HJM | 27 |
| Seção 6 | RESULTADOS | 29 |
| Seção 7 | CONCLUSÕES | 33 |
| Seção 8 | BIBLIOGRAFIA | 35 |

APÊNDICES

| | | |
|------------|-------------------------------|----|
| Apêndice A | PRINCIPAIS ROTINAS DO SISTEMA | 37 |
| Apêndice B | PRINCIPAIS TABELAS DO SISTEMA | 45 |
| Apêndice C | MANUAL DO PROGRAMA | 48 |
| Apêndice D | DADOS, TABELAS E DIVERSOS | 54 |

Seção 1

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

PANORAMA DO MERCADO DE DERIVATIVOS

Cabe a essa parte uma breve discussão sobre o surpreendente sucesso dos mercados de derivativos em um período razoavelmente curto de tempo. Será que foi uma invenção completamente inovadora ou uma mera adaptação de algo que já existia desde os remotos tempos do início do desenvolvimento do comércio? Nem uma, nem outra, mas sim a utilização de um mecanismo que já existia desde o início do comércio de maneira mais organizada e padronizada, acrescentando o uso de inovações como o processamento eletrônico de dados e a telecomunicação, foram imprescindíveis para o *boom* desse mercado. A utilização de tecnologia da informação permitiu que o volume de transações fosse multiplicado várias vezes e que derivativos mais sofisticados e feitos sob medida pudessem ser criados para novos mercados. O uso maciço das telecomunicações também permitiu que cada vez mais os mercados estivessem integrados, aumentando o número de transações e a interdependência entre eles. Além disso, a queda de fronteiras comerciais e desregulamentação dos mercados de capitais e financeiro.

Entretanto, antes de prosseguirmos em nosso trabalho, se faz necessário definir derivativo, sendo essa tarefa simples e complexa ao mesmo tempo. É simples pois indica que é alguma coisa que deriva de outra, e é aí que se complica. Derivativo é um título cujo valor depende de uma ou mais variáveis, chamadas ativos-objetos. Para exemplificar podemos pegar um derivativo de uma moeda, no qual o valor desse título depende de alguma forma do valor dessa moeda. Podemos também ter um título que dependa de duas variáveis, como um derivativo que expresse a diferença entre real e dólar. Esse último sendo conhecido por *swap*.

Os derivativos podem ser baseados em *commodities*, ou seja, bens físicos como boi, soja, milho e café. Também podem ter sua origem em ativos financeiros como o dólar ou um índice de taxa de juro.

Os derivativos são importantes para a economia moderna pois vão de encontro às necessidades das empresas que desejam diminuir seus riscos e às dos especuladores que querem correr riscos em troca de margens substanciais. Com a globalização dos mercados financeiros é mais fácil constatar diferenças de preços entre os mesmos, e isso permite aos arbitradores a utilização dos derivativos para obter lucro com essas variações. O mercado de derivativos pode ser entendido como um seguro para as empresas em relação a variações de preços, moedas ou taxas de juro, e a contrapartida é

representada pelos especuladores e arbitadores que correm os riscos em troca de margens mais interessantes.

Três exemplos seguem:

Uma empresa agrícola pode se utilizar de um derivativo para garantir um determinado preço na época da venda da safra. Se o preço de mercado na colheita for menor a empresa receberá o valor previsto no contrato, já se o preço de mercado for maior a empresa também receberá o valor que está no contrato. No primeiro caso a empresa saiu ganhando e garantiu seu lucro, já no segundo a empresa deixou de receber um valor maior em troca do valor previsto em contrato, mas o seu lucro também está garantido. Esse tipo de mecanismo permite que haja uma divisão das perdas e dos ganhos entre os agentes do mercado, que nesse caso é a empresa agrícola e um eventual comprador. Quando a empresa ganha um pouco o fornecedor perde um pouco e vice-versa, mas isso faz com que o risco financeiro dos dois seja menor.

Uma companhia de importação pode se utilizar de um derivativo de dólar para se proteger de uma eventual variação entre dólar e real. Ela faz uma compra em dólar, mas define o preço de venda e tem todos os custos em real. Se utilizar um contrato futuro de compra de dólar ficará protegida do risco de oscilação da cotação entre as duas moedas. Se o dólar se valorizar em relação ao real ela ganhou pois tem garantida a compra dos dólares a um preço pré-fixado. Já se o dólar se desvalorizar ela deixou de ganhar com isso, mas conseguirá vender o produto em real e efetuar o pagamento ao exterior em dólar sem nenhum problema.

Para compreender a importância e o poder desse tipo de instrumento, o governo brasileiro está reestruturando todo o seu programa de financiamento e preço mínimo do setor agrícola baseado em contratos derivativos. Nesse novo sistema, o risco é assumido pelo mercado e os custos de armazenagem, que antes ficavam com o governo quando da compra de safras pelo preço mínimo, ficam com o agricultor. Agora o agricultor terá que se profissionalizar, fazendo um projeto técnico para conseguir financiamento, fechando um contrato futuro de venda por um preço maior que os seus custos de produção e armazenagem. Esse sistema, sem nenhuma análise mais profunda, determinará maior eficácia ao setor agrário brasileiro, com menor custo para o sociedade.

Em resumo, as funções do mercado de futuros são basicamente:¹

1. *Minimizar variação de preço do ativo objeto.* O mercado que talvez mais sofra com a oscilação de preços é o de produtos agrícolas, devido aos períodos de safra e entre-safra e a alta exposição ao risco de pragas, clima, etc. Com o mercado de derivativos é possível diminuir essa oscilação quando são firmados contratos antecipados que reduzem os riscos para o produtor e para os compradores da safra. O produtor se posiciona contra eventuais baixas de preços e o comprador contra eventuais altas.
2. *Oferecer transparência de preço.* Os preços negociados são de domínio público e podem ser acompanhados em tempo real. Caso não seja tão importante o acompanhamento instantâneo dos mesmos, os preços dos principais contratos negociados são publicados em jornais de grande circulação e podem também ser requisitados à BM&F.
3. *Oferecer garantia de preço mínimo.* O produtor pode calcular seus custos de produção, armazenagem, etc. e verificar se o preço futuro permitirá que obtenha um lucro satisfatório. Oferece ao produtor agrícola um instrumento poderoso que permite um maior poder de planejamento, pois pode acompanhar o preço de determinado produto no futuro e decidir entre fechar um contrato para garantir determinado preço ou mesmo optar pela produção de alguma outra coisa que seja mais lucrativa, de acordo com a estrutura de custos de sua propriedade rural.
4. *Transferência de risco.* É esse mecanismo que faz com que os mercados futuros atendam eficazmente as necessidades de todos os atuantes do mercado, que são: produtores (*hedgers*), especuladores e arbitradores. Os produtores podem até perder em uma posição pois possuem uma posição contrária no mercado físico. Nesse caso o contrato funciona como um seguro já que representa um custo para o *hedger*. O especulador e o arbitrador aceitam correr determinados riscos em troca de um retorno satisfatório, já que usualmente não trabalham com bens físicos.

¹ Estrutura e parte das informações retiradas da apostila da ANCOR (Associação Nacional das Corretoras de Valores, Câmbio e Mercadorias)

5. *Estabilidade de preços.* Devido a quantidade alta de participantes fica difícil a manipulação de preços por parte de grupos econômicos específicos. Além disso é um mercado regulamentado, no qual mesmo os mais fortes estão sujeitos a sanções pesadas. Sanções estas aplicadas por instituição responsável pela fiscalização do mercado, CVM (Comissão de Valores Mobiliários) no Brasil, podendo ser sanções de ordem civil ou criminal. Nesse mercado não há a necessidade do bem físico para que contratos sejam fechados, o que determina uma certa independência sobre ou dos mercados físicos.
6. *Liquidez.* Quando há somente um comprador e um vendedor, fica difícil a transferência do contrato para uma terceira parte. Já quando há milhares de participantes, essa dificuldade deixa de existir. Pode-se entrar e sair de posições mais facilmente.

O objetivo desse panorama geral do mercado de derivativos foi posicioná-lo, citando algumas características e funções que o tornam tão importante atualmente.

OBJETIVOS E MOTIVAÇÕES

O que me motivou na escolha do tema da pesquisa, após a exposição de um artigo por parte do professor Richard Saito, foi a importância do assunto para a condução de políticas de investimento e mesmo para a condução de políticas econômicas governamentais. Isto porque as taxas de juro praticamente dão o tom ao fluxo financeiro internacional de capitais, e é mais fundamental ainda para países como o Brasil, que dependem desses fluxos financeiros para o seu desenvolvimento e crescimento econômico.

O objetivo central desse trabalho é implementar um modelo largamente difundido, principalmente nos EUA², no mercado brasileiro através do desenvolvimento de um *software* aplicativo.

Sendo assim, algumas hipóteses devem ser levantadas preliminarmente:

- *Seria possível adaptar o modelo HJM (Heath, Jarrow e Morton), que é um modelo que possibilita o estudo da curva de preços futuros de derivativos de taxa de juro, no Brasil?*

² Veja LEE, Wai. *Pricing Interest-Rate Derivatives*. Harvard Business School, 1996.

- *Se sim, teria esse modelo alguma utilidade prática em relação à precificação desses derivativos brasileiros?*

Durante o desenvolvimento da pesquisa as perguntas acima deverão ser respondidas com argumentação e dados.

BREVE METODOLOGIA

A pesquisa terá basicamente cinco partes, quais sejam:

1. Pesquisa bibliográfica;
2. Pesquisa sobre aspectos operacionais do mercado;
3. Levantamento de dados históricos junto à BM&F (Bolsa de Mercadorias & Futuros);
4. Implementação do modelo HJM em *software* aplicativo e
5. Verificação em relação a validade desse *software* no mercado brasileiro.

Os itens acima serão desenvolvidos quando da apresentação dos resultados da pesquisa.

ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O relatório conterá os seguintes tópicos:

- ⇒ *No capítulo 2 serão abordados conceitos e especificidades dos contratos futuros de taxa de juro e deverá ser fundamentada a escolha do contrato DI de 1 dia da BM&F para ser utilizado nesse estudo.*
- ⇒ *O capítulo 3 esboçará uma breve análise sobre as famílias de modelos utilizados na precificação desse tipo de contrato.*
- ⇒ *No capítulo 4 justificamos a escolha do modelo HJM para ser utilizado nessa pesquisa.*

- ⇒ O capítulo 5 abordará a aplicação do modelo HJM na precificação do contrato futuro de DI de 1 dia.
- ⇒ No capítulo 6 serão mostradas as principais conclusões através de tabelas, gráficos e argumentações.
- ⇒ O capítulo 7 resumirá as conclusões da pesquisa e fará recomendações para futura pesquisa.

Seção 2

DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO

DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Derivativos de taxa de juro são títulos que dependem, de alguma forma, da taxa de juro para serem precificados. Podemos ter derivativos de determinada taxa de juro, digamos LIBOR ou CDI, ou da diferença entre duas taxas de juro, ou mesmo da diferença entre uma taxa de juro e a variação cambial. De acordo com Luenberger ³:

”Esse tipo de derivativo é extremamente importante pois quase toda transação financeira traz consigo exposição ao risco de taxa de juro - e os derivativos de taxa de juro fornecem os meios para controlar esse risco. Adicionalmente, como outros tipos de títulos derivativos, os derivativos de taxa de juro podem ser utilizados criativamente para aumentar a performance de portfólios de investimento.”

