

Investimento em tecnologias avançadas de manufatura: um framework para a avaliação sob a ótica das opções reais

Gilberto Dênis de Souza Leite Filho, José Lamartine Távora Junior

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

Investimento em Tecnologias Avançadas de Manufatura: um *framework* para a avaliação sob a ótica das opções reais

**Gilberto Dênis de Souza Leite Filho
José Lamartine Távora Junior***

Resumo

Neste trabalho, foi desenvolvido um *framework* com base na Teoria das Opções Reais para a avaliação de investimentos em Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMT, da abreviatura em inglês), considerando a opção de esperar para investir no futuro. A metodologia adotada inclui a avaliação do projeto de investimento sob o critério do Valor Presente Líquido (VPL) e a utilização de métodos e técnicas auxiliares, como a Simulação Monte Carlo (SMC), a regra E-V de Markowitz e a já mencionada Teoria das Opções Reais, para estimação do VPL e sua volatilidade, e a mensuração do valor da opção de esperar. Aplicado o *framework* a um caso prático, verificou-se que, se justificada e adotada a opção de esperar, a empresa pode agir proativamente durante o período de espera a fim de influenciar o mercado, esclarecer incertezas e buscar alternativas que aumentem a atratividade do projeto.

* Respectivamente, M.Sc. em engenharia de produção pelo PPGE/UFPE; engenheiro do BNDES, D.Sc. em engenharia de produção pela Coppe/UFRJ e professor do PIMES/UFPE e do PPGE/UFPE. Este artigo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES.

Abstract

This study presents a framework based on the Real Option Theory for the evaluation of investments in Advanced Manufacturing Technologies (AMT) considering the waiting option. The methodology adopted includes the NPV evaluation process, Monte Carlo simulation and the application of the Real Options Theory (ROT) for the valuation of the option to wait. The framework was applied to a hypothetical practical case and it was verified that, if adopted the option to wait, the company can use the earned time to act proactively, seeking to influence the market, reduce uncertainty, and find options that improve the project's attractiveness.

Introdução

As denominadas Tecnologias Avançadas de Manufatura, cuja abreviatura AMT vem do termo em inglês, Advanced Manufacturing Technologies, são consideradas uma nova maneira de obter vantagens competitivas, pois impactam não somente os processos de manufatura, mas também as operações do negócio. Sua adoção potencializa as habilidades das empresas para gerenciar a manufatura e o volume de informações dispostas pelas novas tecnologias [Dangayach (2006)].

Normalmente associados aos projetos de adoção de AMTs estão benefícios intangíveis e flexibilidades gerenciais. Na ausência de *frameworks* capazes de incorporá-los na análise econômico-financeira, potenciais projetos são rejeitados pelo uso de métodos e critérios inadequados de análise de investimentos. Conforme dispõe a literatura, critérios de decisão como o do *payback time*, largamente utilizado para esse fim, praticamente rejeitam de antemão projetos de longo horizonte, caso das AMTs.

Alinhada à necessidade de se valorar, em termos monetários, as flexibilidades gerenciais associadas a projetos de AMTs, a Teoria das Opções Reais (TOR), desenvolvida com esforços de autores como Black e Scholes, Merton e Tourinho, surge como metodologia alternativa que complementa o critério tradicional do Valor Presente Líquido (VPL). Sob a ótica das Opções Reais, todo projeto é visto como um conjunto de opções que a gerência terá ao longo da vida do empreendimento e que poderão ou não vir a ser exercidas. A técnica permite incorporar ao VPL do projeto o valor dessas opções ou flexibilidades, aumentando sua atratividade.

Fundamentada na Teoria de Opções Financeiras, desenvolvida para a precificação de opções futuras de compra e venda de ações, a aplicação da TOR como ferramenta de apoio à tomada de decisão sobre projetos de investimento tem sido alvo de diversas pesquisas.

Neste trabalho, é desenvolvido um *framework* para análise de projetos de AMTs, que considera o valor da opção de postergar o investimento por um período.

Supondo uma oportunidade de investimento não exclusiva, é considerada a criação de uma barreira a novos entrantes, a fim de garantir a existência da opção no futuro projetado.

A justificação de investimentos em tecnologias avançadas de manufatura

Conceituação das AMTs

Células robotizadas, máquinas de comando numérico, sistemas integrados de controle e supervisão de processos, as AMTs representam uma variedade de sistemas, geralmente computacionais, voltados para o melhoramento das operações de manufatura e, conseqüentemente, da competitividade da empresa.

