

## 4

### **Análise de Sensibilidade dos Modelos “*Business*” e “*Rigid Cash Flow*”**

O objetivo central do presente capítulo é analisar os modelos “*Business*” e “*Rigid Cash Flow*” e compará-los, de modo a obter conclusões a respeito do uso de OR no estudo de investimentos em petróleo. Para se tornar mais claro, este capítulo está dividido em algumas seções.

A primeira seção dedica-se à apresentação dos principais parâmetros utilizados no estudo de investimentos em petróleo. Na segunda seção é desenvolvido um caso base para estudo, com a determinação de valores para todos os parâmetros envolvidos no estudo e que sejam importantes para um melhor entendimento de um projeto de investimento em petróleo. A apresentação do caso base faz-se ainda mais importante pelo fato de que para realizar as análises de sensibilidades que são tão importantes para as conclusões desta dissertação, por meio de gráficos bidimensionais e tridimensionais, é extremamente necessário o uso de um caso base que servirá como parâmetro de análise. Este caso base é na realidade um cenário que é visto como padrão (para os dois modelos em questão) a partir do qual são realizadas comparações com o resultado que se obtém mediante a alteração de uma ou mais variáveis.

A terceira seção é a mais importante justamente por ser aquela que permite que sejam tiradas as conclusões da dissertação. A partir do caso base apresentado na segunda seção, variam-se alguns dos parâmetros e são feitas comparações, ou análises de sensibilidade dos dois modelos. O objetivo principal desta seção é analisar diversas situações hipotéticas envolvendo os dois modelos apresentados no capítulo anterior (“*Business*” e “*Rigid Cash Flow*”) para melhor entendê-los e também compará-los, tirando assim, possíveis conclusões. Para isto, são construídos gráficos bidimensionais e tridimensionais, tendo como base, diferentes variáveis para análise. A construção destes gráficos foi feita tendo como base os valores contidos em planilhas de um programa desenvolvido por Dias (2005) no código VBA (melhorar esta parte). Utilizando-se os dois modelos,

varia-se separadamente alguns dos parâmetros e são mostrados gráficos que estudam a relação entre dois (ou três) destes parâmetros, para se verificar a relevância desta relação, os principais efeitos destas variações, qual é o modelo mais adequado e etc. Em suma, esta seção é a seção principal do capítulo, onde são feitas diversas análises de sensibilidades com os dois modelos.

#### 4.1

### Os Principais Parâmetros Necessários ao Entendimento do Setor de Petróleo

Para dar início a este capítulo, é necessário descrever alguns parâmetros importantes para a aplicação do modelo. Um fator muito importante na valoração de opções reais é a questão da existência ou não de dividendos. Algumas vezes, para facilitar a análise dos projetos, costuma-se supor que a opção não paga dividendos, o que na maior parte dos casos, é uma abstração que prejudica o resultado final, pois a maior parte das opções gera dividendos ao longo do tempo.

O primeiro parâmetro a ser discutido é, portanto a taxa de dividendo, representada por  $\delta$  e que representa o custo de oportunidade de manter petróleo de baixo da terra, no caso de um projeto de petróleo, como é o caso da dissertação. É uma taxa de distribuição do fluxo de caixa, ou seja, a taxa de distribuição de dividendos do projeto (“*dividend yield*”). Alternativamente, pode ser interpretado como uma taxa de conveniência (“*convenience yield*”), quando a variável estocástica é o próprio preço do petróleo. No caso dessa dissertação o parâmetro  $\delta$  é de fato a taxa de conveniência dado que a variável estocástica é realmente o preço do barril de petróleo.

Em análise econômica na área de petróleo, o valor dessa taxa geralmente varia de 2 a 10%. Para o modelo ser economicamente consistente, o valor de  $\delta$  calculado terá de ser positivo, caso contrário não haveria custo de oportunidade de se esperar (adiar o investimento) e o poço não seria perfurado. Esta taxa de dividendos é bastante útil para o cálculo do retorno esperado pelo proprietário das reservas desenvolvidas, que é decomposto em receitas operacionais, análogas ao

dividendo ( $\delta$ ) e ganhos de capital ( $\alpha$ ). Deve-se destacar, no entanto, que o detentor da opção de desenvolver a reserva não recebe receitas operacionais, apenas as apreciações de preço. O retorno esperado do possuidor de um estoque de petróleo é diferente do retorno esperado pelo possuidor da reserva desenvolvida, mas também demanda mo conhecimento de  $\delta$ . Neste caso, o retorno esperado é dado por:

$$\text{Retorno} = \alpha + \phi - c = \alpha + \delta = \phi - c \quad (4.1)$$

Sendo  $c$ , um custo de estocagem e  $\phi$ , o estoque.

No estudo de OR, por motivos que não serão explicados aqui, considera-se que o estado “normal” para a indústria é quando o  $\delta$  é igual à taxa livre de risco  $r$ . Nos exemplos analisados nessa dissertação era considerado o caso normal todo o tempo, de maneira que  $r = \delta$  em todos os casos de avaliação.

O segundo parâmetro a ser analisado é a volatilidade. Volatilidade aqui é o desvio padrão da taxa de variação da variável estocástica ( $dV/V$  ou  $dP/P$ ) por unidade de tempo, e pode ser medida em termos de percentagem ao ano. Esse é o parâmetro fundamental da incerteza do projeto. Esse parâmetro tem um efeito muito importante tanto no valor da oportunidade (opção) de investimento, como no valor do gatilho (regra de decisão), quando o projeto apresenta flexibilidades gerenciais tais como a de *timing*. Uma faixa razoável para valores de  $\sigma$  em projetos de E&P de petróleo é de 15 a 25 % aa. A volatilidade pode ser calculada por séries temporais de dados passados, complementados ou não por análises de cenários, que podem indicar um aumento ou diminuição na incerteza dos preços do petróleo para o futuro.

Por fim, analisa-se a taxa livre de risco, que já foi comentada no estudo da taxa de dividendos e que é bastante importante. A taxa livre de risco é uma taxa que varia de acordo com as condições macroeconômicas e depende de interesses político-econômicos dos países que compõem esse cenário. Os parâmetros usados para se definir um retorno livre de risco devem estar balanceados por flutuações

macroeconômicas e por mudanças de interesses distintos. A taxa que deve ser usada é, por consenso, uma taxa real e depois de impostos.

## 4.2

### O Caso Base

Para realizar a análise de sensibilidade dos dois modelos estudados na dissertação, deve-se partir de um caso base de estudo, com valores determinados. Em geral, estes casos são os mais comuns de se observar na realidade, por exemplo, o preço é o preço atual de mercado, o índice  $q$  de qualidade é dado pelo valor observável levando-se em conta a taxa de desconto atual, a qualidade dos fluidos e dos poços do local analisado etc. A seguir, será apresentada uma tabela com os valores estimados para as variáveis.

Tabela 4: Caso Base

Variável	Símbolo	Valor
Preço do barril	P	30US\$
Volume do barril	B	200 milhões
Investimento	D	500 milhões US\$
Volatilidade	$\sigma$	20%
Taxa de juros	r	6%
Dividendos	$\delta$	6%

No caso da dissertação, o preço do petróleo é dado por uma expectativa de longo prazo e o valor é dado em dólares (US\$) por barril. O preço  $P$  selecionado para o caso base foi de 30 US\$/bbl. É importante que fique claro aqui que a escolha do caso base não foi feita com base nos valores de mercado, mas sim com valores que tornassem as análises mais elucidativas, conclusivas. O preço atual do barril de petróleo é de aproximadamente 60 US\$, mas o valor utilizado de 30US\$, além de ser um valor de longo prazo é o que permite melhores conclusões (chega-se a um valor *deep in the money* na maior parte dos casos). Já o valor de  $B$ , volume da reserva em milhões de barris foi estimado em 200, ou seja, 200 milhões de barris. A qualidade da reserva, que é expressa em um valor percentual, foi estimada em 16%. O valor presente do investimento no projeto em questão (líquido de tarifas), representado por  $D$ , foi estimado em 500 milhões US\$, a

volatilidade ( $\sigma$ ) foi projetada como sendo de 20% ao ano, ao passo que tanto a taxa de juros livre de risco ( $r$ ) como a taxa de dividendos ( $\delta$ ) foram estimadas, para facilitar, em um mesmo valor, de 6%.

Deve-se colocar aqui, que são valores fictícios e escolhidos para se analisar outros casos que poderiam ocorrer na prática, mas que não necessariamente estes valores são iguais, mas variam em torno de 6%, podendo ser maiores ou menores.

O tempo de expiração foi de dois anos, quer dizer, é como se o projeto fosse expirar em dois anos, e o símbolo que foi dado para o tempo até a expiração foi  $\tau$ . No caso do modelo RCF, como já foi visto no capítulo anterior, existe ainda uma outra variável a ser estimada, que é a variável  $C$ , que mede o valor presente dos custos operacionais do projeto, avaliada em 400 milhões de US\$.

Após a determinação destes valores e com o início das operações no código VBA, elaboração de tabelas e gráficos em planilhas de Excel, a utilização de alguns destes valores se revelou na inviável na prática para a análise de sensibilidade, precisando, portanto, de alguns ajustes. Um exemplo disto foi o valor do investimento  $D$ . Quando se alteram outras variáveis para o estudo do comportamento de um gráfico, verificou-se que ao valor de 500 milhões de US\$, a opção já estava “*deep in the money*”, sendo difícil, assim, tirar conclusões mais precisas<sup>30</sup>.

Um bom exemplo é o seguinte: para a comparação dos dois modelos, RCF e “*Business*”, observando a variação de preços de 15 a 50, de 5 em 5 US\$/bbl e análise de VPL em cada um dos casos, fazendo-se para isto um gráfico com  $P$  no eixo  $x$  e VPL no eixo  $y$ , observavam-se valores iguais para os VPL dos dois modelos, o que pode ser explicado pelo fato de que a opção, a um investimento de 500 milhões de US\$, já estava suficientemente madura, e portanto “*deep in the money*” para os dois casos, aos preços considerados, não cabendo aí uma comparação entre os modelos, dado que esta não auxiliaria em nada a nível de

---

<sup>30</sup> Era mais difícil tirar conclusões que fossem suficientemente perceptíveis para opções que estavam sempre “*deep in the money*”.

comparação. Assim, optou-se por duplicar este valor para 1 bilhão de US\$ em todos os casos, o que tornou as conclusões mais claras e a análise de sensibilidade mais expressiva.

Após terem sido definidos valores para os parâmetros do modelo, a próxima seção está dedicada às análises de sensibilidade dos dois modelos, com objetivo de serem efetuadas comparações e tiradas conclusões sobre a sua utilização e, é claro sobre a melhor forma de serem tomadas decisões acerca de aceitação ou rejeição de determinado investimento em petróleo.

Para que fique mais claro o entendimento do leitor, será mostrado a seguir um resumo dos dados e informações expostas acima, mediante uma tabela.