Os principais tipos de derivativos utilizados atualmente são: Futuros, Opções, *Swaps* e a Termo.

1. *Futuros*. É um derivativo no qual se pode entrar em uma posição de compra (*long*) ou venda (*short*) de um certo volume de ativo objeto (juro, dólar, ouro, soja, café, etc.) que vence em uma determinada data futura por um preço antecipadamente estabelecido, em um mercado organizado (Bolsa). Pode ser definido como um derivativo sem caixa, pois não é necessário o depósito equivalente ao valor total do contrato, mas somente de uma garantia. O que é necessário é o ajuste diário das variações do valor do contrato.
2. *Opções*. Como o próprio nome diz, são opções de compra ou venda de determinado ativo objeto a um determinado preço. Essas opções podem ser exercidas ou não, dependendo da situação do mercado. A chamada opção européia somente pode ser exercida na data de vencimento, já a americana pode ser exercida a qualquer momento até a data do vencimento. É uma forma bastante interessante de se proteger de variações dos preços futuros, graças à maior liberdade que conferem.
3. *Swaps*. São derivativos que são compostos por mais de uma variável, ou seja, representam a variação relativa entre variáveis. Pode ser um derivativo que represente a diferença entre a taxa de

³ Luenberger, David G. *Investment Science*. Oxford University Press, 1998. Capítulo 14.

juro brasileira e a inglesa. Podem ser utilizados de maneira bastante interessante quando há a necessidade de proteção em relação a taxa de juro e câmbio.

4. *A Termo*. São contratos que são fechados, com volume, data de vencimento futura e preço entre duas partes, a parte compradora e a vendedora. É um mercado de menor liquidez e utilizado principalmente por *hedgers*.

Entre os diversos tipos de derivativos, os que apresentam maior liquidez são os contratos futuros. Isto porque apresentam algumas características que os diferenciam dos demais, são elas:⁴

1. *Negociação em Bolsa*. Todos os contratos são negociados em um mercado organizado (Bolsa) existindo um PIT (local) para cada contrato negociado. Podem ser estabelecidos horários específicos para contratos com menor procura.
2. *Padronização*. Cada contrato é detalhadamente padronizado, desde o ativo objeto até o tamanho, passando pelo dia de vencimento, último dia de negociação, data de liquidação, variação mínima e máxima, entre outras características. Isso facilita muito a negociação pois só é necessária a definição do preço para que esse contrato seja fechado, dando assim uma dinâmica ao número de transações.
3. *Vencimentos*. A BM&F define vários vencimentos, não podendo os mesmos serem negociados fora desses parâmetros. A extensão dos mesmos pode ser seis, doze, vinte e quatro meses e depende diretamente do ativo objeto do contrato.
4. *Ajuste diário*. Faz diariamente a incorporação dos resultados positivos ou negativos advindos da posição tomada no mercado futuro. Isso permite uma grande flexibilidade quanto a utilização dos contratos para períodos diferentes das datas de vencimento, ou seja, é possível fazer uma operação de *hedge* de duas semanas, mesmo quando o contrato tem vencimento mensal. Para isso basta entrar em uma posição de compra ou venda em determinado contrato, realizar os ajuste diários durante duas semanas e sair da posição.

⁴ Estrutura e parte das informações retiradas da apostila sobre produtos derivativos da ANCOR (Associação Nacional das Corretoras de Valores, Câmbio e Mercadorias)

5. *Margem de garantia inicial.* Para cada contrato/vencimento o detentor da posição deverá depositar uma margem de garantia que poderá ser uma fiança bancária, CDB, ouro, ações, títulos públicos, para manter o contrato em posição. Essa margem pode ser utilizada pela câmara de compensação para cobrir eventuais problemas de liquidação financeira desses contratos em aberto. Há uma correção sobre essas garantias estipulada previamente pela BM&F.
6. *Liquidação financeira.* Pode ser feita por diferença ou por entrega. Se for feita por diferença é calculada a diferença do preço futuro do ativo objeto do último ajuste e o preço do mesmo de fechamento à vista. Nesse caso não há entrega do ativo do contrato. Se a liquidação for feita por entrega deverá ser entregue o ativo do contrato de acordo com a padronização desse contrato (peso, qualidade, quantidade, etc.). A maioria dos contratos é feita por diferença, não havendo assim a entrega do ativo.

Além de todas essas características há a necessidade de salientar a importância da câmara de compensação, que se responsabiliza pela liquidação financeira dos contratos. Isso faz com que o mercado tenha menor risco de inadimplência, já que quem presta conta com o comprador ou o vendedor é a câmara que faz uso das margens de garantia quando necessário. Essa câmara de compensação (*clearing house*) pode ser inclusive independente da Bolsa de Futuros que atua. No caso brasileiro a câmara faz parte da BM&F.

Os preços dos futuros podem parecer muito subjetivos, mas na verdade são simplesmente definidos como:⁵

$$F = f(S, I, T, Ce)$$

Na qual:

F = Preço futuro;

S = Preço do ativo objeto à vista;

I = Taxa de juro;

⁵ Estrutura e parte das informações retiradas da apostila sobre produtos derivativos da ANCOR (Associação Nacional das Corretoras de Valores, Câmbio e Mercadorias)

T = Tempo, prazo;

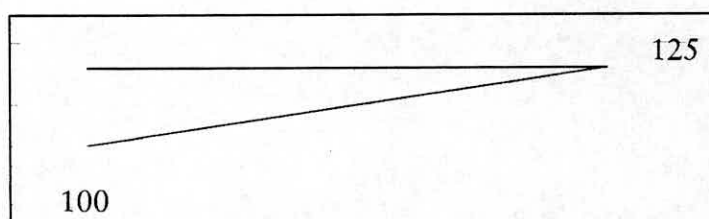
C_e = Custo de estocagem, seguro, frete, etc.

Exemplo:

$S = 100$;

$T = 1$ período;

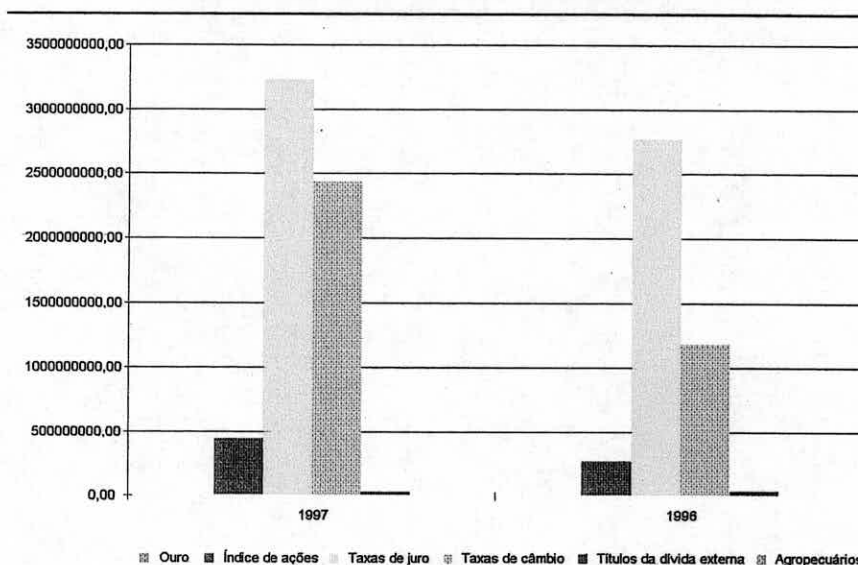
$I = 25\%$ ao período.



Nesse caso em particular, o preço futuro não permitiria nenhuma oportunidade de arbitragem, já que o preço futuro é exatamente o preço à vista mais a taxa de juro do período. $F = 100 (1 + 25\%) = 125$. Agora se o preço futuro estivesse em 140, o arbitrador compraria o ativo objeto à vista, financiando-o a taxa de 25% a.p. e venderia o futuro a 140, com isso ele embolsaria 15.

No mercado brasileiro, os derivativos de taxa de juro são os mais negociados, juntamente com os contratos de câmbio. Em 1997, por exemplo, os derivativos de taxa de juro representaram US\$ 3,22 trilhões, ou 52,56% do volume total negociado em pregão na BM&F.

Volume Negociado em Pregão em 1996 e 1997



Fonte: BM&F

Dentre os derivativos oferecidos pela BM&F, escolhemos o contrato futuro de DI de 1 dia devido a sua maior liquidez e por derivar somente de uma taxa de juro (objetivo desse estudo) para ser analisado e para implementar o modelo HJM. O contrato de DI de 30 dias, que representa uma média da taxa do CDI dos últimos 30 dias não apresenta liquidez satisfatória. O motivo pode ser a alta volatilidade da taxa de juro brasileira, que impede uma maior previsibilidade a médio e longo prazo. No contrato de DI de 1 dia os preços são rearranjados diariamente de acordo com a taxa CDI divulgada pela Cetip.

Os contratos futuros de DI de 1 dia derivam dos CDI (Certificados de Depósitos Interfinanceiros ou Interbancários) e se baseiam no custo do dinheiro trocado diariamente entre as instituições financeiras. Essas taxas são fortemente influenciadas pelos lançamentos de títulos da dívida pública do Banco Central. A Cetip (Central de Custódia e Liquidação Financeira de Títulos) é o órgão responsável pelo cálculo da taxa média do CDI *over*. Sua periodicidade e divulgação são diários.

CARACTERÍSTICAS DO CONTRATO FUTURO DE DI DE 1 DIA:[j1][j2]⁶

- ⇒ *Ativo-objeto*: taxa de juro efetiva de DI, definida para esse efeito pela acumulação das taxas médias diárias do DI de um dia, para o período compreendido entre o dia da operação no mercado futuro, inclusive, e o último dia de negociação;
- ⇒ *Apregoação/Cotação*: PU (Pontos Unitários), definido como 100.000 pontos descontados pela expectativa de taxa do CDI acumulada do dia da operação até o último dia de negociação do contrato;
- ⇒ *Tamanho do contrato*: PU multiplicado pelo valor do ponto estabelecido pela BM&F. Atualmente o multiplicador está em R\$ 1, totalizando R\$ 100.000;
- ⇒ *Vencimento*: Todos os meses;
- ⇒ *Data de vencimento*: Primeiro dia útil de cada mês;
- ⇒ *Número de vencimentos em aberto*: máximo de 24;
- ⇒ *Último dia de negociação*: último dia útil do mês anterior ao mês de vencimento;
- ⇒ *Oscilação máximo diária*: 5% sobre o primeiro vencimento;
- ⇒ *Variação mínima*: R\$ 0,10;
- ⇒ *Taxas operacionais básicas*: normal 3,0%, *day trade* 1,5%;
- ⇒ *Base de cálculo da corretagem*: diferença entre o preço (PU) de ajuste do dia anterior corrigido e o valor teórico de resgate;
- ⇒ *Liquidação*: segundo dia útil seguinte ao último dia de negociação;
- ⇒ *Taxa da Bolsa*: 0,9% da taxa operacional básica.