Segundo Borges (2005), sua conceituação se enquadra mais como uma delimitação de escopo para excluir os sistemas de produção e tecnologias não palpáveis, tais como Just-in-Time (JIT) e Qualidade Total (TQC), das tecnologias normalmente baseadas em combinações de *hardware* e *software* que viabilizam a execução dos planos de produção com alto nível de eficiência, segurança e qualidade.

Combinadas as visões de Dangayach (2006) e Chan (2001), tem-se que AMT é um termo que abrange tecnologias de controle automático aplicadas a processos produtivos, com o intuito de melhorar seu desempenho em relação à qualidade, flexibilidade e produtividade, suportadas pelos avanços da tecnologia da informação.

Em face da riqueza multidisciplinar da tecnologia industrial, o melhor entendimento do universo das AMTs é proporcionado pela observação do Quadro 1 elaborado por Borges (2005).

A autora dispôs 25 tecnologias em 22 grupos, relacionando-as com os respectivos autores que assim as designaram. Entre elas, estão as tecnologias de projeto e simulação, sistemas de controle de produção e processo, sistemas de inspeção visual e teste, de aquisição de dados em chão de fábrica, de integração da manufatura etc.

Como todo problema científico, a solução para a avaliação econômico-financeira de projetos de AMTs inclui o isolamento dos problemas e seu estudo segundo métodos e técnicas confiáveis. Diante da diversidade de portes e reflexos das AMTs, Meredith & Suresh (1986) propuseram uma classificação dessas tecnologias em três grupos e recomendaram abordagens de avaliação de viabilidade para cada um. Ela foi utilizada posteriormente por Chan (2001), que havia classificado as AMTs em sete grupos segundo suas relações custo/benefício, e as reorganizou em três grupos maiores, conforme proposto por Meredith e Suresh (1986).

Essa disposição é interessante para estudar as possibilidades de migração das tecnologias entre os níveis *stand-alone*, *intermediate* e *integrated*.

No Grupo 1 – Sistemas Isolados (ver Tabela 1), encontram-se as ferramentas de engenharia, projeto e planejamento de processos e produtos, e os equipamentos operados independentemente, tais como máquinas de Comando Numérico Computacional (CNC), robôs manipuladores, máquinas e dispositivos automáticos. No Grupo 2, estão sistemas independentes, mas que operam integrados a outros, tais como sistemas de visão artificial, capazes de inspecionar produtos em linha de produção, recebendo especificações e relatando resultados de inspeções *on-line*. Também sistemas de transporte e células flexíveis de manufatura estão inseridos no segundo grupo.

Quadro 1

Classificação das AMTs segundo proposições de diversos autores

Classificação	stand alone	intermediate	integrated	design and engineering	fabric/machining & assembly	logistic related	automated material handling	automated inspection and testing	flexive manufacturing tech.	computer integrated manufacturing	manag./ information tech.
NC - numerically control	X				X						
CNC - comput. numerical control	X				X						
DNC - direct numerical control	X				X						
CAD - computer aided design	X			X							
CAE - computer aided engineering				X							
CAM - comp. aided manufacturing				X							
CAPP - comp. aided proc. planning	X			X							
MRP - mat. requirement planning	X					X					
MRP II - manuf. resources planning		X	X								X
AGV/AGVS - autom. guided vehicle system								X			
Robots (general I)	X				X						
Pick and Place Robots	X				X						
AS/RS - autom. Storage/retriev.syst.		X				X	X				
AMHS - autom. mat.handling syst.		X				X					
FAS - flexible assembly systems					X						
AITs - automatic inspection and testing syst.		X						X			
Automated shop - floor data collections systems											
FMC - flexive manufacturing cells			X		X				X		
FMS - flexible manuf. Systems			X		X				X		
CIM - computer integrated manufacturing			X							X	
PLC - programable logic controllers	X										
LAN - local area network - digital i/ o											
LAN - local area network - message											
WAN - wide area network											