### **4.3**

#### **Análise de Sensibilidade**

##### **4.3.1**

#### **Preço do Barril de Petróleo X VPL do Projeto**

Inicialmente, busca-se mostrar uma questão básica na análise do caso do petróleo para os dois modelos: a relação entre o preço do barril de petróleo e o valor presente líquido do projeto de investimento. Para isto, por meio da variação do preço do barril do petróleo entre 15 US\$/bbl e 50 US\$/bbl variando-se de 5 em 5 US\$/bbl, observam-se os valores do VPL em cada caso. Depois disso, são construídos gráficos, com  $P$  no eixo  $x$  e VPL no eixo  $y$ , para os dois modelos e então, sobrepondo os gráficos dos dois modelos, têm-se como resultado o gráfico abaixo.

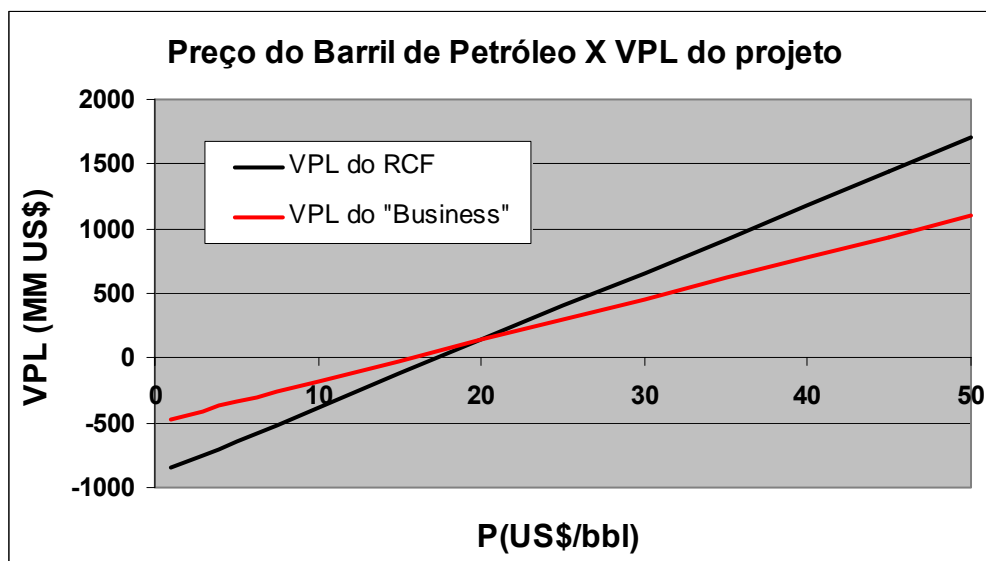


Gráfico 2: Preço do Barril de Petróleo x VPL do Projeto

De acordo com este gráfico, que estuda a sensibilidade do VPL ao preço do petróleo para os dois modelos, é possível se chegar a duas conclusões básicas. Em primeiro lugar, tratam-se de dois casos limites, isto é, cada modelo fornece um valor limite (mínimo e máximo) para o VPL para cada preço do barril de petróleo.

Como já foi visto no capítulo anterior, o modelo “*Business*” considera o custo operacional totalmente proporcional ao preço do petróleo, de maneira que estas duas variáveis (preço e custo operacional) apresentam uma correlação perfeita e igual a 1. Assim, quando por exemplo o preço do petróleo sobe, a expectativa é que o custo operacional de exploração e de produção do petróleo assim como os custos de investimento também subam. Desta forma, não se espera que o VPL cresça muito quando o preço do petróleo suba, já que o custo operacional também irá ter uma expectativa de crescimento, e, no VPL, cada uma destas variáveis têm sinais opostos (o preço contribui para a receita e o custo é debitado como um gasto, investimento). Diz-se que este modelo é amortecido pelo fato de que o preço e o custo serem totalmente correlacionados. O valor que se encontra para o VPL, a dados preços seria então o limite inferior.

Já o modelo RCF é considerado um limite superior. Isto porque o pressuposto do RCF é exatamente o oposto do que é considerado no modelo

“*Business*”. Aqui, o preço e o custo operacional são totalmente independentes. Assim, quando o preço do petróleo sobe, os custos operacionais de realização do projeto se mantêm constantes, de forma que o VPL então dispara. Este modelo é bem mais sensível ao preço do petróleo do que o RCF, de forma que o valor da opção também é assim. É justamente esta questão da sensibilidade do VPL em relação ao preço do barril de petróleo que justifica o fato de uma linha (a correspondente ao RCF) ser bem mais inclinada do que a outra (correspondente ao modelo “*Business*”).

Pode-se afirmar então, que o investidor que deseja tomar a melhor decisão deve associar VPLs intermediários aos dois modelos para cada preço estimado. Isto porque não se pode dizer que na realidade os preços são totalmente correlacionados com os custos operacionais e nem mesmo que eles não possuem nenhuma correlação. Muito provavelmente a correlação entre estas duas variáveis está entre zero e 1, o que seria certamente o caso intermediário entre as duas situações. Uma correlação negativa entre as variáveis também seria economicamente impensada já que é racionalmente ilógico pensar que quando, por exemplo, os custos do petróleo aumentam, o investidor irá baixar o preço do petróleo, ao contrário, ele quererá aumentar este preço para se proteger de possíveis perdas.

Equação do Trigeorgis:

$$F = VPL + \text{prêmio da opção}$$

Neste caso:  $F = VPL + \text{prêmio pela espera}$

Em geral, modelos mais sensíveis requerem um prêmio da espera maior, tal como se observa no caso do modelo RCF.

Ainda comentando a respeito deste gráfico, é necessário destacar que existe um ponto em que as duas retas se cruzam, o que quer dizer que a um determinado preço do barril do petróleo, o VPL avaliado pelos dois modelos é o mesmo. Este ponto corresponde ao preço 20 US\$/bbl e VPL igual a 140 milhões



de dólares. O que se observa é que a variação do modelo RCF é mais significativa do que a do modelo “*Business*”, que é mais moderada no intervalo considerado.

### 4.3.2

#### O Preço de Gatilho

Após a análise da relação entre o preço do petróleo e o VPL de um projeto de investimento, é importante se analisar a regra de decisão mais conhecida como “gatilho”, isto é, o momento ideal para se tomar a decisão de investir ou exercer a opção. O gatilho é a relação entre o tempo que falta para a expiração da opção e o preço do barril de petróleo. O valor de espera faz com que o investidor fique mais exigente quanto mais ele sabe que é possível postergar o projeto. Com o passar do tempo, vai se ficando menos exigente. Ou seja, inicialmente só se aceita exercer a opção a um preço muito alto, mas aos poucos, com a proximidade da expiração e a redução do valor da opção de se postergar, o investidor vai decidindo exercer a opção a um preço menor. É evidentemente por isso que o gráfico do gatilho tem o formato decrescente.

Assim, são colocados em um mesmo gráfico tanto o gatilho avaliado pelo modelo “*Business*” como o gatilho avaliado pelo modelo RCF. Como já foi visto, o modelo RCF é mais rígido, de tal forma que a queda de preço tem um efeito mais devastador sobre os possíveis lucros do investidor. Desta forma, é preciso que o tomador de decisões seja mais cauteloso e prevenido de forma a só aceitar investir de fato quando o preço do petróleo é mais alto. Olhando-se para o gráfico do modelo “*Business*”, percebe-se que o investidor é menos exigente, o que é justificado pelo fato de o modelo ser menos rígido. Assim, o tomador de decisão exige valores mais baixos de preço do petróleo para tomar a decisão de investir. É esta relação entre os modelos que justifica a posição mais elevada do gráfico de gatilho do modelo RCF em comparação com o gráfico do modelo “*Business*”.

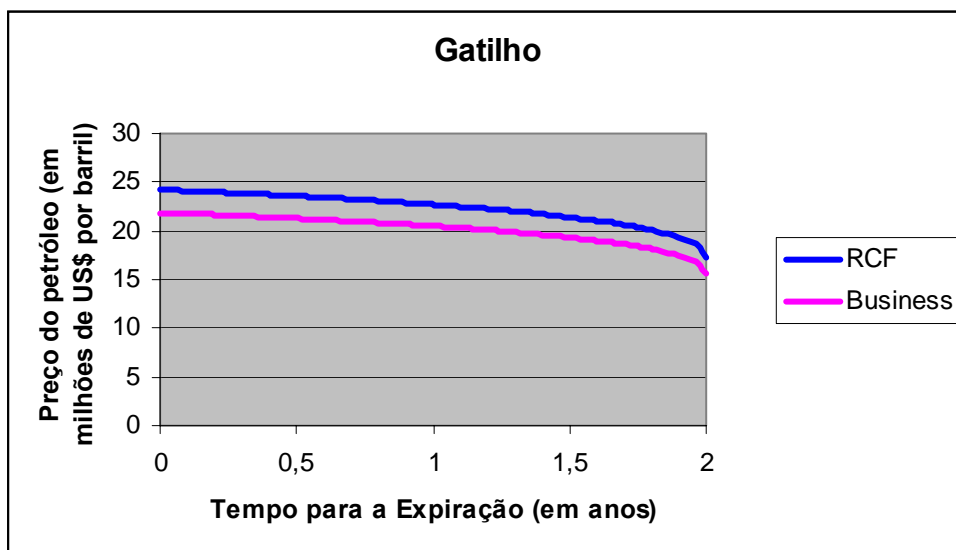


Gráfico 3: Gatilho

O gráfico acima é capaz de auxiliar o entendimento da idéia de gatilho e fazer a comparação entre preços de gatilho para os dois modelos. Entretanto, como forma de visualizar com mais clareza esta diferença, seria importante alterar alguns parâmetros de forma que no ponto em que  $t = 2$ , isto é, na expiração, os valores do preço fossem os mesmos. Isto porque o objetivo inicial foi desenvolver um gráfico de gatilho para os dois modelos que tivessem o mesmo preço no ponto de expiração ( $t = 2$ ) para se fazer uma comparação mais precisa. O esperado era que a curva de gatilho correspondente ao modelo RCF ficasse acima da curva correspondente ao modelo “*Business*”. Entretanto, ao fazer a tentativa de se igualar os preços no ponto de expiração, curiosamente as curvas coincidiram de forma que não foi possível tirar conclusões a partir daí. Assim, para elaborar o gráfico de gatilho, mantiveram-se os dados iniciais, com diferentes preços para o ponto de expiração de cada um dos modelos, e dessa maneira, foi possível chegar às conclusões.

Para se atingir este objetivo, foram feitas algumas alterações de maneira que o preço de gatilho na expiração fosse o mesmo. Para isto, supôs-se a qualidade da reserva,  $q'$  para o modelo RCF valendo 22,4% enquanto  $q$  permaneceu sendo 16% no modelo “*Business*”. Entretanto, ao se fazer esta substituição, verificou-se que a curva de gatilho para ambos os modelos seria a mesma. Esta curiosa observação pode levar à falsa idéia de que nada é possível

concluir a partir deste caso. Entretanto, ao substituir na planilha construída com o código VBA o valor do preço de gatilho (preço que zera o VPL), observa-se que a cada modelo, o valor da opção real é diferente. Isto permite que seja comprovada a linha de raciocínio que foi iniciada nessa seção: o modelo RCF é de fato o mais rígido por exigir valores maiores para a opção real. Logo, conclui-se que o modelo RCF demanda prêmios pela espera (diferença entre o valor da opção e o VPL) para qualquer instante antes da expiração.