⁶ Síntese de Dados da BM&F (Julho 1997)

CÁLCULO DO AJUSTE
DIÁRIO:⁷1) *Ajuste das posições realizadas no dia:*

$$AD = (PA_t - PO) \times M \times n$$

na qual,

PA_t = preço de ajuste do dia;

PO = preço da operação;

M = multiplicador do contrato, atualmente estabelecido em um real (R\$);

n = número de contratos.

2) *Ajuste das posições já em aberto do dia anterior:*

$$AD = (PA_t - PA_{t-1}) \times M \times n$$

na qual,

PA_{t-1} = preço de ajuste do dia anterior corrigido.

O preço do ajuste do dia anterior é corrigido diariamente pela taxa efetiva do CDI praticada no mercado nesse dia. Essa taxa é divulgada pela Cetip no dia seguinte de manhã.

$$PA_{t-1} = [PA_{t-1} \times (1 + i / 100)]$$

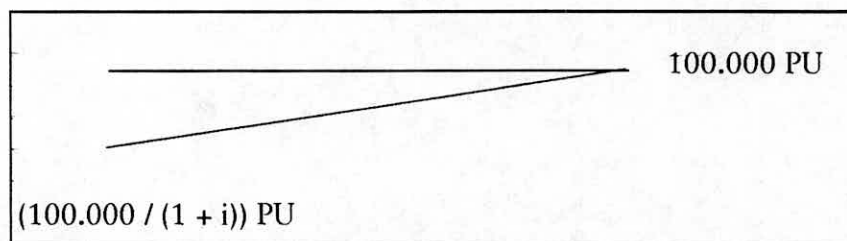
i = taxa média de DI de um dia, da Cetip, referente ao dia anterior, expressa em percentual ao dia (taxa efetiva dia) com até sete casas decimais.

FLUXO DO CONTRATO⁸

O mecanismo de precificação do contrato futuro de DI de 1 dia é feito pelo cálculo do valor presente do valor de 100.000 pontos, utilizando-se a taxa de juro efetiva esperada para o período.

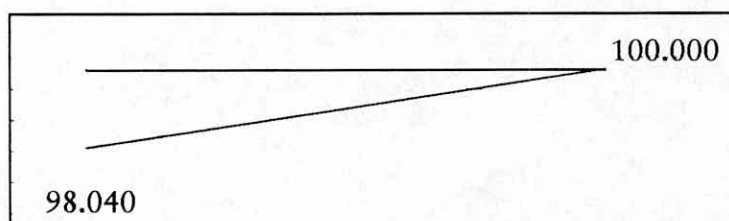
⁷ Informações do contrato futuro de DI de 1 dia retiradas do livro O Futuro do Futuro de Noémio Spinola

⁸ Informações retiradas da apostila sobre produtos derivativos da ANCOR (Associação Nacional das Corretoras de Valores, Câmbio e Mercadorias)



CÁLCULO DE TAXA IMPLÍCITA (BASE)⁹

Para calcular a taxa implícita de juro é necessário calcular a taxa de juro que faz com que o valor de 100.000 chegue ao valor de 98.040, no caso desse exemplo.



$$PU = 100.000 / (1 + i) \quad PU = 98.040$$

$$DU = 25 \text{ dias úteis}$$

$$Tp = (100.000 / 98.040) - 1 = 0,02 \text{ ou } 2\% \text{ ao período (efetiva)}$$

$$To = (((100.000 / PU) ^ (1 / DU)) - 1) \times 3.000$$

$$To = (((100.000 / 98.040) ^ (1 / 25)) - 1) \times 3.000 = 2,38\% \text{ ao mês (over 30 dias)}$$

CÁLCULO DOS NÚMEROS DE CONTRATOS¹⁰

Para calcular o número de contratos necessários para determinada operação de *hedge* basta dividir o valor que se espera proteger pelo PU que está sendo negociado para o contrato com vencimento compatível ao período de proteção.

Exemplo:

⁹ idem ao anterior

¹⁰ idem ao anterior

Valor para *hedge*: R\$ 60.000.000,00

PU negociado: 98.040

Vencimento: 25 dias úteis

$Ct = (Valor / PU) = (60.000.000,00 / 98.040) = 612$ contratos

Na qual:

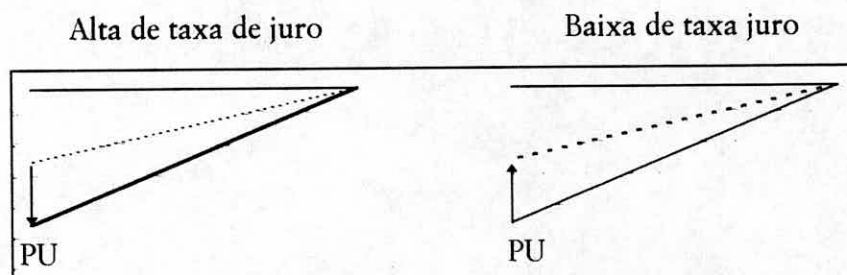
Ct = Número de contratos;

Valor: Valor para *hedge*;

PU: Preço unitário negociado.

PU VS. VARIAÇÃO DE JUROS¹¹

Quando há diminuição de taxa de juro há aumento do valor da PU, e ocorre o inverso no caso do aumento da taxa.



PROJEÇÃO DE TAXAS DE JURO:¹²

Para se encontrar as taxas de juro esperadas utilizam-se os PU dos meses com vencimentos subsequentes.

Taxas de Juro

| | | | |
|-----------|--------|------------|----------|
| 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/9 |
| Junho | Julho | Agosto | Setembro |
| 98.133 | 96.273 | 94.450 | 92.680 |
| ← Junho → | | ← Julho → | |
| | | ← Agosto → | |

Fonte: Informações retiradas da apostila sobre produtos derivativos da ANCOR (Associação Nacional das Corretoras de Valores, Câmbio e Mercadorias)

Sendo assim:

¹¹ *ibid*

¹² *ibid*

Taxas projetadas:

$$\Rightarrow \text{Junho} = (98.133 / 96.273) - 1 = 0,0193 \text{ ou } 1,93\%$$

$$\Rightarrow \text{Julho} = (96.273 / 94.450) - 1 = 0,0193 \text{ ou } 1,93\%$$

$$\Rightarrow \text{Agosto} = (94.450 / 92.680) - 1 = 0,0191 \text{ ou } 1,91\%$$

Seção 3

MODELOS DE PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO

MODELOS DE PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE TAXA DE JURO

Devido a sua complexidade, advinda da necessidade da análise de uma estrutura a termo de taxas de juro para vários dias, meses ou anos), um número grande de instrumentos financeiros são utilizados no sentido de manter sobre controle essa complexidade. Estrutura a termo de taxas de juro é o encadeamento das taxas de juro para que seja possível a precificação de um ativo, ou seja, para precificar determinado título com vencimento em cinco anos é necessário conhecer as taxas de juro de todos esses cinco anos. O problema surge quando inserimos a incerteza na análise dessa estrutura de termos e definimos uma estrutura de termos aleatoriamente alterável.

O que temos quando tentamos fazer previsões são basicamente: informações passadas, expectativas do mercado, política de taxa de juro do governo, situação econômica internacional, entre outras. Mesmo quando elaboramos um método que leve em conta todas essas variáveis disponíveis é necessária a incorporação da variável aleatória, ou seja, a inclusão da possibilidade de que aconteça algo imprevisível.

O estudo do comportamento da estrutura a termo de taxas de juro tem dois enfoques principais. O primeiro tenta entender e montar essa estrutura através de variáveis disponíveis, é montada uma equação na qual se entra as variáveis conhecidas e se obtém a estrutura de termos. Já o segundo enfoque pega uma estrutura de termos dada e analisa as possíveis variações dessa estrutura para cima e para baixo.

O que é importante salientar é o fato de a estrutura a termo estar sempre se alterando, o que obriga ao cálculo constante dos parâmetros do modelo. A periodicidade desse cálculo está baseado no equilíbrio entre o tempo de processamento e a precisão da precificação. Isto porque muitas vezes uma oportunidade surge no mercado durante minutos ou segundos e se o processo de precificação é lento esta oportunidade poderá ser perdida mesmo que o modelo e os parâmetros sejam muito eficientemente manipulados.

“Os modelos que assumem ausência de arbitragem podem ser vistos como um contínuo exercício de previsão.”¹³

¹³ Veja LEE, Wai. *Pricing Interest-Rate Derivatives*. Harvard Business School, 1996.

Os modelos de ausência de arbitragem são muitos e podem variar o número de fatores (fontes de incerteza) de um até em torno de três. O primeiro dessa classe foi introduzido por Ho e Lee em 1986¹⁴. Já o modelo que é objeto dessa pesquisa é conhecido por HJM e foi desenvolvido por Heath, Jarrow e Morton entre 1990 e 1992¹⁵. O enfoque desse modelo é baseado na evolução das taxas de juro a termo e não das taxas à vista.

Modelos como Ho-Lee, Hull-White, Black-Derman-Toy são também alguns tipos dentro da família de modelos com ausência de arbitragem.

Somente para esclarecer essa diferença entre taxas a termo e a vista, será retirado um exemplo do livro *Options, Futures and Other Derivatives* de John C. Hull, que segue:

Taxas de juro à vista e a termo

| Ano (n) | Taxa à vista para um investimento de n anos (% por ano) | Taxa a termo para o n° ano (% por ano) |
|---------|---|--|
| 1 | 10,0 | |
| 2 | 10,5 | 11,0 |
| 3 | 10,8 | 11,4 |
| 4 | 11,0 | 11,6 |
| 5 | 11,1 | 11,5 |

Fonte: Hull, John. *Future, Options and Other Derivatives*

A taxa à vista é utilizada da seguinte forma, para um principal de 100:

$F = 100 (1 + 10.0\%)$, para um ano;

$F = 100 (1 + 10.5\%)^2$, para dois anos;

$F = 100 (1 + 10.8\%)^3$, para três anos, e assim sucessivamente.

Já para as taxas a termo, se faz o seguinte cálculo:

¹⁴ Ho, Thomas, e Sang-Bin Lee, 1986. "Term Structure Movements and Pricing Interest Rate Contingent Claims". *Journal of Finance*, 41, pp. 1011-1029

¹⁵ Heath, David, Robert Jarrow e Andrew Morton, 1990. "Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A Discrete Time Approximation". *Journal of Finance and Quantitative Analysis*, 25, pp. 419-440; e 1992, "Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology for Contingent Claims Valuation". *Econometrica*, 60, pp. 77-105.