Continua

Classificação											
	communications and control	computer hardware	computer software	plant & equipment	stand alone AMT	functionally oriented AMT	CIM	product design technologies	inform. Exchange and plan. Tech.	high-volume automation tech.	low volume automation tech.
NC - numerically control											X
CNC - comput. numerical control				X	X						X
DNC - direct numerical control											
CAD - computer aided design			X		X			X	X		
CAE - computer aided engineering								X	X		
CAM - comp. aided manufacturing			X			X					X
CAPP - comp. aided proc. planning											
MRP - mat. requirement planning			X						X		
MRP II - manuf. resources planning			X						X		
AGV/AGVS - autom. guided vehicle system				X	X						
Robots (general I)				X	X					X	
Pick and Place Robots										X	
AS/RS - autom. Storage/retriev.syst.				X	X						
AMHS - autom. mat.handling syst.											
FAS - flexible assembly systems				X							
AITs - automatic inspection and testing syst.				X						X	
Automated shop - floor data collections systems		X									
FMC - flexive manufacturing cells				X							X
FMS - flexible manuf. Systems				X		X					X
CIM - computer integrated manufacturing							X				
PLC - programable logic controllers	X										
LAN - local area network - digital i/ o	X	X							X		
LAN - local area network - message	X	X							X		
WAN - wide area network		X									

Continuação

Fonte: Adaptado de Borges (2005).

O Grupo 3 é o mais sofisticado. Nele estão incluídos sistemas totalmente integrados de manufatura, nos quais informações de chão de fábrica até gerência trafegam e são processadas de forma rápida e segura. Como exemplos, o *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) e o *Master Resource Planning* (MRP).

Tabela 1

Classificação das AMTs segundo o grau de integração

Grupo 1 Sistemas isolados		Grupo 2 Sistemas intermediários			Grupo 3 Sistemas integrados	
Desenvolvimento (engenharia)	Manufatura (fabricação)	Manuseio	Inspeção	Flexibilidade	Integração	Logística
CAD	NC/CNC	AS/RS	AITE	FMC/FMS	CIM	EDI
CAPP	MWL	AMHS				MRP
	Robôs	Robôs				MRPII

Fonte: Adaptado de Chan (2001).

Para ilustrar a migração entre os grupos, são considerados uma célula de usinagem composta por uma máquina CNC, um robô manipulador e um sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP). Os três são sistemas isolados (Grupo 1) visto que não interagem automaticamente. Dessa forma, a operação exige que um operador humano verifique no PCP qual a próxima peça a ser produzida, parametrize o CNC e libere a ação do robô para manipular a peça.

Por meio da inserção de um quarto componente, um sistema de informação que promova a interação automática entre o robô, a máquina CNC e o *software* PCP, ter-se-á não mais um conjunto de equipamentos isolados (Grupo 1), mas uma célula de manufatura flexível ou Flexible Manufacturing Cell (FMC) (Grupo 3).

Nesse caso, a célula flexível não mais depende da ação humana para o trabalho rotineiro. Ao sinal da máquina CNC informando a conclusão da usinagem, o sistema integrado verifica no PCP qual a próxima

peça a ser produzida. Essa informação é transmitida para o robô, que coletará a peça e a posicionará na máquina CNC, e para essa última, que usinará a peça segundo medidas e tolerâncias especificadas.

De forma análoga, uma fábrica que possui o sistema integrado (Grupo 3) pode decidir substituir sua máquina CNC por outra mais sofisticada. A máquina antiga pode ser vendida para outra fábrica como um sistema independente (Grupo 1).

Tanto a integração quanto a separação de AMTs só são possíveis se cada elemento do sistema dispuser de conectividade. Essa é a característica fundamental na distinção entre os três grupos.

No caso prático apresentado neste trabalho, será analisado um projeto de investimento em uma unidade de produção que, para competir efetivamente, precisará adotar AMTs do Grupo 3.

A justificação de investimentos em AMTs

A avaliação de projetos de investimentos para a adoção de tecnologias avançadas de manufatura é tarefa crítica enfrentada por gerentes industriais, por causa dos altos níveis de capital e incerteza envolvidos. O desafio é justificado pela ausência de *frameworks* que incorporem benefícios tangíveis e intangíveis associados a esses investimentos. Muitos dos benefícios esperados não estão diretamente relacionados a reduções de custos e aumentos de produtividade, mas a áreas como o melhoramento dos fluxos de informação, da flexibilidade produtiva, a melhor interação com usuários e o aumento da adaptabilidade às novas condições do mercado, que, por sua vez, são difíceis de serem quantificadas [Meredith & Suresh (1986)].

Desde a adoção do paradigma microeletrônico, na década de 1980, discussões sobre o tema surgem entre engenheiros de produção e con-

tadores gerenciais, pela flexibilidade que os sistemas automáticos de controle oferecem à manufatura. Em virtude do reconhecimento das AMTs como recurso para a competitividade nas empresas, a atenção ao tema aumentou nos últimos anos [Shinoda (2008)].