### 4.3.3

#### Valor da Opção Real X Preço do Barril do Petróleo

Para melhor visualizar esta conclusão, foi feito um gráfico avaliando tanto o VPL quanto o valor da opção para cada modelo. Entretanto, como se sabe que quando se tem VPL negativo, descarta-se o projeto, não foram considerados os valores negativos do mesmo, e sim a função  $Max(0, VPL)$ . A diferença entre a reta que representa o VPL e a linha que representa o valor da opção é naturalmente, o prêmio pela espera. A única diferença para as demais análises deste capítulo é que, neste gráfico, o valor considerado para o investimento  $D$  foi o de 500 milhões de US\$, conforme se supôs no princípio<sup>31</sup>. Este gráfico é mais fácil de ser analisado pelo fato de que se tem um mesmo preço de gatilho para os dois modelos comparados. Isto é, nos dois casos, o preço de gatilho é de 22US\$/ bbl. Então, para verificar a rigidez/ flexibilidade dos modelos e compara-los, basta observar o valor da opção real a este preço.

Assim, observa-se que no modelo RCF, o valor da opção real ao preço de gatilho, é mais alto, indicando que o modelo é mais rígido exigindo um valor muito alto para o exercício da opção. O valor observado é de 350 milhões de US\$. Já o modelo “*Business*” é mais flexível e menos cauteloso, o valor encontrado ao mesmo preço de gatilho é de 200 milhões de US\$. Um fato bastante interessante observado neste gráfico, que torna possível comprovar o que foi dito a respeito de

---

<sup>31</sup> Mas que se verificou pouco conclusivo pelo fato de que na maior parte dos casos, a opção já estava “*deep in the money*”.

preço de gatilho e de *break-even*, é que: quando o preço de *break-even* é o mesmo nos dois modelos, o preço de gatilho também o é.

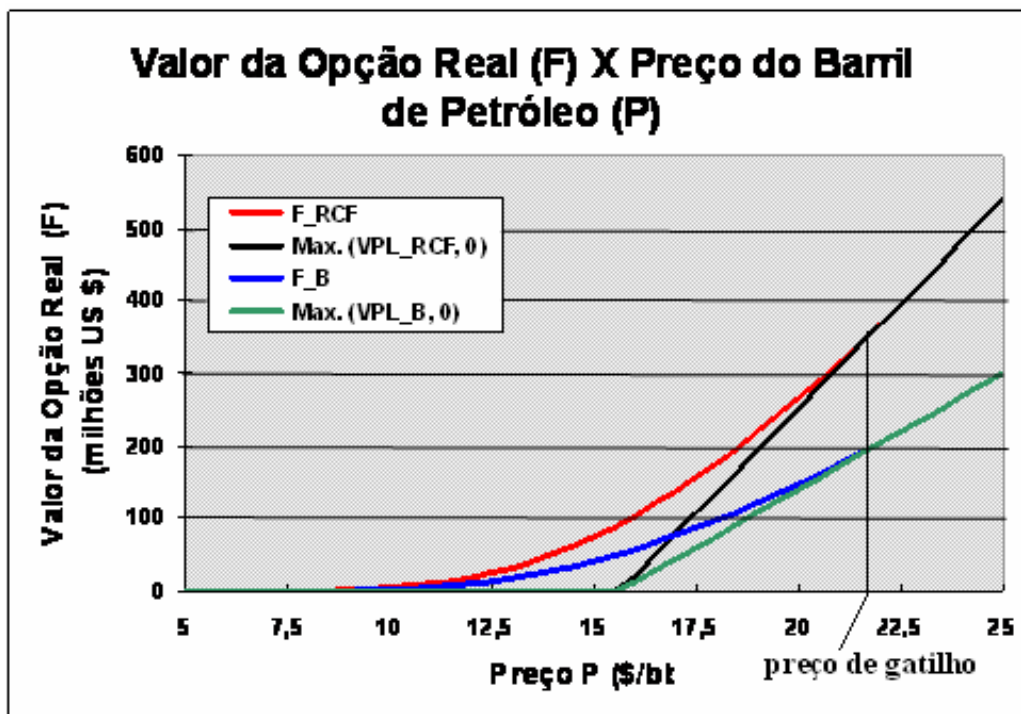


Gráfico 4: Valor da Opção Real x Preço do Barril de Petróleo

#### 4.3.4

##### Análise de Volatilidade

A próxima análise a ser feita, que também é de grande importância, é a avaliação da relação entre a volatilidade e o valor da opção real. O objetivo deste estudo é avaliar como varia o valor da opção real quando se varia o valor da volatilidade. Neste caso, apresenta-se um gráfico cujo eixo x é a volatilidade em % ao ano e o eixo y é o valor da opção real. Para a construção deste gráfico, variou-se o valor da volatilidade entre 0 e 80% ao ano (caso de baixíssima e alta incerteza, respectivamente) de 20 em 20% no código VBA e observou-se como variava o valor da opção,  $F$  em cada caso.

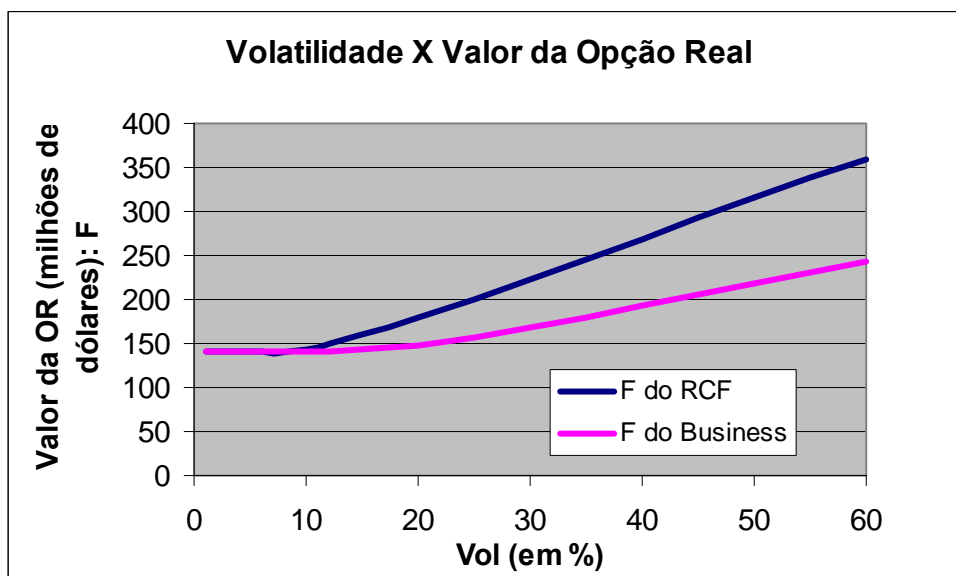


Gráfico 5: Volatilidade x Valor da Opção Real

De acordo com o observado no gráfico, até 10% de volatilidade ao ano, a opção já estava “*deep in the money*”, isto é, já estavam sendo indicadas como aptas a serem exercidas instantaneamente. Isto, considerando os dois modelos. Entretanto, como já poderia ser imaginado, volatilidades maiores, por representarem maiores incertezas, demandam maior cuidado no exercício da opção. Desta forma, volatilidades maiores exigem que o valor da opção seja mais alto para que seja exercida.

Analisando-se os modelos em separado, o que se observa é que, o modelo “*Business*” continua optando pelo exercício imediato da opção mesmo quando a volatilidade ainda é um pouco maior do que 10%. Quando a volatilidade vai aumentando, no entanto, passa-se a se exigir um valor maior do que 140 milhões para a aceitação do exercício. No caso do RCF a situação é mais grave, como já era de se esperar. Por ser um modelo mais rígido, como o próprio nome já denota, o exercício imediato da opção exige um valor bem mais elevado da opção real, de maneira que, comparando-se os dois modelos, é possível ver que a curva correspondente ao RCF cresce bem mais rapidamente conforme se aumenta a volatilidade do que a curva que corresponde ao modelo “*Business*”. A volatilidade faz com que o prêmio pela espera seja maior justamente por denotar incerteza, insegurança, sendo, portanto a favor da espera por um momento mais seguro para

se investir. Assim, só se aceita investir de fato por valores superiores àquele considerado no caso base, neste caso, 140 milhões. Abaixo de 10% a insegurança é tão pequena que não se altera o VPL para que se decida investir.

#### 4.3.5

#### A Taxa de juros livre de risco

O próximo parâmetro a ser estudado é a taxa livre de risco. O gráfico a seguir mostra a relação entre a taxa livre de risco e o preço de gatilho, isto é, o preço ao qual o investidor toma a decisão de investir imediatamente (correspondente ao momento ótimo para se investir), ou seja, a opção de espera tem valor nulo. Como o momento considerado é o ponto de expiração, o VPL do projeto em questão é nulo. Isto é, este é o preço limite a partir do qual a opção de investir imediatamente pode ser considerada interessante.

O preço que zera o VPL do projeto de investimento é chamado de preço de *break-even*, e, no momento da expiração, o preço de *break-even* é igual ao preço de gatilho, isto é o preço correspondente ao momento ótimo de se investir. O gráfico mostra então como varia o preço de gatilho quando se varia a taxa livre de risco. O eixo x corresponde à taxa livre de risco, variando de 2 em 2 % e o eixo y mostra como varia o  $P^*$ .