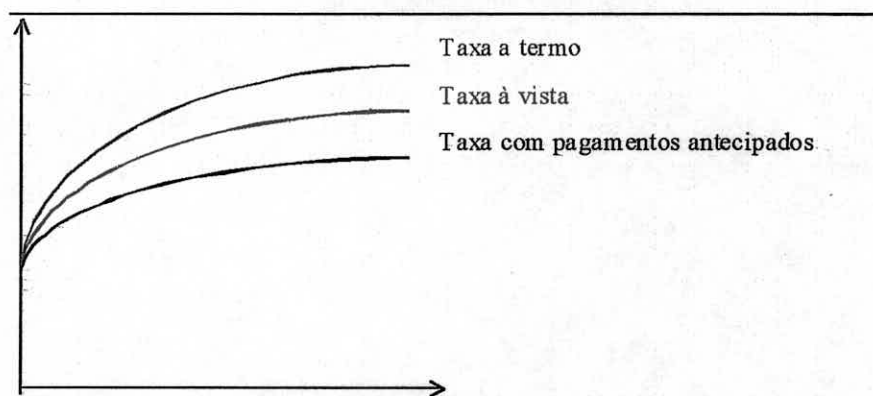
$F = 100 (1 + 10.0\%)$, para um ano;

$F = 100 (1 + 10.0\%) (1 + 11.0\%)$, para dois anos;

$F = 100 (1 + 10.0\%) (1 + 11.0\%) (1 + 11.4\%)$, para três anos, e assim sucessivamente.

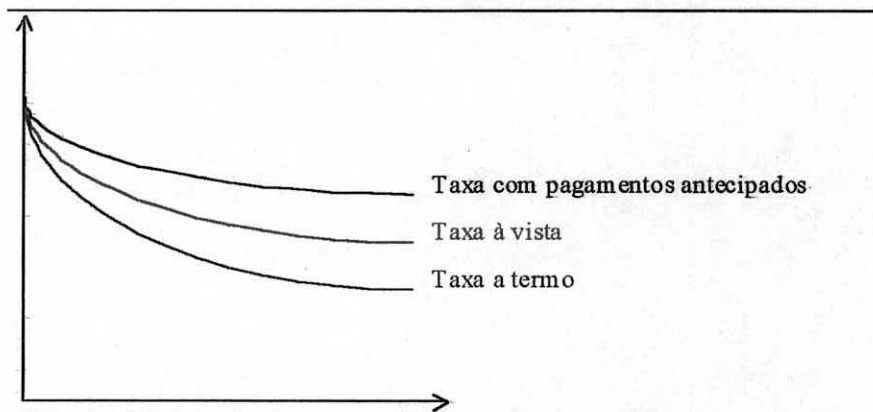
De acordo com a tabela acima podemos montar os gráficos que mostram a relação entre as curvas das taxas de juro à vista e futuras. Tanto a curva de taxas futuras como a de taxas à vista representam títulos sem pagamentos antecipados, já a terceira curva representa títulos que efetuam pagamentos antecipados.

Curva de ganho normal



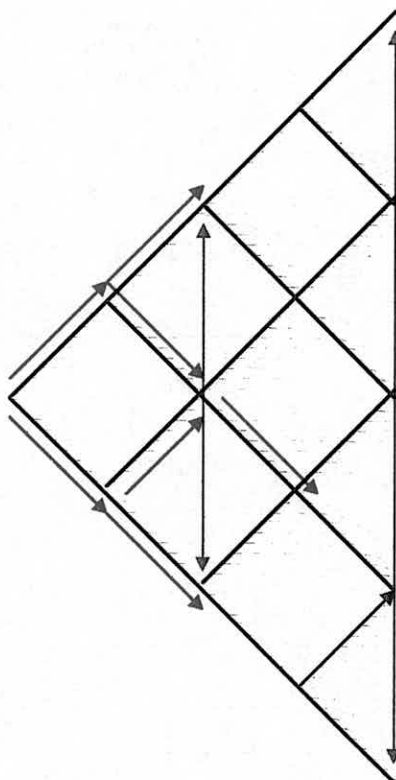
Fonte:

Curva de ganho invertida



Fonte:

O modelo HJM utiliza a árvore binomial para análise da incerteza das futuras variações nas taxas de juro. Basicamente para cada período coloca-se um eventual aumento ou diminuição da taxa de juro de acordo com a média e o desvio padrão da variação históricos. Esquemáticamente, temos na árvore binomial:



A árvore tenta descrever os futuros movimentos da taxa de juro e com isto estabelece um limite de variação para cada período. Quanto mais distante o vencimento maior a incerteza e maior a variação da taxa para essa data. A cor vermelha indica os possíveis caminhos seguidos pela taxa de juro e a cor azul indica a variação possível em cada período.

Seção 4

MODELO HEATH JARROW MORTON

MODELO HEATH JARROW MORTON

O modelo HJM é bastante flexível quanto à acomodação das observações empíricas da estrutura de termos das taxas de juro. Também é possível a incorporação de outros fatores - as fontes de incerteza - no modelo.

Pressupostos:

⇒ Não há oportunidades de arbitragem.

⇒ Período fixo de intervalo de tempo h .

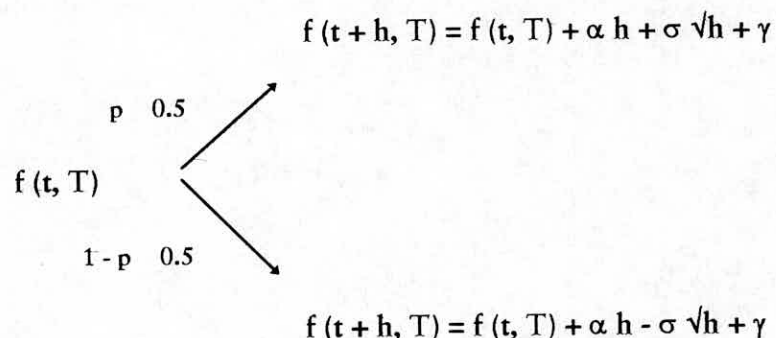
⇒ Só é considerado o preço de títulos sem pagamentos antecipados (qualquer título pode ser transformado em uma combinação de vários títulos sem pagamentos antecipados).

Variáveis:

$$f(t+h, T) = f(t, T) + \alpha h + \sigma \Delta z + \gamma$$

Sendo $(t+h)$ a data na qual se quer saber o preço do título, t a data na qual se tem o preço, α e σ representam a média e o desvio padrão da variação do derivativo e Δz é um valor aleatório com média zero e variância h .

Utilizando essa fórmula em uma árvore binária e incluindo o termo γ para medir o erro relativo ao fato de se ter fixado em 0.5 o valor de p é possível fazer uma simulação de todas as possibilidades de alteração, período a período, da curva de ganho (taxa de juro x maturidade).



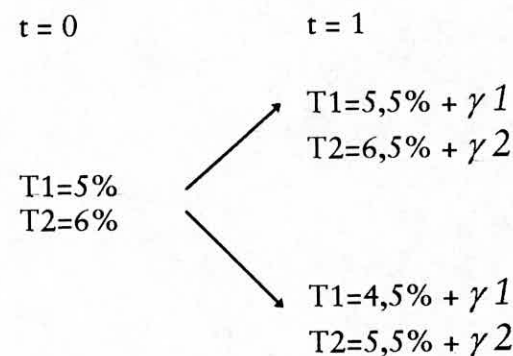
Monta-se toda a árvore binária, traz-se valores futuros utilizando-se as taxas do período t e igualando aos valores trazidos pelas taxas do período $t+h$. Assim pode-se solver todos os valores de γ para que não haja possibilidade de arbitragem. Assim, temos todos os

valores possíveis prováveis para cada período de tempo. Com a árvore binária montada é fácil precificar qualquer tipo de título com base nesses valores.

Além disso é possível analisar o comportamento das taxas de juro dia-a-dia, recalculando os valores de α , σ e γ .

Para garantir que não haja possibilidade de arbitragem, utiliza-se a seguinte metodologia:

Para demonstrar o cálculo dos γ , utilizaremos um exemplo numérico. Para simplificação utilizaremos $h = 1$, $\alpha = 0$ e $\sigma = 0,5\%$, como segue:



Para calcular $\gamma 1$ e $\gamma 2$ utilizamos as seguintes igualdades:

$$1 / (1 + 5\%) = 1 / \{(1 / 2) [1 / (1 + 5,5\% + \gamma 1)] + [1 / (1 + 4,5\% + \gamma 1)]\}$$

$$1 / [(1 + 5\%) (1 + 6\%)] = 1 / \{(1 / 2) [1 / (1 + 5,5\% + \gamma 1) (1 + 6,5\% + \gamma 1)] + [1 / (1 + 4,5\% + \gamma 1) (1 + 5,5\% + \gamma 2)]\}$$

Na primeira equação é possível calcular $\gamma 1$ e na segunda $\gamma 2$.

É possível precificar o título de acordo com o valor justo ou na ausência de arbitragem (5% e 6%), o valor quando houve somente altas nas taxas de juro (5,5% + $\gamma 1$ e 6,5% + $\gamma 2$) e quando houve somente baixas (4,5% + $\gamma 1$ e 5,5% + $\gamma 2$).

Esse mecanismo permite calcular o ganho máximo ou a perda máxima em determinado período permitindo assim um controle do risco envolvido com a posição tomada pelo detentor do título.

Seção 5

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HJM

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HJM

O desenvolvimento de *software* integrado com a BM&F baseado no modelo HJM (Heath-Jarrow-Morton) seguiu os seguintes passos:

Levantar informações junto à BM&F quanto aos contratos derivativos e as eventuais formas de integração entre essa bolsa e o aplicativo em questão.

Implementar somente o contrato futuro de DI de 1 dia da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F), devido a sua maior liquidez e por derivar somente de uma taxa de juro.

Codificar um programa com as seguintes características:

1. Permitir integração eletrônica com a BM&F para trazer dados sobre os contratos negociados diariamente.
2. Possibilitar a digitação das principais variáveis do modelo como média da variação, desvio padrão da variação, quantos meses no futuro serão analisados.
3. Montar a árvore binomial com base nas taxas *over*, ou seja, as taxas para um período de 30 dias. Isto porque essa taxa é padronizada em 30 dias e torna possível uma melhor comparabilidade dessas no decorrer dos meses. Se for utilizada a taxa do período, que considera os dias úteis, a comparação torna-se mais difícil devido a variação de dias úteis entre os meses. Isto porque os meses que têm um número menor de dias úteis terão taxas menores, o que pode causar distorções. Para a precificação, entretanto, a árvore deve estar baseada nas taxas do período porque a precificação desse tipo de contrato se baseia nos dias úteis e não nos dias corridos.