Numa pesquisa comparativa entre as práticas de avaliação de projetos de investimentos nos Estados Unidos, Reino Unido e República Tcheca, foi verificado que, dentre os métodos mais utilizados pelas indústrias na justificação de projetos de AMT, o do tempo de retorno se destaca nas suas formas sobre o fluxo de caixa descontado e não descontado [Hynek & Janecek (2007)]. Segundo Lefley (2004), o uso desses critérios praticamente garante a rejeição dos projetos de investimentos de retorno a longo prazo.

A mesma pesquisa revela também o reconhecimento dos tomadores de decisão sobre o fato de que os métodos tradicionais de análise de investimentos “preferem” os projetos de curto prazo aos de longo prazo.

Os autores afirmam que o nível de adoção de AMTs pelas indústrias é largamente influenciado pela forma como os dirigentes avaliam e decidem sobre os investimentos. Em sua maioria, as indústrias utilizam os métodos tradicionais de análise de investimentos para avaliar projetos de AMTs e concordam que esses métodos favorecem os investimentos de curto prazo. Também em virtude da alta rotatividade de dirigentes nas empresas, estes tendem a priorizar projetos de resultados mais imediatos em detrimento dos de longo prazo.

Pelo alto grau de especificidade e consequente custo de desenvolvimento, as AMTs têm significativa representatividade monetária em relação a outros investimentos em tecnologias normalmente utilizados [Chan (2001)]. Além disso, os benefícios intangíveis, como rastreabilidade, expansão facilitada de *mix* pela flexibilidade produtiva e disponibilidade de dados em tempo real, são difíceis de mensurar

pelos métodos convencionais de avaliação de projetose demandam métodos mais sofisticados capazes de capturar seus valores.

Assim, as metodologias de análise econômica utilizadas pelas companhias para avaliar investimentos de capital, além de insatisfatórias, dispensam menor concentração nas análises tecnológicas, que consistem em verificar o valor da tecnologia, seu nível, *performance* e posição relativa ao estado da arte. Algumas tecnologias de manufatura são complexas, oferecem benefícios intangíveis e normalmente agregam altos riscos. As técnicas tradicionais de análise financeira utilizadas pelos tomadores de decisão para avaliar investimentos de capital são inapropriadas para justificar projetos de tecnologia, uma vez que falham na consideração de muitos benefícios estratégicos envolvidos [Bhatti (2000)]. A Tabela 2 a seguir apresenta alguns métodos de análise de investimentos utilizados no Reino Unido, nos EUA e na República Tcheca.

Tabela 2
Critérios de avaliação financeira

Critérios de análise financeira utilizados	Reino Unido (%)	EUA (%)	Rep. Tcheca (1999) (%)	Rep. Tcheca (2005) (%)
TIR	55,2	56,4	31,1	35,5
VPL	52,4	41,0	45,9	38,7
Tempo de retorno sobre fluxo de caixa descontado	53,8	65,0	71,6	76,6
Outros métodos sobre fluxo de caixa descontado	4,9	3,4	5,4	10,5
Tempo de retorno sobre fluxo de caixa não descontado	68,5	39,3	63,5	62,1
Outros métodos sobre fluxo de caixa não descontado	4,9	5,1	1,4	2,4

Fonte: Adaptado de Hynek & Janecek (2007).

Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento metodológico deste trabalho, sugere-se um *framework* para a justificação de um projeto de investimento em AMT sob a ótica das opções reais. A fim de aproximar a pesquisa da realidade, foi necessário restringir o método apresentado a seguir a uma aplicação específica. Seu objetivo é avaliar um investimento em uma AMT considerando a opção de postergar o investimento num ambiente em que a oportunidade será compartilhada no futuro.

A primeira etapa do *framework* consiste na avaliação do investimento pelo cálculo do seu Valor Presente Líquido (VPL). A volatilidade será estimada com a Regra E-V de Markowitz, com dados gerados pela Simulação Monte Carlo (SMC) e a opção de postergar o investimento será valorada pela Teoria das Opções Reais (TOR).