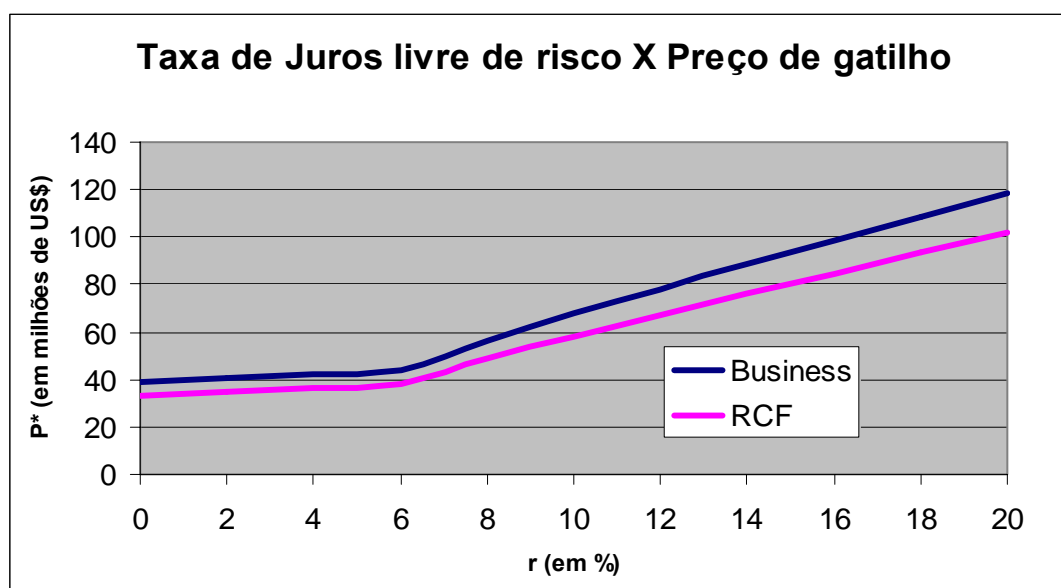


Gráfico 6 : Taxa de Juros Livre de Risco x Preço de Gatilho

Por meio da observação do gráfico é possível perceber que as duas curvas oscilam mais ou menos da mesma maneira, quando a taxa livre de risco está baixa, até 6% o preço de gatilho é constante e depois do valor 6% (aproximadamente), o preço de gatilho passa a crescer a uma taxa linear. A conclusão que se pode tirar da comparação entre os dois modelos é a mesma que se observou nos gráficos acima: o modelo RCF é o mais exigente e para cada taxa livre de risco, os preços de gatilho são mais elevados. Já o modelo “*Business*” exige preços mais baixos para o investimento imediato, isto é, o modelo “*Business*” pode ser considerado um modelo menos exigente, menos cauteloso para a tomada de decisões de investimento.

Ainda analisando a variável taxa livre de risco ( $r$ ), procura-se avaliar como varia o valor da opção real, em cada um dos modelos quando se varia este parâmetro ( $r$ ). Assim, é construído um outro gráfico, onde a variável presente no eixo x é a taxa livre de risco ( $r$ ) e o eixo y é o valor da opção real, representado por  $F$ .

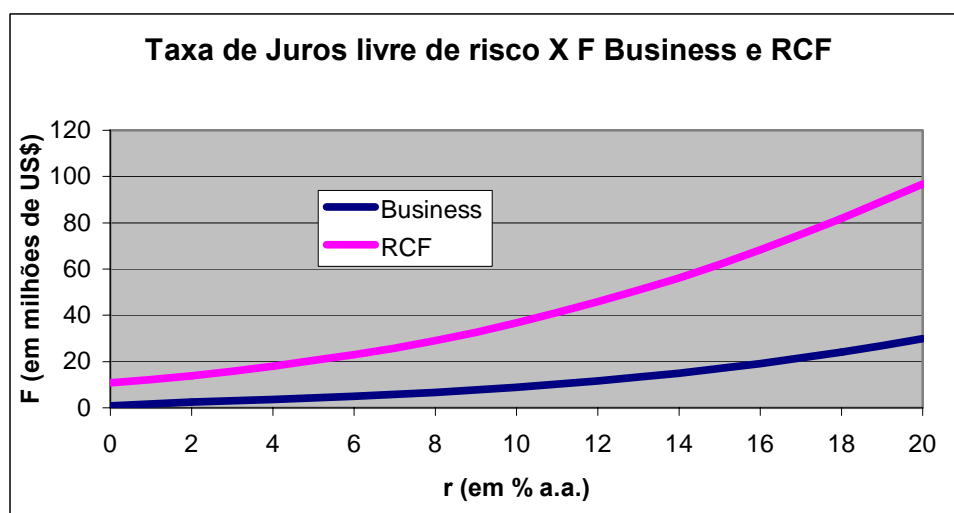


Gráfico 7: Taxa de juros livre de risco x F “*Business*” e RCF

Por meio do gráfico, percebe-se que para cada valor de  $r$ , o valor da opção real é maior no caso do modelo RCF.

#### 4.3.6

#### Taxa de Dividendos X Preço de Gatilho

O gráfico a seguir estuda como a variação da taxa de dividendos ( $\delta$ ) influencia o preço de gatilho. Para isto, oscila-se a taxa de dividendos de 0 a 30%, com variações de 5 em 5% para se analisar como muda o preço de gatilho  $P^*$ .

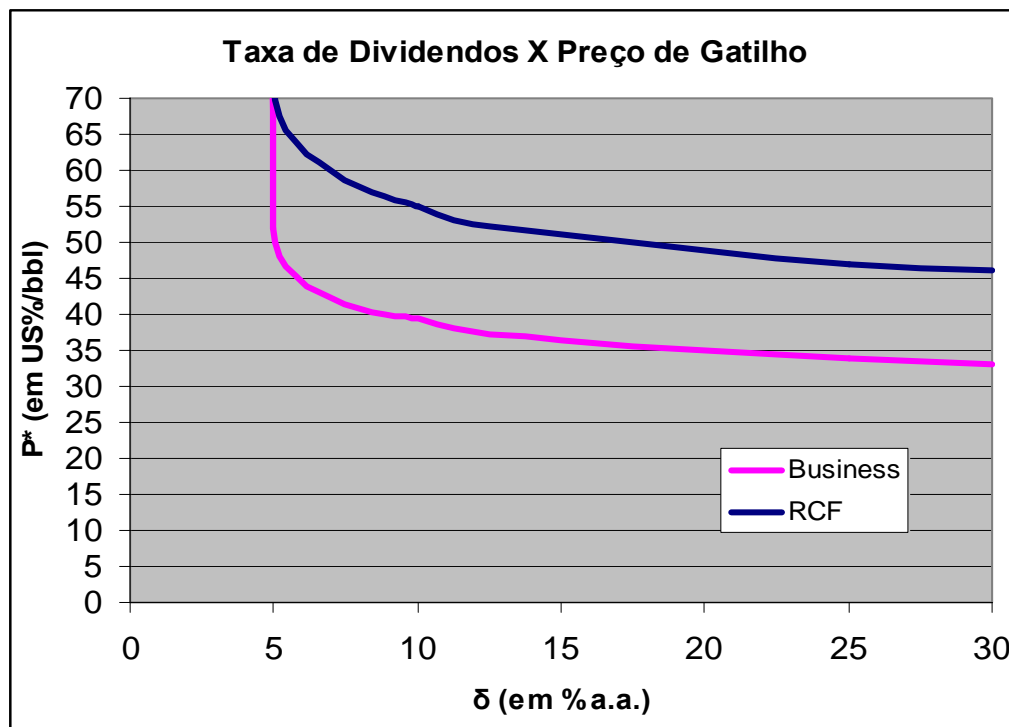


Gráfico 8: Taxa de Dividendos x Preço de Gatilho

O que se pode observar por este gráfico é que nos dois modelos, quando a taxa de dividendos é muito baixa, o preço exigido para o investimento imediato é extremamente alto, de maneira que a opção de espera é bastante valiosa. É considerada inviável a possibilidade de investimento imediato até 5% ao ano. Depois de certo nível, ainda um pouco abaixo de 5%, o preço exigido cai a uma taxa linear muito alta e, a partir do nível de mais ou menos 6% já é considerada a hipótese de investir imediatamente.

Este fato pode ser melhor compreendido pelo próprio significado da taxa de dividendos ( $\delta$ ), já explicado na seção 4.1 deste capítulo. Conforme visto, esta



taxa representa o custo de oportunidade de deixar o petróleo embaixo da terra, isto é, não investir de imediato na perfuração do poço e permitir uma valorização do preço do petróleo enquanto está embaixo da terra até que fique suficientemente atrativo para o investimento. Então, quando esta taxa é relativamente baixa, observa-se que o custo de oportunidade de manter o petróleo embaixo da terra é muito baixo, ou seja, não se perde muito ao mantê-lo embaixo da terra. Percebe-se com isso que a taxa de dividendos muito baixas, o valor do petróleo não é substancialmente alto para atrair um investimento imediato num projeto de perfuração exploração, valendo mais à pena ao investidor esperar que ele se valorize para então perfurar.

No caso da figura, a partir de 10%, o preço de gatilho em ambos os modelos passa a cair a uma taxa muito baixa, de modo que fica mais ou menos constante. De 10 a 30 % dentre os valores abarcados pelo gráfico, pode ser considerada a hipótese de investir agora.

Além disso, é preciso diferenciar os dois modelos. O que se observa é uma maior flexibilidade do modelo “*Business*”, da mesma maneira que se observa nos demais gráficos. O preço de gatilho exigido para o investimento imediato é maior no modelo RCF, em qualquer caso (seja qual for a taxa de dividendos), de maneira que em geral, a decisão de investir de imediato aparece primeiro para o modelo business. Isto só ocorre, é claro, quando a taxa de dividendos é maior do que 5%, porque antes deste valor a oportunidade de se investir não é considerada em nenhum dos dois modelos.

#### **4.3.7**

#### **O Investimento Nominal**

Dias (1996), em sua dissertação de mestrado, estudou algumas situações interessantes do modelo “*Business*” com relação ao investimento nominal. Considerando o tipo de estudo interessante, procurou-se analisar nesta seção a variável investimento nominal considerando-se agora, os dois modelos. O próximo gráfico avalia a relação entre o investimento e o preço de gatilho. O

investimento é colocado no eixo x e varia entre 500 milhões de US\$ e 2 bilhões de US\$, a intervalos de 100 milhões de US\$.

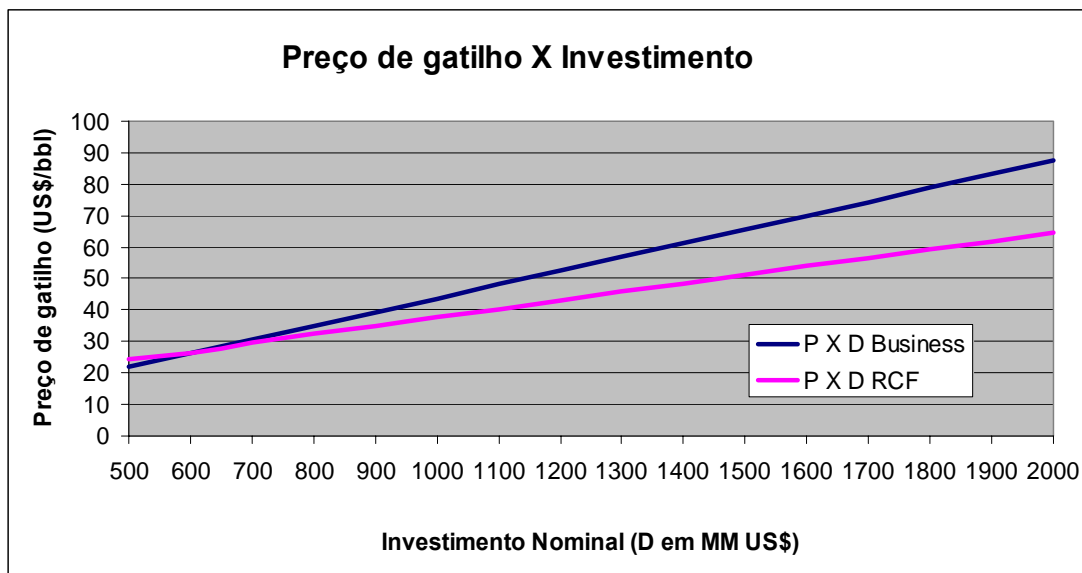


Gráfico 9: Preço de Gatilho x Investimento

O que se observa mediante a análise deste gráfico pode parecer contraditório com as conclusões desta dissertação até agora: ou seja, pode parecer estranho considerar o modelo RCF o mais rígido se o que se observa no gráfico é justamente ao contrário, já que o que oscila mais com a variação no investimento nominal é o “*Business*”. O primeiro gráfico do capítulo contrapõe o preço do barril de petróleo ao VPL do investimento. Em ambos os gráficos têm-se dois limites, um inferior e um superior para o valor do eixo y; a diferença é que o que está sendo limitado é diferente em cada um dos gráficos. No caso do primeiro gráfico, os limites eram em relação ao VPL, já no caso deste gráfico, os limites são relativos ao preço de gatilho.