Seção 6

RESULTADOS

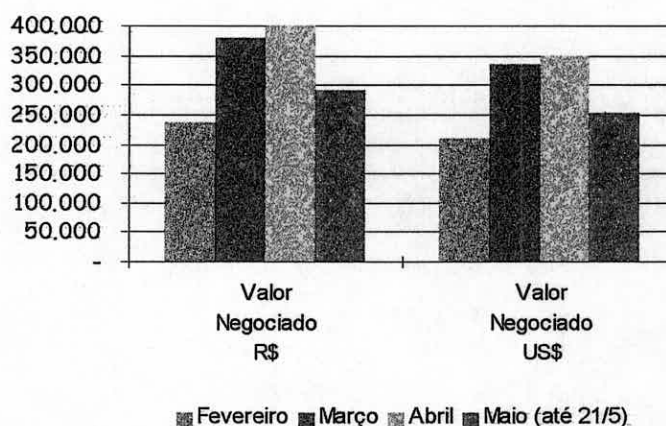
RESULTADOS

Desenvolvimento de programa que permite:

- ⇒ *Integração com a BM&F na importação de dados do pregão;*
- ⇒ *cálculo automático das taxas do período, do dia e over;*
- ⇒ *exibição do gráfico com a projeção das taxas futuras de juro e*
- ⇒ *cálculo da árvore binomial permitindo avaliação da oscilação futura.*

Algumas constatações foram obtidas da análise dos valores históricos relativos aos contratos futuros de DI de 1 dia.

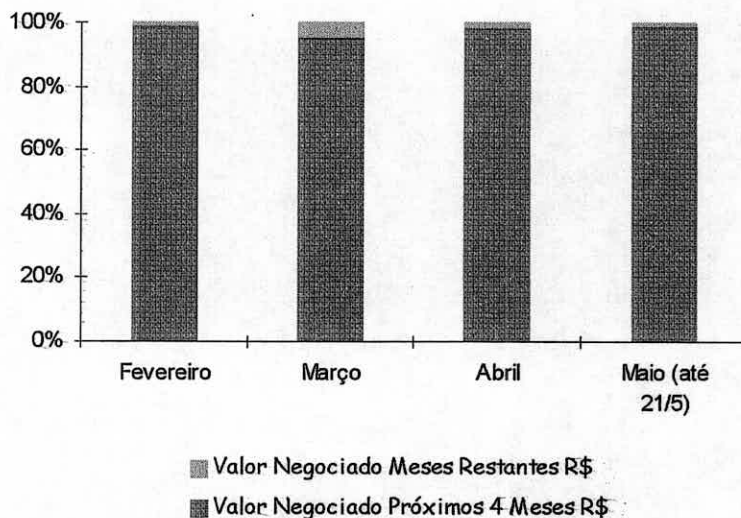
Volume Negociado de Fevereiro a Maio de 1998 em milhões



Fonte: BM&F

De acordo com o volume negociado constatamos um aumento significativo em relação ao primeiro semestre de 1997. Naquele semestre tivemos um volume de em torno de 360 bilhões, o que representa a negociação de um mês atualmente.

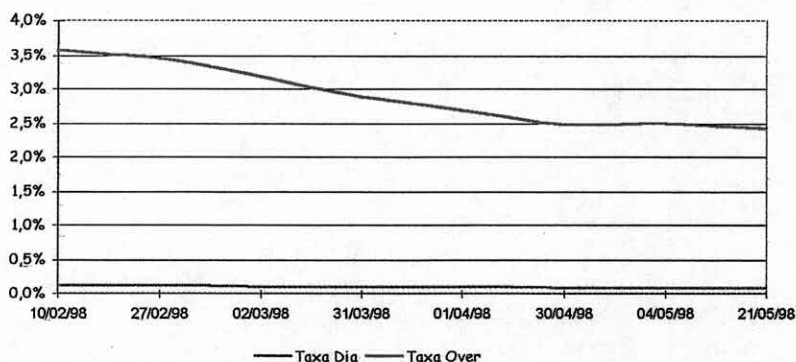
Volume Negociado de Fevereiro a Maio de 1998



Fonte: BM&F

Outra característica do mercado brasileiro de derivativos de taxa de juro de 1 dia é uma alta concentração de negociações nos primeiros quatro meses de vencimento. Isso mostra a preocupação com o curto prazo, devido talvez a períodos recentes de instabilidades que ainda não foram superados.

Variação na Taxa Over e Dia de Fevereiro a Maio de 1998



Fonte: BM&F

Devido a políticas governamentais e iminência constante de crise econômica as taxas de juro sofrem muita influência e apresenta alta volatilidade. No gráfico acima constatamos uma variação de mais de 1% na taxa *over* em menos de três meses, o que representa mais de 12% se esta for anualizada.

Seção 7

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Foi demonstrado através do desenvolvimento do *software* que é possível a implementação do modelo HJM no Brasil. O que fica sem resposta é a utilidade e a qualidade dos seus resultados em um mercado de curto prazo e de alta volatilidade. Para isso fica uma proposta de efetuar um teste e um acompanhamento mais metódico junto à EAESP ou a uma empresa que atue com derivativos dessa natureza.

Outra constatação foi o dinamismo desse mercado através desta pesquisa e do acompanhamento de um curso sobre mercados futuros aqui na EAESP. A constante atualização e o forte embasamento matemático e econômico são fundamentais para o sucesso nessa área.

Cabe aqui colocar que essa pesquisa teve como objetivo o estudo e aplicação de um modelo matemático no mercado brasileiro de derivativos de taxa de juro com enfoque acadêmico. Isto porque não possuo vivência prática nessa área, deficiência essa que foi preenchido pela orientação do professor Richard Saito.

Cabe aqui ressaltar que o programa está longe de ser um produto que possa ser utilizado em produção, é sim uma idéia de que é possível utilizar no Brasil modelos utilizados mundialmente desde que sejam feitas as adequações necessárias.

Com um trabalho de aprimoramento esse aplicativo com o modelo HJM poderá indicar possíveis oportunidade de ganho e fazer sugestões de investimento e de proteção. Para validação dessas sugestões seriam escolhidas algumas dessas oportunidades segundo critérios pré-determinados e acompanhadas durante um período de tempo. No final de cada período se verificaria se houve lucro ou prejuízo e essas informações determinariam o percentual de confiabilidade do modelo e serviriam como base para melhorar suas previsões.

Seção 8

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

BRIGHAM, Eugene F.; GAPENSKI, Louis C. *Financial Management - Theory and Practice*. 7th ed. The Dryden Press, 1994.

FORBES, Luiz F. *Mercados Futuros: Uma Introdução*. 1ª ed. Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1994.

NEWBOLD, Paul. *Statistics for Business & Economics*. 4th ed. Prentice Hall, 1994.

DORNBUSCH, Rudiger; FISCHER, Stanley. *Macroeconomics*. 6th ed. McGraw-Hill, 1994.

HULL, John C. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 3rd ed. Prentice Hall, 1997.

LUENBERGER, David G. *Investment Science*. Oxford University Press, 1998.

LEE, Wai. *Pricing Interest-Rate Derivatives*. Harvard Business School, 1996.

Apêndice A

PRINCIPAIS ROTINAS DO SISTEMA

PRINCIPAIS ROTINAS DO SISTEMA

As rotinas foram desenvolvidas em um projeto do Visual Basic 5 e o banco de dados está no formato Access do Visual Basic 5. As demais rotinas estão em disquete e foram entregues junto com este relatório à EAESP - FGV.

Rotina de importação de dados

Private Sub mnuFileImport_Click()

```
' Este programa importa os dados vindos da BM&F no arquivo
' BDPREGAO.TXT, calcula a taxa do periodo, dia e over e grava
' na tabela Pregao.
```

```
Dim sFile As String
Dim sRecord As String
Dim aux As String
Dim Data As Date
Dim DataVencimento As String
Dim Codigo As String
Dim CotacaoAjuste As Double
Dim CotacaoAjusteMesAnterior As Double
Dim QtdeDiasUteisAteVencimento As Long
Dim QtdeDiasUteisAteVencimentoMesAnterior As Long
```

```
With dlgCommonDialog
    'set the flags and attributes of the
    'common dialog control
    .Filter = "All Files (*.*)|*.*"
    .ShowOpen
    If Len(.filename) = 0 Then
        Exit Sub
    End If
    sFile = .filename
End With
```

```
'process the file
' Open file.
Open sFile For Input As #1
```

```
CotacaoAjusteMesAnterior = 100000
QtdeDiasUteisAteVencimentoMesAnterior = 0
```

```
' Read data
Do While Not EOF(1) ' Loop until end of file.
    Line Input #1, sRecord ' Read line into variable.
    ' Codigo
    Codigo = Mid(sRecord, 11, 3)
    If Codigo = "DI1" Then
        ' Data, Codigo, VencimentoContrato
        Data = Mid(sRecord, 7, 2) & "/" & Mid(sRecord, 5, 2) & "/" &
Mid(sRecord, 1, 4)
        DataVencimento = Mid(sRecord, 32, 2) & "/" & Mid(sRecord, 30, 2) &
"/" & Mid(sRecord, 26, 4)
```

```
Pregao.Index = "Indicel"
Pregao.Seek "=", Data, DataVencimento, Codigo
' Return to the current record if the Seek fails.
If Pregao.NoMatch Then
    Pregao.AddNew
Else
    Pregao.Edit
End If
' Codigo
Pregao("Codigo") = Codigo
' Data
Pregao("Data") = CDate(Data)
' VencimentoContrato
aux = Mid(sRecord, 16, 4)
Pregao("VencimentoContrato") = aux
' DataVencimento
Pregao("DataVencimento") = DataVencimento
' ValorContrato
aux = Mid(sRecord, 47, 13)
Pregao("ValorContrato") = Val(aux) / 100
' VolumeDiaR
aux = Mid(sRecord, 60, 13)
Pregao("VolumeDiaR") = Val(aux)
' VolumeDiaUS
aux = Mid(sRecord, 73, 13)
Pregao("VolumeDiaUS") = Val(aux)
' ContratosAbertos
aux = Mid(sRecord, 86, 8)
Pregao("ContratosAbertos") = Val(aux)
' ContratosNegociados
aux = Mid(sRecord, 102, 8)
Pregao("ContratosNegociados") = Val(aux)
' CotacaoPrimeiroNegocio
aux = Mid(sRecord, 136, 8)
Pregao("CotacaoPrimeiroNegocio") = Val(aux) / 100
' CotacaoMenorNegocio
aux = Mid(sRecord, 144, 8)
Pregao("CotacaoMenorNegocio") = Val(aux) / 100
' CotacaoMaiorNegocio
aux = Mid(sRecord, 152, 8)
Pregao("CotacaoMaiorNegocio") = Val(aux) / 100
' CotacaoMediaNegocios
aux = Mid(sRecord, 160, 8)
Pregao("CotacaoMediaNegocios") = Val(aux) / 100
' CotacaoUltimoNegocio
aux = Mid(sRecord, 173, 8)
Pregao("CotacaoUltimoNegocio") = Val(aux) / 100
' CotacaoAjuste
aux = Mid(sRecord, 211, 13)
Pregao("CotacaoAjuste") = Val(aux) / 100
CotacaoAjuste = Val(aux) / 100
' SituacaoAjusteDia
aux = Mid(sRecord, 224, 1)
Pregao("SituacaoAjusteDia") = aux
' CotacaoAjusteDiaAnterior
aux = Mid(sRecord, 225, 13)
Pregao("CotacaoAjusteDiaAnterior") = Val(aux) / 100
' SituacaoAjusteDiaAnterior
```

```

    aux = Mid(sRecord, 238, 1)
    Pregao("SituacaoAjusteDiaAnterior") = aux
    ' QtdeDiasUteisAteVencimento
    aux = Mid(sRecord, 352, 5)
    Pregao("QtdeDiasUteisAteVencimento") = Val(aux)
    QtdeDiasUteisAteVencimento = Val(aux)
    ' QtdeDiasCorridosAteVencimento
    aux = Mid(sRecord, 357, 5)
    Pregao("QtdeDiasCorridosAteVencimento") = Val(aux)
    If (QtdeDiasUteisAteVencimento = 0 Or CotacaoAjuste = 0) Then
        ' TaxaPeriodo
        Pregao("TaxaPeriodo") = 0
        ' TaxaDia
        Pregao("TaxaDia") = 0
        ' TaxaOver
        Pregao("TaxaOver") = 0
    Else
        ' TaxaPeriodo
        Pregao("TaxaPeriodo") = (CotacaoAjusteMesAnterior /
CotacaoAjuste) - 1
        ' TaxaDia
        Pregao("TaxaDia") = ((CotacaoAjusteMesAnterior / CotacaoAjuste) ^
(1 / (QtdeDiasUteisAteVencimento - QtdeDiasUteisAteVencimentoMesAnterior))) - 1
        ' TaxaOver
        Pregao("TaxaOver") = Pregao("TaxaDia") * 30
    End If
    Pregao.Update
    CotacaoAjusteMesAnterior = CotacaoAjuste
    QtdeDiasUteisAteVencimentoMesAnterior = QtdeDiasUteisAteVencimento

    End If
Loop

    ' Close file.
    Close #1
    Exit Sub

ErrorDB:

End Sub

```

Rotina de cálculo da árvore binomial

```

Private Sub cmdOk_Click()

    ' Este programa calcula a arvore binomial de acordo com
    ' os seguintes parametros recebidos de uma tela:
    ' Data (MskEdData), Media da Variacao (MskEdMedia),
    ' Desvio Padrao da Variacao (MskEdDesvio) e
    ' Periodos (MskEdPer)

    Dim A, B As Double
    Dim x, y, z As Double
    Dim c As Long
    Dim Nome As String
    Dim t As Long

```

```
Dim No, NoAtu As Long
Dim Venc, VencAtu As Long
Dim TaxasAnt(1 To 65536) As Double
Dim Taxas(1 To 65536) As Double
Dim Erros(1 To 32768) As Double
Dim MediaVariacao As Double
Dim DesvioPadraoVariacao As Double

For c = 1 To 65536
    TaxasAnt(c) = 0
    Taxas(c) = 0
Next c

For c = 1 To 32768
    Erros(c) = 0
Next c

' Pega taxas da estrutura de termos
Pregao.Index = "Indice2"
Data = MskEdData
Pregao.Seek "=", Data

For c = 1 To Val(MskEdPer)
    Taxas(c) = Pregao("TaxaOver")
    Pregao.MoveNext
Next c

MediaVariacao = MskEdMedia
DesvioPadraoVariacao = MskEdDesvio

Nome = "Arvore1"

Arvore.Index = "Nome"
' Return to the current record if the Seek fails.
Arvore.Seek "=", Nome

If (Arvore.NoMatch) Then
Else
    Do
        Arvore.Delete
        ' Return to the current record if the Seek fails.
        Arvore.Seek "=", Nome
    Loop Until Arvore.NoMatch
End If

t = 0
Venc = Val(MskEdPer)

Arvore.Index = "Principal"
' Return to the current record if the Seek fails.
' Arvore.Seek "=", Nome, t, No, Venc

Do
    NoAtu = 1
    No = (2 ^ t)
    Do

        If (t > 0) Then
```



```

If (((NoAtu + 1) Mod 2) = 0) Then
    ' Pega taxas do t anterior
    c = 1
    Arvore.Seek "=", Nome, (t - 1), ((NoAtu + 1) / 2), (t + c -
1)
    Do
        TaxasAnt(c) = Arvore("Taxa")
        c = c + 1
        Arvore.Seek "=", Nome, (t - 1), ((NoAtu + 1) / 2), (t + c
- 1)
    Loop Until (Arvore.NoMatch)

End If

End If

VencAtu = t
Do
    If (t > 0) Then
        If (((NoAtu + 1) Mod 2) = 0) Then
            ' Calcula o erro
            x = 1
            y = 1
            z = 1

            Taxas(VencAtu - t + 1) = TaxasAnt(VencAtu - t + 1) +
MediaVariacao + DesvioPadraoVariacao
            Taxas((Venc - t + 1) + (VencAtu - t + 1)) =
TaxasAnt(VencAtu - t + 1) + MediaVariacao - DesvioPadraoVariacao

            d = 1
            Do While (d < (VencAtu - t + 1))
                x = x * (1 + TaxasAnt(d))
                y = y * (1 + Taxas(d))
                z = z * (1 + Taxas((Venc - t + 1) + d))
                d = d + 1
            Loop

            x = x * (1 + TaxasAnt(d))

            A = 4 * y * z * (1 + TaxasAnt(d) + MediaVariacao) - x * z
- x * y

            B = -2 * y * z * (1 + TaxasAnt(d) + MediaVariacao) ^ 2 +
2 * y * z * (DesvioPadraoVariacao ^ 2) + x * z * (1 + TaxasAnt(d) +
MediaVariacao) - x * z * DesvioPadraoVariacao + x * y * (1 + TaxasAnt(d) +
MediaVariacao) + x * y * DesvioPadraoVariacao

            Erros(VencAtu - t + 1) = (Sqr((A / (2 * y * z)) ^ 2 + 4 *
(B / (2 * y * z)))) - (A / (2 * y * z)) / 2

            Arvore.AddNew

            Arvore("Nome") = Nome
            Arvore("t") = t
            Arvore("No") = NoAtu

```

```

Arvore("Venc") = VencAtu
Taxas(VencAtu - t + 1) = Taxas(VencAtu - t + 1) +
Erros(VencAtu - t + 1)
Arvore("Taxa") = Taxas(VencAtu - t + 1)
Arvore("Erro") = Erros(VencAtu - t + 1)

Arvore.Update

Arvore.AddNew

Arvore("Nome") = Nome
Arvore("t") = t
Arvore("No") = NoAtu + 1
Arvore("Venc") = VencAtu
Taxas((Venc - t + 1) + (VencAtu - t + 1)) = Taxas((Venc -
t + 1) + (VencAtu - t + 1)) + Erros(VencAtu - t + 1)
Arvore("Taxa") = Taxas((Venc - t + 1) + (VencAtu - t +
1))
Arvore("Erro") = Erros(VencAtu - t + 1)

Arvore.Update

End If
Else

Arvore.AddNew

Arvore("Nome") = Nome
Arvore("t") = t
Arvore("No") = NoAtu
Arvore("Venc") = VencAtu + 1
Arvore("Taxa") = Taxas(VencAtu + 1) + Erros(VencAtu + 1)
Arvore("Erro") = Erros(VencAtu + 1)

Arvore.Update

If ((VencAtu + 1) = Venc) Then
    VencAtu = VencAtu + 1
End If

End If

VencAtu = VencAtu + 1

Loop While VencAtu <= Venc

NoAtu = NoAtu + 1

Loop While NoAtu < No

t = t + 1

Loop While t <= Venc

Unload Me

End Sub

```

Rotina de exibição de gráfico com projeção de taxas de juro

```
Private Sub cmdOk_Click()

    ' Este programa exibe um grafico de uma sequencia de dias
    ' de Data de Inicio (MskEdIni) ate Data de Termino (MskEdFim)
    ' para n periodos (MskEdPer)

    Dim Mycheck
    Dim Msg, Style, Title, Help, Ctxt, Response, MyString
    Style = vbCritical ' Define buttons.
    Title = "Preencha os Campos Corretamente" ' Define title.
    Help = "DEMO.HLP" ' Define Help file.
    Ctxt = 1000 ' Define topic
                ' context.
                ' Display message.
    If MskEdIni.Text <> "" And MskEdFim.Text <> "" Then
        Mycheck = IsDate(MskEdIni.Text)
        If Not Mycheck Then
            Msg = "Data de Início Inválida" ' Define message.
            Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)
        Else
            gblDataInicio = MskEdIni.Text
        End If
        Mycheck = IsDate(MskEdFim.Text)
        If Not Mycheck Then
            Msg = "Data Final Inválida" ' Define message.
            Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)
        Else
            gblDataFim = MskEdFim.Text
        End If
        If MskEdPer.Text > 0 Then
            gblPeriodo = MskEdPer.Text
        Else
            Msg = "Período não Informado" ' Define message.
            Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)
        End If
        If IsDate(gblDataFim) And IsDate(gblDataInicio) And gblPeriodo <> "" Then
            frmGraphic1.Show
            Unload Me
        End If
    End If
End Sub
```

Apêndice B

PRINCIPAIS TABELAS DO SISTEMA

PRINCIPAIS TABELAS DO SISTEMA

Por tabela se entende cada arquivo que contem os dados manipulados pelo sistema.

Pregao

Contém os dados diários dos pregões da BM&F .

Data: Data da negociação.

DataVencimento: (formato texto).

Codigo: Código do contrato.

VencimentoContrato: (formato Data).

ValorContrato

VolumeDiaR: Valor negociado no dia em Reais.

VolumeDiaUS: Valor negociado no dia em Dólares.

ContratosAbertos: Número de contratos abertos.

ContratosNegociados: Número de contratos negociados.

CotacaoPrimeiroNegocio

CotacaoMenorNegocio

CotacaoMaiorNegocio

CotacaoMediaNegocios

CotacaoUltimoNegocio

CotacaoAjuste

SituacaoAjusteDia: De acordo com o *lay-out* da BM&F em anexo.

CotacaoAjusteDiaAnterior:

SituacaoAjusteDiaAnterior:

QtdeDiasUteisAteVencimento:

QtdeDiasCorridosAteVencimento:

TaxaPeriodo:

TaxaDia:

TaxaOver:

Arvore

Contém a árvore binomial calculada de acordo com os parâmetros solicitados.

Nome: Nome da árvore binomial para controle do sistema.

t: Representa o instante, sendo 0 o instante presente.

No: Galho da árvore para determinada maturidade, varia de 1 a n de acordo com os parâmetros fornecidos para o cálculo.

Venc: Maturidade

Taxa: Taxa referente ao t, No e Venc.