A primeira hipótese formulada para resolver esta questão, que parece ser um furo na conclusão da dissertação, é que a base de comparação dos modelos está errada, dado que, para cada um deles está sendo considerado um VPL diferente. A idéia para resolver esta questão seria variar o  $q'$  do RCF e o valor do investimento nos dois modelos, para se partir do princípio de um mesmo VPL de comparação para cada preço de gatilho. E assim foi feito. Fixou-se o  $q$  em 20% para o modelo Business, o  $q'$  do RCF em 24% e o preço dos dois em 50 US\$/bbl.

Assim, para cada investimento (no caso, os valores calculados foram 500, 1.000, 1.500, 2.000 e 2.500 em milhões de dólares) seria possível ter o mesmo VPL para cada modelo, de forma que eles iriam poder ser comparados.

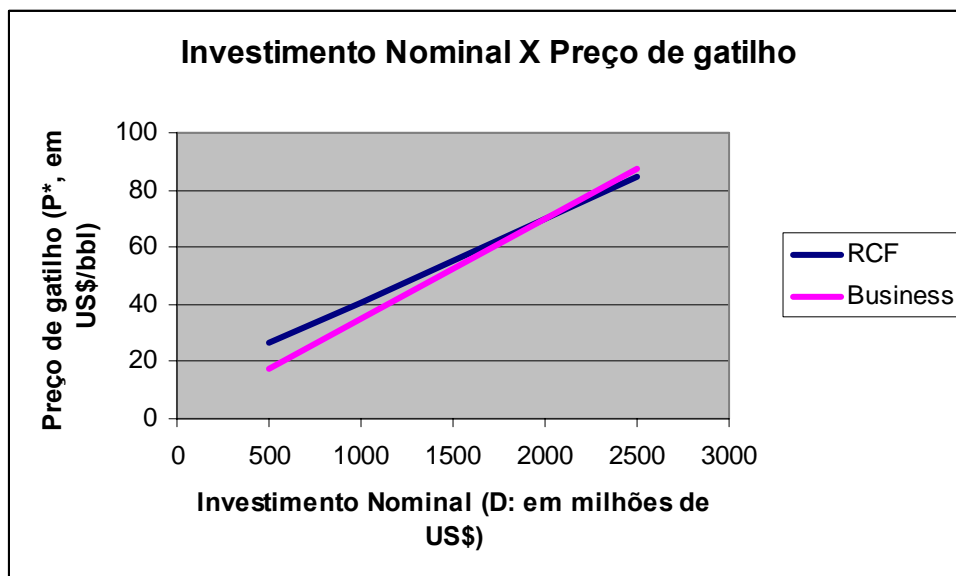


Gráfico 10: Investimento Nominal X Preço de Gatilho

Entretanto, curiosamente, o que se observou com o desenvolvimento do novo gráfico foi que as conclusões e a dúvida permaneceram. Permanecia assim, uma possível falha no modelo, indo de encontro às conclusões que estavam sendo tiradas.

Por meio da observação do gráfico acima, parece que o fato de que o RCF ser mais rígido do que o Business só vale até o momento em que as duas curvas se cruzam. A partir daí, tem-se a impressão de que o modelo “*Business*” é o mais exigente. Sendo assim, foi feito um estudo dos pontos do gráfico, levando-se em consideração não apenas as variáveis dos eixos x e y, mas outras variáveis que não são destacadas aí, em especial, o VPL. O que se observa é que o momento de cruzamento das duas curvas, que se dá no ponto de 2.000 (em milhões de US\$) de investimento e de preço de gatilho 70,012 US\$/bbl, o VPL é zero. Este é então, o ponto de *break-even*. A partir deste ponto, o VPL passa a ser negativo e o “*Business*” passa a ser mais exigente do que o RCF.

Na tentativa de se explicar o porquê deste comportamento, traçou-se um gráfico com preço de gatilho no eixo x e VPL no eixo y, para os dois modelos em questão.

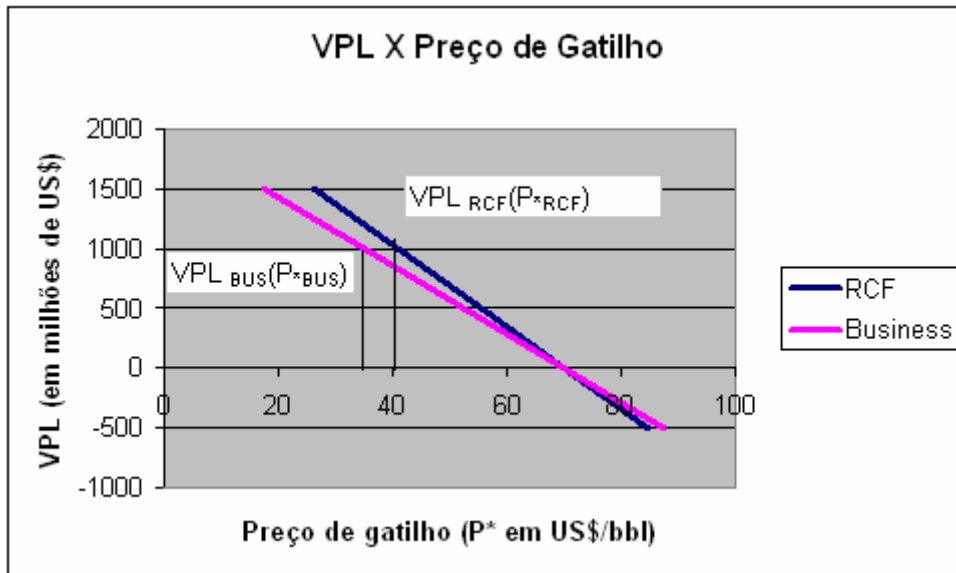


Gráfico 11: VPL X Preço de Gatilho

O caso destacado é quando se tem  $D = 1000$ , neste caso,  $P^*$  de RCF = 40,841 e  $P^*$  de Business = 35,006, que são os pontos destacados no gráfico. Apesar de  $P^*_{RCF} < P^*_{Business}$ , neste caso,  $VPL(P^*_{RCF}) > VPL(P^*_{BUS})$ .

Desta forma foi formulada uma nova hipótese para justificar este fato. Considerou-se que gatilho não é precisamente sinônimo de exigência para comparação de VPLs de exercício diferentes. Neste caso, o que interessa é o prêmio de espera nos dois modelos. O prêmio de espera é definido como:

$$\pi = \frac{V(P^*)}{I} \geq 1 \quad (= 1 \text{ na expiração}) \quad (4.2)$$

Ou seja, o quanto o valor presente dos fluxos de caixa gerados ( $V$ ) deve ser maior do que o investimento para justificar a aceitação imediata do projeto.

$$\text{Assim: } \pi_{BUS} = \frac{V_{BUS}(P^*_{BUS})}{I} \text{ para o modelo "Business"} \quad (4.3)$$

$$\pi_{RCF} = \frac{V_{RCF}(P^*_{RCF})}{I} \text{ para o modelo RCF} \quad (4.4)$$

A hipótese formulada seria:  $\pi_{RCF} > \pi$  “*Business*”, desde que os parâmetros  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $\delta$ ,  $I$  e  $r$  sejam os mesmos já que o RC é o mais exigente.

Sabe-se que:

$$V_{BUS}(P^*_{BUS}) = qBP^*_{BUS} \quad (4.5)$$

$$V_{RCF}(P^*_{RCF}) = q'BP^*_{RCF} - C \quad (4.6)$$

Então, a tentativa foi elaborar um gráfico tendo no eixo x, o valor do investimento nominal (identificado por  $D$ ) e no eixo y, o valor do prêmio relativo de exercício ( $\pi$ ). A hipótese é que a curva que se refere ao RCF estaria acima da curva do modelo “*Business*”.

Novamente, assim como no gráfico anterior, fixaram-se as variáveis como:

$$P = 50, q = 20\%, q' = 24\%.$$

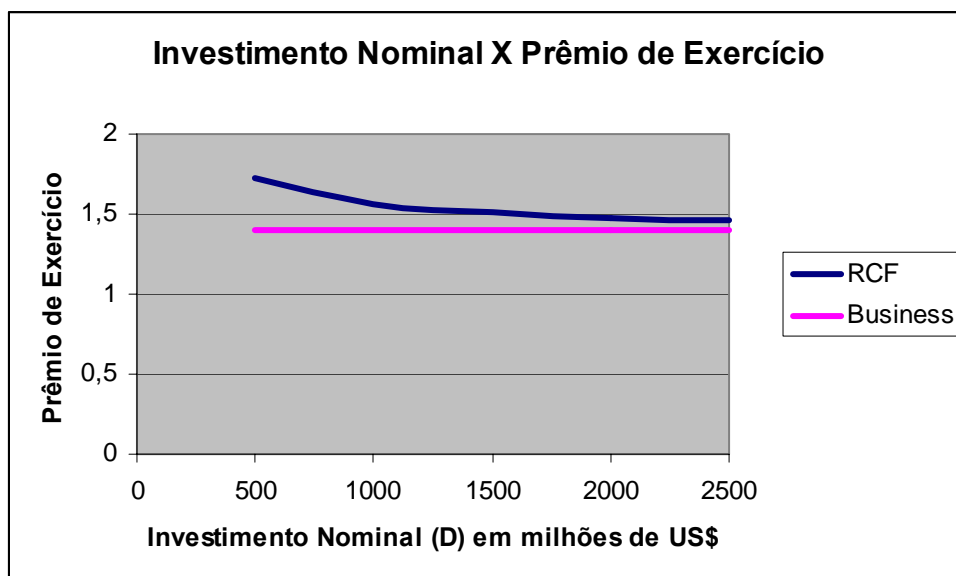


Gráfico 12: Investimento Nominal X Prêmio de Exercício

Com este gráfico, o resultado foi exatamente o esperado. Como restaram dúvidas, pois não seria possível saber se esta situação iria se repetir em todos os casos, foram feitos testes com variação de alguns parâmetros e para outros intervalos de investimento. Por exemplo, foram calculados os prêmios de exercício para o investimento de 0,01 (milhões de US\$) e de 10.000. No primeiro caso, o valor encontrado para o RCF foi de 16.011,34, isto é, bem maior do que o valor do “*Business*”, que, conforme visto, é constante. Já para o segundo caso, o valor encontrado foi de 1,416258, de maneira que se percebe que as curvas nunca se cruzam, mas conforme o investimento vai aumentando, elas vão se aproximando (assintoticamente). Uma propriedade interessante que foi percebida na realização deste gráfico é que no modelo “*Business*”, o prêmio de exercício é sempre constante, independente do montante de investimento.