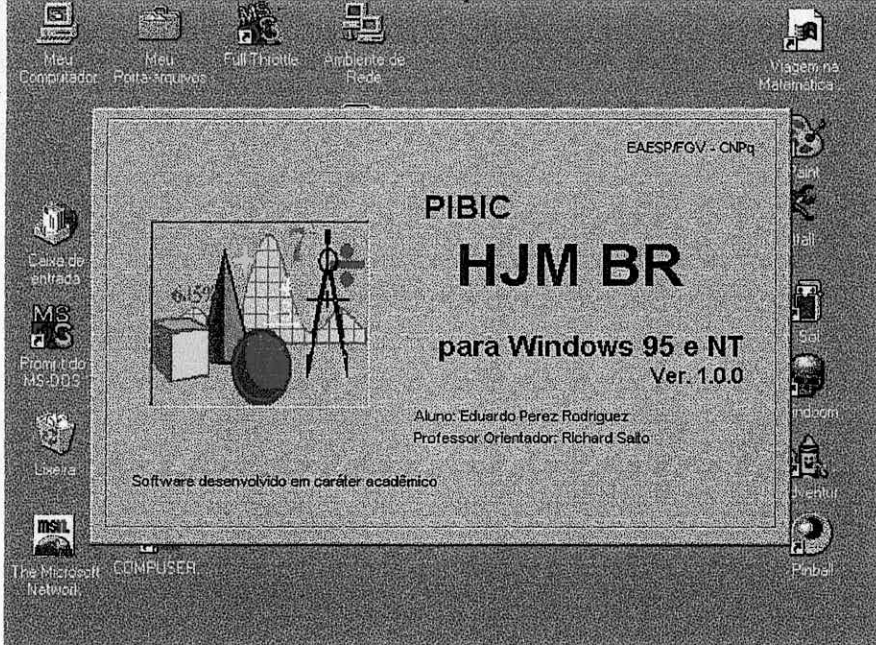
Erro: Erro de ajuste da Taxa.

Apêndice C

MANUAL DO PROGRAMA

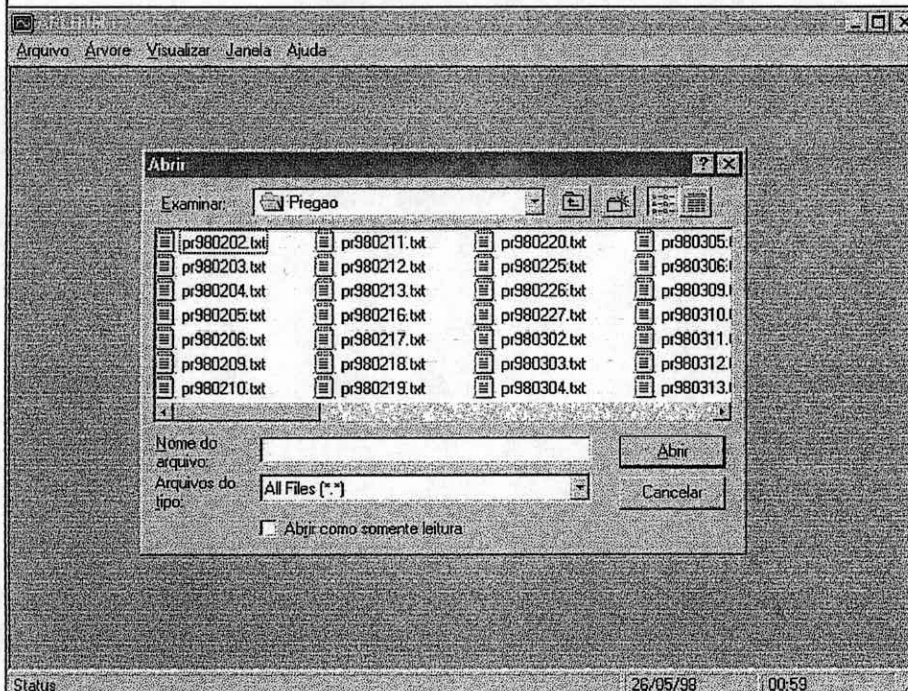
MANUAL DO PROGRAMA

Em seguida foram selecionadas algumas telas que serão descritas de maneira a permitir a operação do sistema.

| Tela de Entrada do Sistema | Descrição |
|---|--|
|  | <p>Esta tela apresenta as informações sobre a versão, plataforma, etc. e informações sobre a pesquisa.</p> |
| <p>Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos.</p> | |

Tela de Importação de Dados

Descrição



Rotina de importação dos dados da BM&F que são obtidos através da internet diariamente.

Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos.

Exibição dos Dados dos Contratos

Descrição

APLHJM - [Gui1]

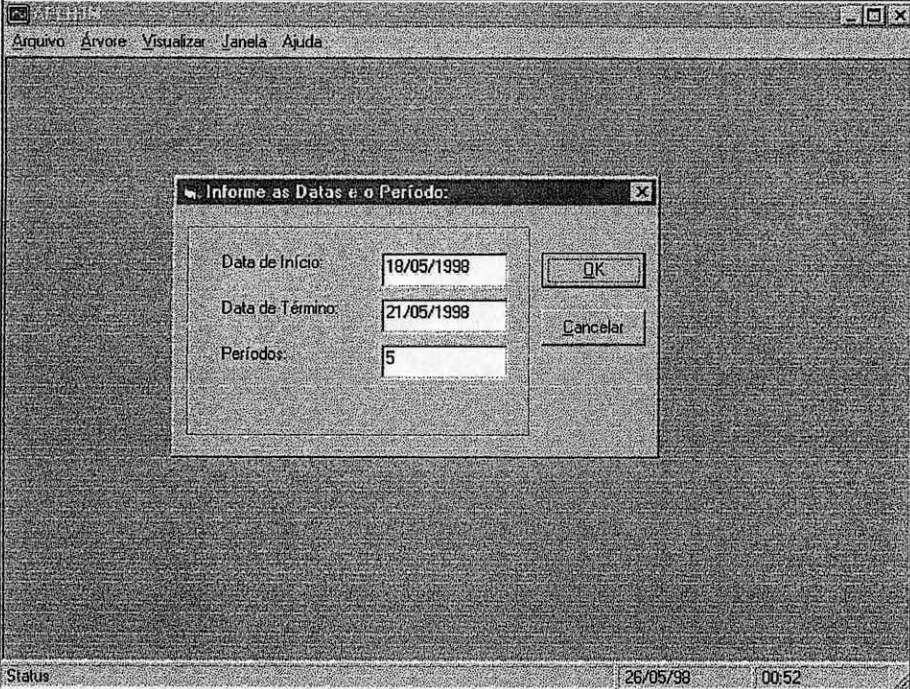
Arquivo Arvore Visualizar Janela Ajuda

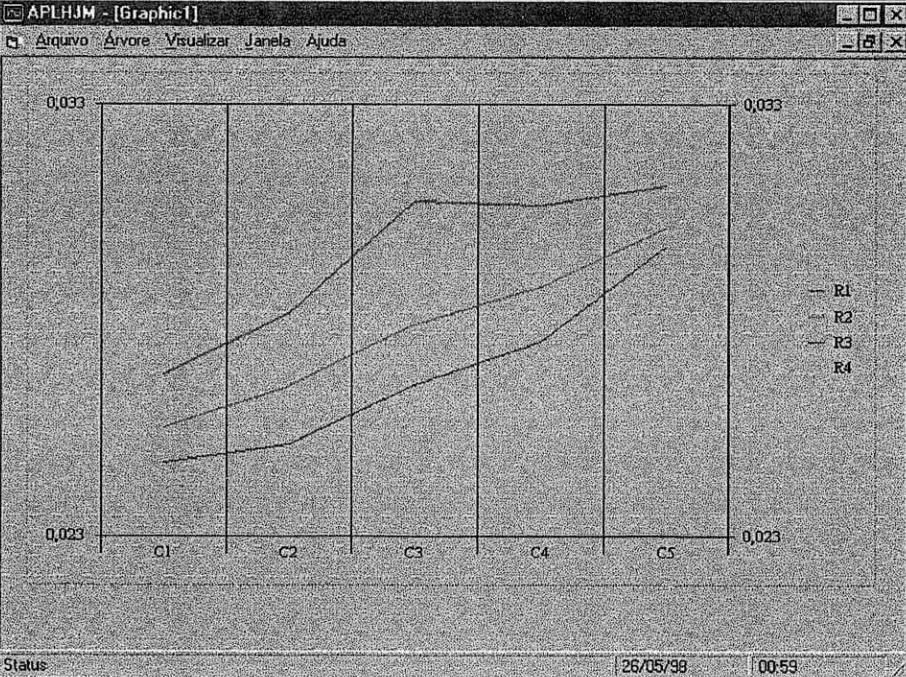
| Data | DataVencim | Codigo | Vencimental | ValorContrato | VolumeDiaR | VolumeDiaUS | ratosAbertos | Negociados | erro |
|----------|------------|--------|-------------|---------------|------------|-------------|--------------|------------|------|
| 02/02/98 | 02/02/98 | DI1 | FEV8 | 100000 | 0 | 0 | 150954 | 0 | |
| 02/02/98 | 02/03/98 | DI1 | MAR8 | 100000 | 1671043830 | 1487223060 | 141097 | 17074 | |
| 02/02/98 | 01/04/98 | DI1 | ABR8 | 100000 | 4513184009 | 4016717701 | 105314 | 47317 | |
| 02/02/98 | 04/05/98 | DI1 | MAI8 | 100000 | 1321901171 | 1176487336 | 32036 | 14173 | |
| 02/02/98 | 01/06/98 | DI1 | JUN8 | 100000 | 63571290 | 56578222 | 2001 | 698 | |
| 02/02/98 | 01/07/98 | DI1 | JUL8 | 100000 | 4796550 | 4268912 | 1631 | 54 | |
| 02/02/98 | 03/08/98 | DI1 | AGO8 | 100000 | 4319500 | 3844340 | 1780 | 50 | |
| 02/02/98 | 01/09/98 | DI1 | SET8 | 100000 | 0 | 0 | 860 | 0 | |
| 02/02/98 | 01/10/98 | DI1 | OUT8 | 100000 | 0 | 0 | 1470 | 0 | |
| 02/02/98 | 03/11/98 | DI1 | NOV8 | 100000 | 0 | 0 | 210 | 0 | |
| 02/02/98 | 01/12/98 | DI1 | DEZ8 | 100000 | 0 | 0 | 200 | 0 | |
| 03/02/98 | 02/03/98 | DI1 | MAR8 | 100000 | 902465790 | 802619877 | 139647 | 9210 | |
| 03/02/98 | 01/04/98 | DI1 | ABR8 | 100000 | 5117953117 | 5441082459 | 106532 | 64066 | |
| 03/02/98 | 04/05/98 | DI1 | MAI8 | 100000 | 2239244095 | 1991501330 | 42176 | 23980 | |
| 03/02/98 | 01/06/98 | DI1 | JUN8 | 100000 | 65656900 | 58392832 | 2467 | 720 | |
| 03/02/98 | 01/07/98 | DI1 | JUL8 | 100000 | 0 | 0 | 1685 | 0 | |
| 03/02/98 | 03/08/98 | DI1 | AGO8 | 100000 | 113326750 | 100788643 | 1780 | 1310 | |
| 03/02/98 | 01/09/98 | DI1 | SET8 | 100000 | 0 | 0 | 860 | 0 | |
| 03/02/98 | 01/10/98 | DI1 | OUT8 | 100000 | 0 | 0 | 1470 | 0 | |
| 03/02/98 | 03/11/98 | DI1 | NOV8 | 100000 | 4008500 | 3565012 | 210 | 50 | |

Status 26/05/98 00:59

Essa tela permite a visualização dos dados importados para consultas e verificações. No apêndice há o *lay-out* dessa tabela.

Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos.

| Informação de Datas e Períodos para Exibição de Gráfico | Descrição |
|--|---|
|  | <p>Diálogo que permite a digitação das diversas datas de pregão e o número de períodos (vencimentos) que deverão ser exibidos no gráfico.</p> |
| Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos. | |

| Gráfico de Projeção de Taxas de Juro | Descrição |
|--|--|
|  | <p>Gráfico de linhas que mostra a projeção de vários dias de negociação para n períodos da taxa <i>over</i>.</p> |
| Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos. | |

Tela de Informação de Dados para Cálculo da Árvore Binomial

Descrição

Permite a informação da data base com a projeção de taxas de juro, a média e o desvio padrão da variação, bem como o número de períodos que se deseja calcular a árvore binomial.

Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos.

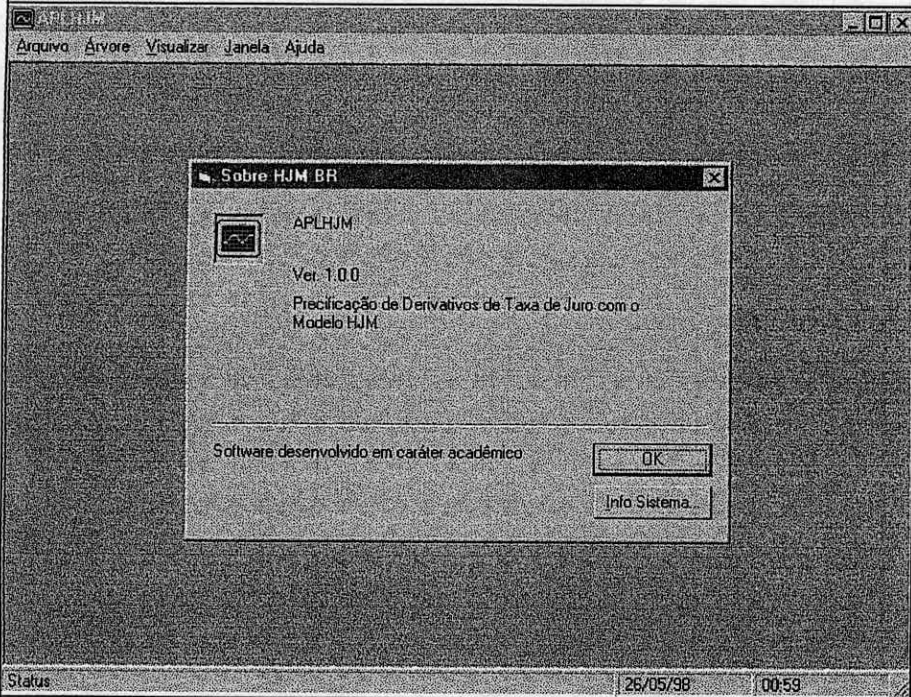
Exibição da Árvore Binomial

Descrição

| Nome | t | No | Venc | Taxa | Erro |
|---------|---|----|------|----------------------|-----------------------|
| Arvore1 | 0 | 1 | 1 | 2,40771095579827E-02 | 0 |
| Arvore1 | 0 | 1 | 2 | 2,45448849062857E-02 | 0 |
| Arvore1 | 0 | 1 | 3 | 0,026100542391776 | 0 |
| Arvore1 | 1 | 1 | 1 | 2,45773526801668E-02 | -9,99755877815978E-04 |
| Arvore1 | 1 | 1 | 2 | 2,50453730390208E-02 | -9,9951186726488E-04 |
| Arvore1 | 1 | 1 | 3 | 2,66012747648309E-02 | -9,99268226945071E-04 |
| Arvore1 | 1 | 2 | 1 | 2,35773526801668E-02 | -9,99755877815978E-04 |
| Arvore1 | 1 | 2 | 2 | 2,40453730390208E-02 | -9,9951186726488E-04 |
| Arvore1 | 1 | 2 | 3 | 2,56012747648309E-02 | -9,99268226945071E-04 |
| Arvore1 | 2 | 1 | 2 | 2,55456169306056E-02 | -9,99756108415184E-04 |
| Arvore1 | 2 | 1 | 3 | 2,71017621781885E-02 | -9,99512586642437E-04 |
| Arvore1 | 2 | 2 | 2 | 2,45456169306056E-02 | -9,99756108415184E-04 |
| Arvore1 | 2 | 2 | 3 | 2,61017621781885E-02 | -9,99512586642437E-04 |
| Arvore1 | 2 | 3 | 2 | 2,45456171687705E-02 | -9,99755870250363E-04 |
| Arvore1 | 2 | 3 | 3 | 2,61017626537956E-02 | -9,99512111035328E-04 |
| Arvore1 | 2 | 4 | 2 | 2,35456171687705E-02 | -9,99755870250363E-04 |
| Arvore1 | 2 | 4 | 3 | 2,51017626537956E-02 | -9,99512111035328E-04 |
| Arvore1 | 3 | 1 | 3 | 2,76020055814715E-02 | -9,99756596717027E-04 |
| Arvore1 | 3 | 2 | 3 | 2,66020055814715E-02 | -9,99756596717027E-04 |
| Arvore1 | 3 | 3 | 3 | 2,66020058186831E-02 | -9,99756359505444E-04 |
| Arvore1 | 3 | 4 | 3 | 0,025602005818683 | -9,99756359505444E-04 |
| Arvore1 | 3 | 5 | 3 | 2,66020062942899E-02 | -9,99756359505666E-04 |
| Arvore1 | 3 | 6 | 3 | 2,56020062942899E-02 | -9,99756359505666E-04 |
| Arvore1 | 3 | 7 | 3 | 2,56020065319643E-02 | -9,99756121831341E-04 |
| Arvore1 | 3 | 8 | 3 | 2,46020065319643E-02 | -9,99756121831341E-04 |

Exibe, período a período, a árvore binomial calculada. Contém o nome da árvore, o período (t), o nó ou galho da árvore, a maturidade ou vencimento, a taxa e o erro (melhor explicado na apresentação do modelo HJM).

Comentário: Programa desenvolvido para fins acadêmicos.

| Tela com Informações do Sistema | Descrição |
|--|--|
|  | Informações sobre versão e sobre o sistema (memória, dispositivos instalados, etc.). |
| Comentário: Programa desenvolvido para fins académicos. | |

Apêndice D

DADOS, TABELAS E DIVERSOS

DADOS, TABELAS E DIVERSOS

Lay-out do arquivo BDPREGAO.TXT



SISTEMA PREGÃO - BDPREGAO.TXT

| | Formato | Tamanho | Início | Fim | Observação |
|--|---------|---------|--------|-----|-------------------------------------|
| Data de Referência | N | 8 | 1 | 8 | AAAAMMDD |
| Tipo de Negociação | A | 2 | 9 | 10 | 'PR' (Pregão) |
| Código da Mercadoria | A | 3 | 11 | 13 | |
| Código do Mercado | A | 1 | 14 | 14 | |
| Tipo da Série | A | 1 | 15 | 15 | 'C' ou 'V' (opções) / '**' (futuro) |
| Série (Opções) / Vencimento (Futuro) | A | 4 | 16 | 19 | |
| Hora de Criação deste Registro | N | 6 | 20 | 25 | HHMMSS |
| Data de Vencimento do Contrato (Futuro/Opções) | N | 8 | 26 | 33 | AAAAMMDD |
| * Preço de Exercício (Opções) | N | 13 | 34 | 46 | |
| Valor do Ponto ou do Contrato | N | 13 | 47 | 59 | 7 decimais |
| Volume do Dia (em R\$) | N | 13 | 60 | 72 | 0 decimais |
| Volume do Dia (em US\$) | N | 13 | 73 | 85 | 0 decimais |
| Qtde. Contratos em Aberto | N | 8 | 86 | 93 | |
| Qtde. de Negócios Efetuados no dia | N | 8 | 94 | 101 | |
| Qtde. de Contratos Negociados no dia | N | 8 | 102 | 109 | |
| Qtde. Contratos Última Oferta Compra do dia | N | 5 | 110 | 114 | |
| * Valor da Última Oferta de Compra do dia | N | 8 | 115 | 122 | |
| Qtde. Contratos Última Oferta de Venda do dia | N | 5 | 123 | 127 | |
| * Cotação da Última Oferta de Venda do dia | N | 8 | 128 | 135 | |
| * Cotação do Primeiro Negócio do dia | N | 8 | 136 | 143 | |
| * Cotação do Menor Negócio do dia | N | 8 | 144 | 151 | |
| * Cotação do Maior Negócio do dia | N | 8 | 152 | 159 | |
| * Cotação Média dos Negócios do dia | N | 8 | 160 | 167 | |
| Qtde. Contratos do Último Negócio do dia | N | 5 | 168 | 172 | |
| * Cotação do Último Negócio do dia | N | 8 | 173 | 180 | |
| Hora do Último Negócio do dia | N | 6 | 181 | 186 | HHMMSS |
| Data do Último Negócio | N | 8 | 187 | 194 | AAAAMMDD |
| * Cotação do Último Negócio anterior | N | 8 | 195 | 202 | |
| * Cotação de Fechamento do dia | N | 8 | 203 | 210 | |
| Cotação Ajuste(fut) / Base de Margem (opc) | N | 13 | 211 | 223 | |
| Situação do Ajuste do dia | A | 1 | 224 | 224 | " " / "S" |
| Cotação de Ajuste do dia anterior (futuro) | N | 13 | 225 | 237 | |
| Situação do Ajuste do dia anterior | A | 1 | 238 | 238 | " " / "A" (Atualizado) |
| Valor do Ajuste por contrato | N | 13 | 239 | 251 | 2 decimais |
| Volume Exercido no dia (em R\$) | N | 13 | 252 | 264 | 0 decimais |
| Volume Exercido no dia (em US\$) | N | 13 | 265 | 277 | 0 decimais |
| Quantidade de Negócios Exercidos no dia | N | 8 | 278 | 285 | |
| Quantidade de Contratos Exercidos no dia | N | 8 | 286 | 293 | |
| Número de Casas Decimais dos campos com * | N | 1 | 294 | 294 | |
| Núm. Casas Decim. Ajustes e Base de Margem | N | 1 | 295 | 295 | |
| Valor da Oscilação | N | 8 | 296 | 303 | 1 decimal |
| Sinal da Oscilação | A | 1 | 304 | 304 | |
| Valor da Diferença (Índice Bovespa) | N | 8 | 305 | 312 | 0 decimais |

| | | | | | |
|---|---|----|-----|-----|------------|
| Sinal da Diferença (Índice Bovespa) | A | 1 | 313 | 313 | |
| Valor da Equivalência | N | 8 | 314 | 321 | 2 decimais |
| Valor do Dólar do Dia Anterior | N | 13 | 322 | 334 | 7 decimais |
| Valor do Dólar do Dia Atual | N | 13 | 335 | 347 | 7 decimais |
| Valor do Delta da Opção (Margem) | N | 4 | 348 | 351 | 2 decimais |
| Qtd saques até data vencimento contrato | N | 5 | 352 | 356 | 0 decimais |
| Qtd dias corridos até data vencim. contrato | N | 5 | 357 | 361 | 0 decimais |