Outro experimento que foi feito refere-se à variação de algumas variáveis do modelo: a volatilidade ( $\sigma$ ), a taxa de juros ( $r$ ) e o tempo de expiração ( $\tau$ ) em separado (uma por uma) para testar o comportamento do preço de gatilho ( $P^*$ ) no momento em que o VPL é igual a zero nos dois modelos. Este é o caso do preço de *break-even*, conforme já citado anteriormente. Isto ocorre quando o investimento é igual a 2000 (em milhões de dólares). Quando a volatilidade era 20%, a taxa de juros era 6% (caso base), o valor encontrado para o gatilho foi de 70,012 US\$/bbl nos dois modelos. Quando se variou apenas a volatilidade (para 30% ao ano), mantendo-se as outras variáveis iguais, obteve-se o valor de 81,288 US\$/bbl para os dois modelos. Quando se variou a taxa de juros para 3%, obteve-se também para os dois casos 77,274 US\$/bbl. E, finalmente, quando foi variado o prazo de expiração, obteve-se o valor de 71,724 US\$/bbl para os dois modelos.

Ao fazer este experimento, ficou provada uma interessante propriedade:

Sejam os dois modelos *Business* e RCF, se o preço de *break-even* ( $VPL = 0$ ) forem iguais, para os 2 modelos, então os gatilhos serão iguais para qualquer tempo antes da expiração, para qualquer valor das demais variáveis (desde que sejam iguais para os dois modelos). Isto já foi observado anteriormente no gráfico 4.

Finalmente foram feitas várias séries em um mesmo gráfico, contrapondo o Investimento nominal ao prêmio de exercício para 3 prazos de expiração:  $\tau = 1$ , 2 e 0,01; mantendo-se obviamente, as mesmas variáveis do caso base:  $\sigma$ ,  $\delta$ ,  $r$ . O objetivo foi mostrar que, independente do tempo que falta para a expiração, o formato das duas curvas referentes aos modelos será sempre o mesmo. O RCF estará sempre acima e, conforme o investimento aumenta, eles tendem a se tangenciar.

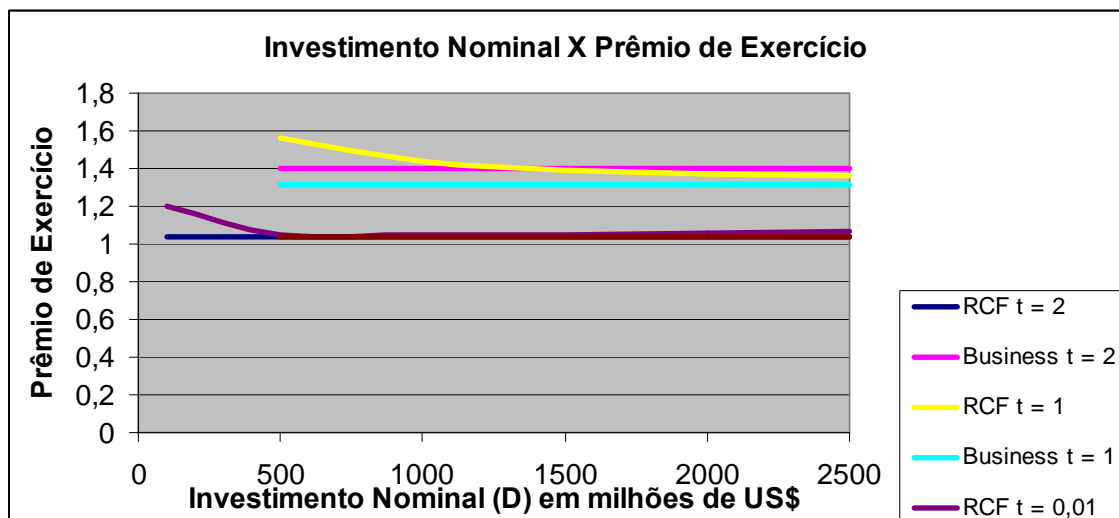


Gráfico 13: Investimento Nominal X Prêmio de Exercício

#### 4.3.8

#### VPL X Valor da Opção Real: Uma Análise Para Business e RCF

A seguir, é mostrado um gráfico que contrapõe o preço do barril de petróleo ao valor da opção real e ao VPL dos projetos, considerando os dois modelos. Assim, tem-se 4 funções:

- Uma que mostra como varia o VPL quando varia o preço do barril para o modelo RCF;
- Uma que mostra como varia o VPL do projeto quando varia o preço do barril para o modelo “*Business*”;

- Uma que mostra como varia o valor da opção real quando se varia o preço do barril para o modelo RCF;
- Uma que mostra como varia o valor da opção real quando se varia o preço do barril para o modelo “*Business*”.

Pode-se perceber que a função que dá ênfase ao VPL e a função que valoriza o valor da opção se tangenciam em um ponto, que é realmente o ponto em que se observa o preço de gatilho: é o ponto em que vale à pena investir de imediato (regra de decisão de OR).

Percebe-se também, pela observação do gráfico (o que já havia sido percebido em outro gráfico analisado anteriormente) que o preço de gatilho do modelo RCF é mais alto que o preço de gatilho do modelo “*Business*”.

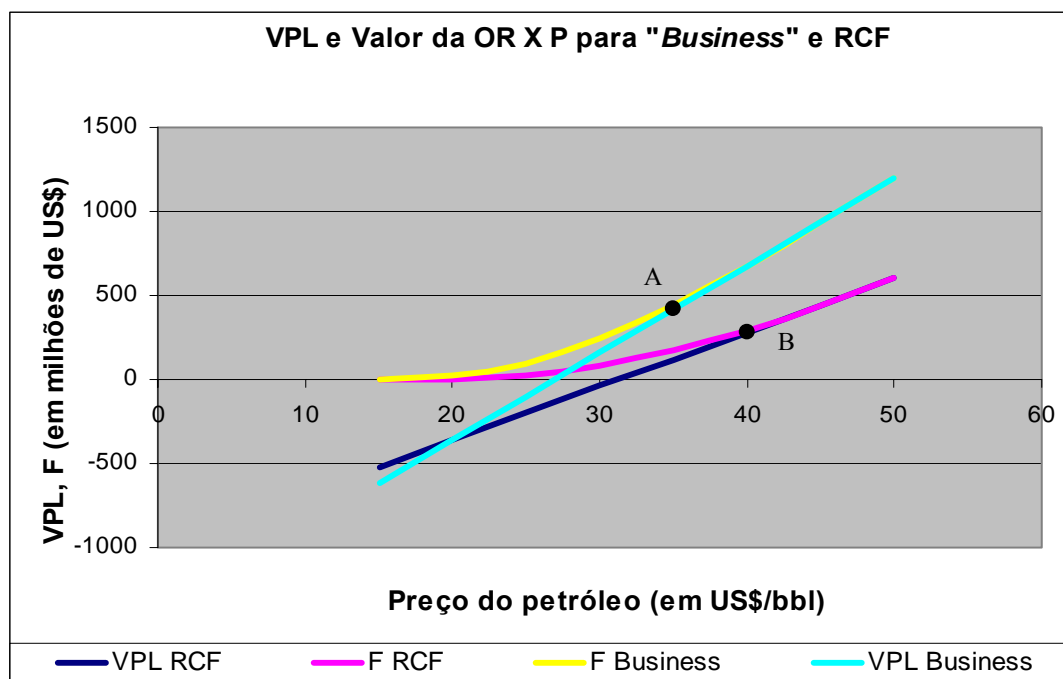


Gráfico 14: VPL e Valor da OR x P para “*Business*” e RCL

Ainda na análise do gráfico acima, deve-se mencionar os dois pontos em destaque, que correspondem aos pontos em que a opção de deferir perde o valor e que passa a ser interessante investir de imediato (a opção de espera passa a ter valor nulo) nos dois modelos. O primeiro ponto (A) diz respeito ao modelo



“*Business*” e o segundo (ponto B), diz respeito ao modelo RCF. O primeiro se dá ao preço de 35 US\$/bbl e VPL de 420 milhões de dólares e o segundo ocorre a um preço de 40 US\$/bbl e a um VPL de 295 milhões de dólares.

#### 4.3.8.1

#### Análise do Modelo “*Business*” para Dois Prazos de Expiração

Neste capítulo de análise, além de fazer comparações entre os modelos, é natural que seja importante fazer comentários e tirar conclusões acerca dos modelos individualmente. Sendo assim, o próximo gráfico é dedicado à análise do modelo “*Business*” ao longo do tempo. Consideram-se 2 prazos de expiração diferentes e avalia-se o “comportamento” do modelo nestes dois prazos. As variáveis de cada eixo são: Preço do barril de petróleo no eixo x e VPL e valor da opção real no eixo y, exatamente como foi feito no gráfico anterior. Consideram-se dois prazos: 1 ano antes da expiração e 4 anos antes da expiração, para se fazer esta comparação.

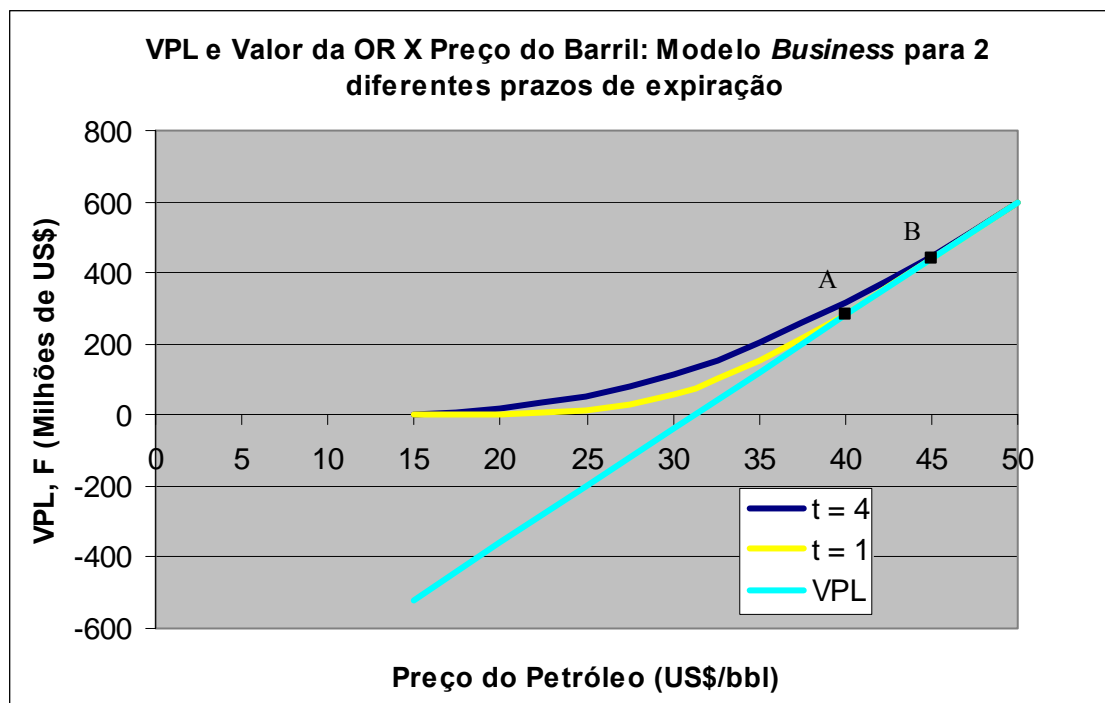


Gráfico 15: VPL e Valor da OR x Preço do Barril

Por meio da observação deste gráfico, o que se pode concluir é que quanto mais tempo falta para a expiração, mais valorizada é a opção de espera, e, portanto maior o valor da opção real. O detentor do projeto só irá se decidir por investir de imediato se supuser um valor alto para a opção. Isto pode ser justificado pelo fato de que como falta um tempo grande para a expiração, podem surgir novas informações que beneficiem o processo, o preço do petróleo pode se valorizar ainda mais e muitos outros fatores que fazem com que seja vantajoso esperar mais para investir na perfuração. O primeiro ponto, correspondente ao período  $t = 1$  ocorre a um preço igual a 40 US\$/bbl e VPL de 280 milhões de dólares e o segundo, em  $t = 4$ , ocorrem a um preço de 45 US\$/bbl e um VPL de 440 milhões de dólares.

#### **4.3.9**

#### **Gráficos em 3D**

A seguir, com o intuito de tornar as análises e conclusões apresentadas neste capítulo mais claras e elucidativas, são apresentadas ilustrações em 3D, que são na verdade gráficos, elaborados com base no mesmo procedimento que deu origem aos gráficos em 2D: planilhas de Excel elaboradas por meio de informações geradas em VBA. O gráfico 3D permite dar uma noção de como um parâmetro responde a alterações conjuntas em 2 outros parâmetros.

## P x t x Valor da Opção Real (RCF)

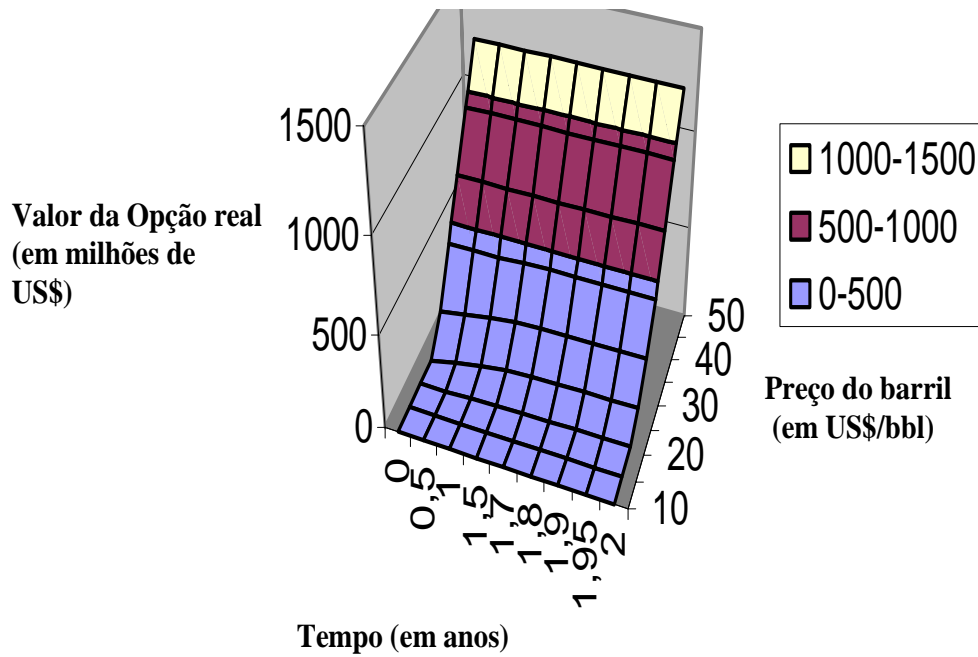


Gráfico 16: Preço X Tempo X Valor da Opção Real (RCF)

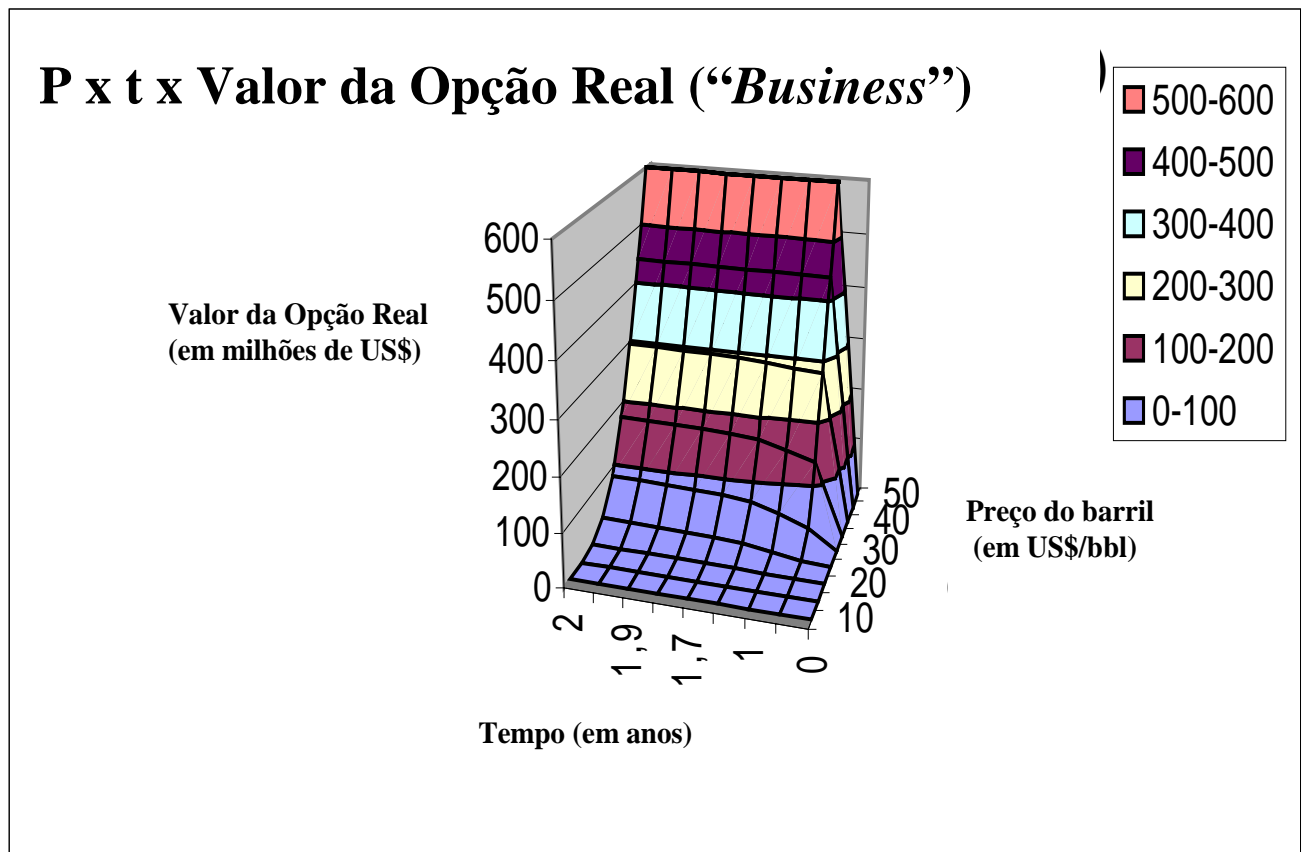


Gráfico 17: Preço X Tempo X Valor da Opção Real (“Business”)

## Vol x t x Valor da Opção Real (RCF)

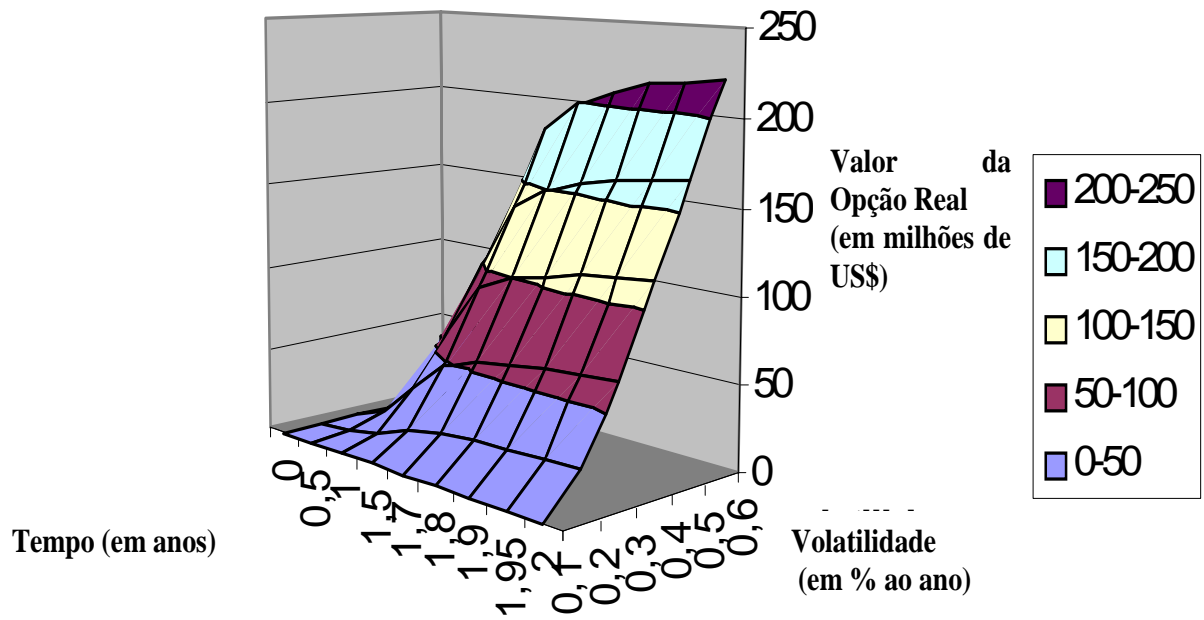


Gráfico 18: Volatilidade X tempo X Valor da Opção Real (RCF)

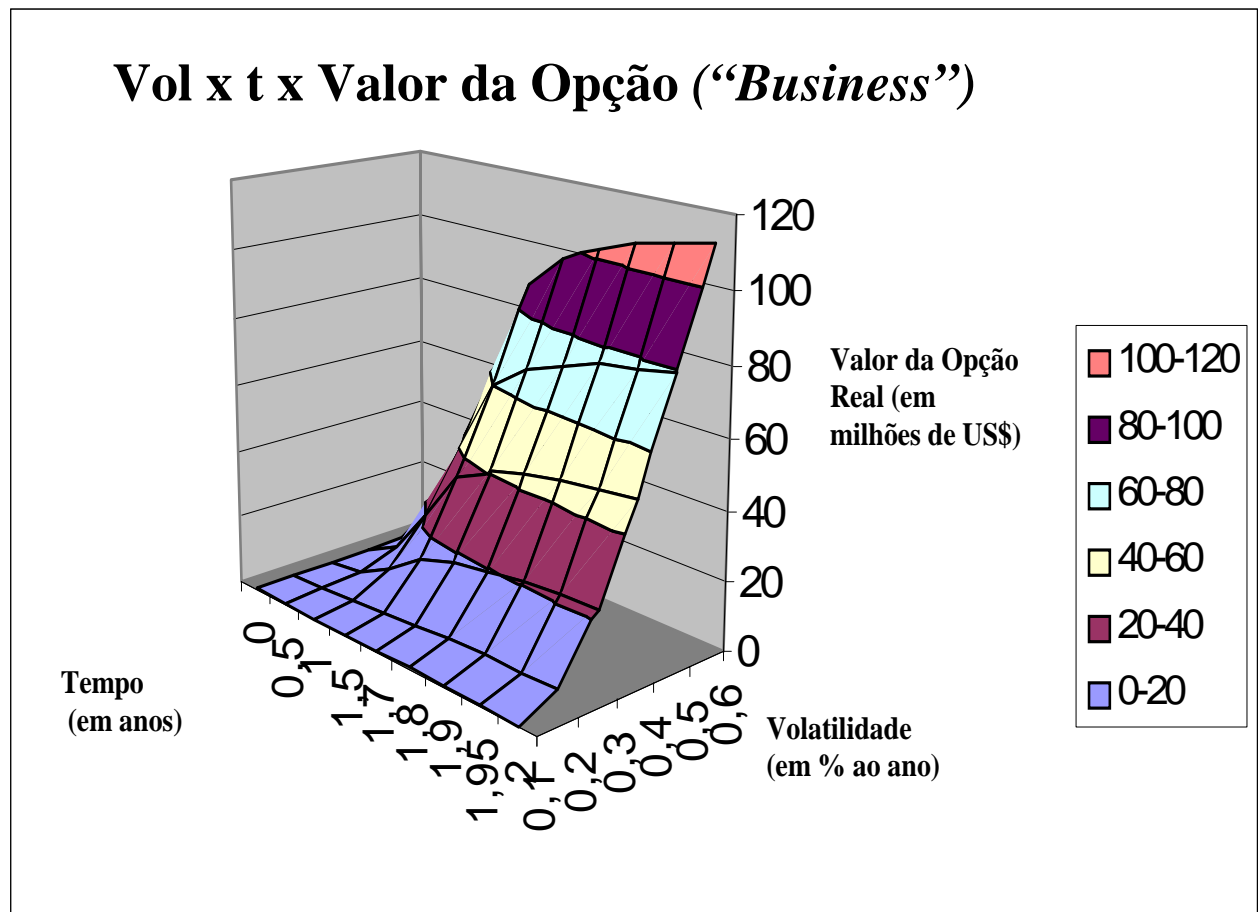


Gráfico 19: Volatilidade X Tempo X Valor da Opção Real (“*Business*”)

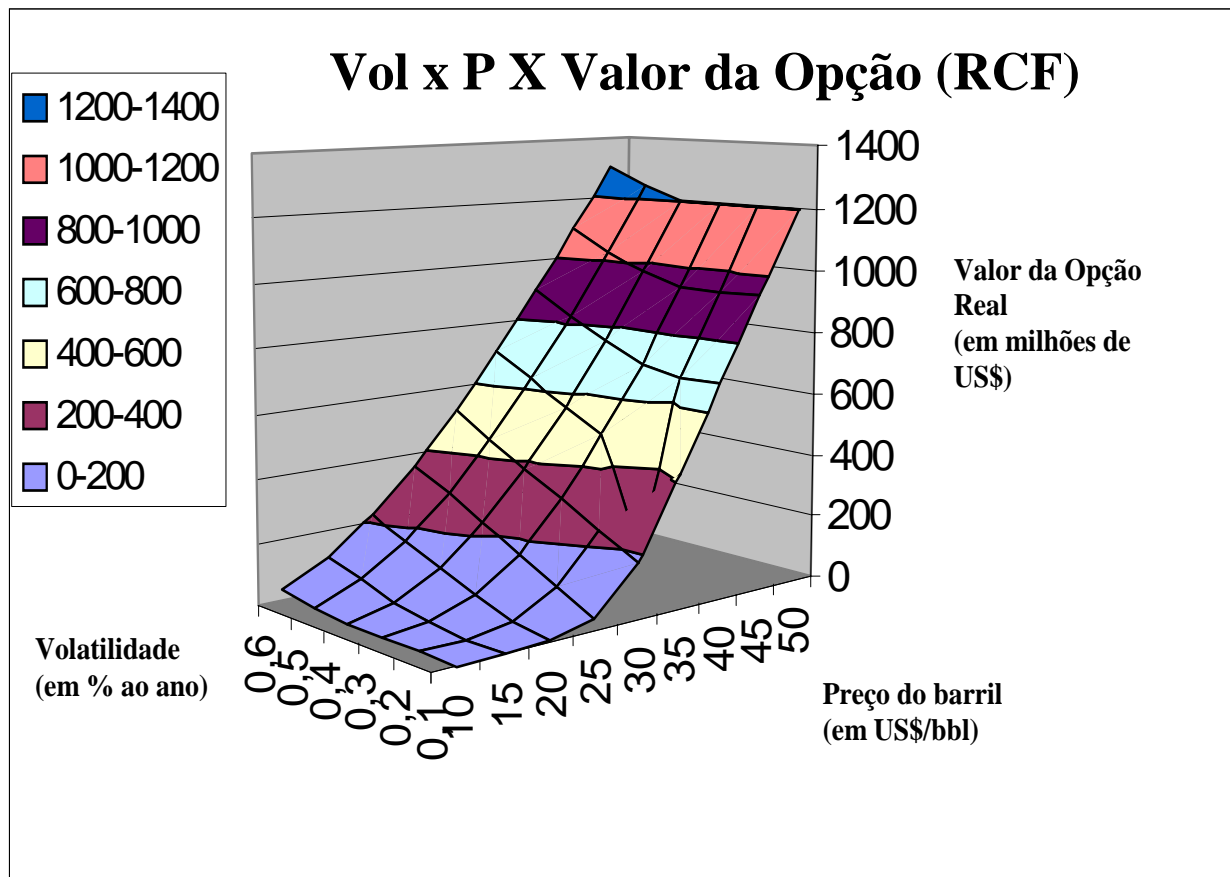


Gráfico 20: Volatilidade X Preço X Valor da Opção Real (RCF)

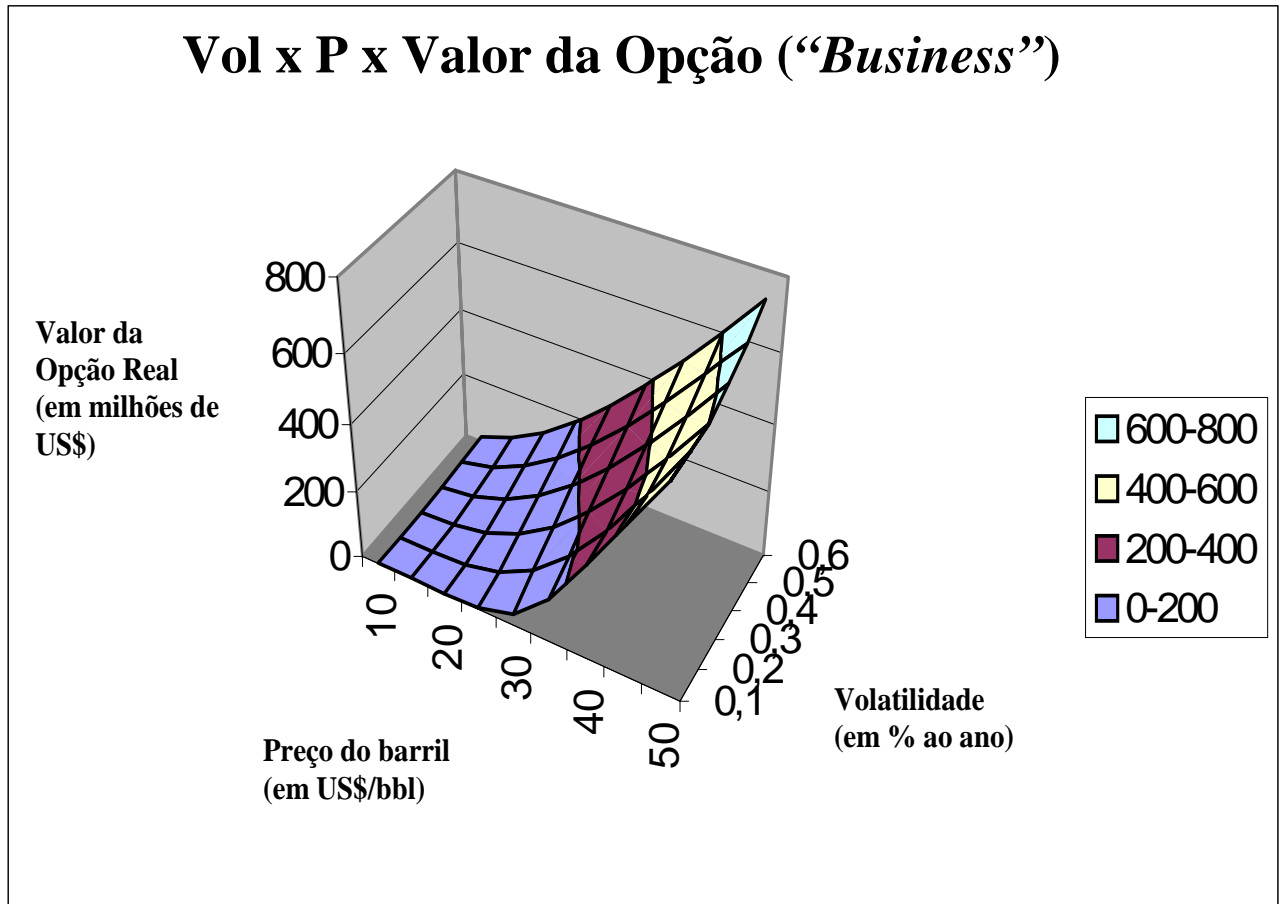


Gráfico 21: Volatilidade X Preço X Valor da Opção Real