Segundo Minardi (2004), o VPL pode ser aplicado sem problemas quando as flexibilidades gerenciais não são significativas. Caso contrário, precisa ser remodelado para capturar o valor dessas flexibilidades. Assim, tem-se o $VPL_{\text{expandido}}$, que incorpora o valor das flexibilidades gerenciais ao $VPL_{\text{tradicional}}$.

$$VPL_{\text{expandido}} = VPL_{\text{tradicional}} + \text{Valor}_{\text{flexibilidade gerencial}} \quad (1)$$

Ainda segundo Minardi (2004), com a aplicação da TOR, podem ser analisadas as opções de: (a) postergar um projeto; (b) expandir ou contrair a escala de produção; (c) abandonar temporária ou definitivamente um projeto; (d) abandonar o projeto ainda em fase de construção; (e) alterar as matérias-primas ou os produtos finais de um projeto; e (f) realizar outros investimentos dependentes de um projeto inicial (opções de crescimento).

Análise tradicional do investimento

O projeto em questão, por se tratar de uma AMT, envolve longo horizonte de retorno do investimento, alto valor monetário e alto risco associado. Por isso, será adotada a Simulação Monte Carlo (SMC) como ferramenta para obtenção da distribuição probabilística dos possíveis valores a serem assumidos pelo *VPL* quando sujeito a diferentes valores de demanda, taxa de juros e *market share*.

Da distribuição, serão obtidos:

1. o valor esperado do *VPL*;
2. o valor esperado do Valor Presente dos Fluxos de Caixa (*VPFC*); e
3. a volatilidade do *VPFC*, como medida da incerteza.

Estruturação do cálculo do Valor Presente Líquido

O cálculo do *VPL* consiste no somatório dos valores presentes dos fluxos de entrada e de saída de caixa, considerando-se o investimento inicial, a captação e a amortização de recursos, conforme segue:

$$VPL = -1 + (E - A) + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

onde

VPL = o Valor Presente Líquido;

I = o investimento inicial;

E = o volume monetário captado para o projeto;

A = a amortização do volume monetário *E*;

n = o número de períodos a que se refere o fluxo de caixa;

FC_t = o somatório do fluxo de caixa no período *t*;

i = a taxa de juros de longo prazo para 1 período.

Detalhando FC_t , tem-se:

$$FC_t = EC_t + SC_t \quad (3) \quad EC_t = d_t \times PV_t \quad (4) \quad SC_t = d_t \times CV_t + CF_t \quad (5)$$

onde

EC_t = o fluxo de entrada de caixa projetado para o período t ;

SC_t = o fluxo de saída de caixa projetado para o período t ;

PV_t = o preço de venda médio projetado para o período t ;

CV_t = o custo variável médio projetado para o período t ;

CF_t = o custo fixo projetado para o período t .

Detalhando A , tem-se:

$$A = \sum_{t=1}^n A_t \times \llbracket (1+j) \rrbracket_t \quad (6)$$

onde

A_t = a parcela a ser amortizada ao final do período t ;

j_t = a taxa de juros de longo prazo projetada para o período t . Seu cálculo será detalhado a seguir.

Obtenção da distribuição do Valor Presente Líquido por meio da Simulação Monte Carlo

Como os fatores de mercado são incertos, obter-se-á uma distribuição probabilística dos valores que o *VPL* poderá assumir quando submetido a diferentes valores possíveis de demanda, taxa de juros e tamanho do *market share* da empresa.

O comportamento de cada um dos fatores incertos pode ser descrito por função matemática ou computacional que reflita ou se aproxime da sua real situação. Assim, tem-se:

$$d = F_d(t) \quad (7) \quad j = F_j(t) \quad (8) \quad m = F_m(t) \quad (9)$$

onde d, j e m são a demanda, a taxa de juros e o *market share*, respectivamente, projetados para um determinado período t .

Com o auxílio de uma planilha eletrônica, serão gerados números aleatórios para as variáveis que descrevem a demanda, a taxa de juros e o *market share*, respeitando os limites e as distribuições de probabilidades de cada uma. O cálculo será repetido 10 mil vezes, conforme recomendado pela literatura, para obtenção de uma estimativa adequada das estatísticas.

Com os dados gerados pela SMC, podemos utilizar a Regra E-V de Markowitz (1952), que propõe a adoção, como parâmetro para decisão, do Valor Esperado (E) e da Variância (V) estimados para um investimento, cujos valores são obtidos conforme as equações 10 e 11, respectivamente.

$$E = \sum_{i=1}^N X_i \mu_i \quad (10) \quad V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} X_i X_j \quad (11)$$

Estimação da volatilidade e do valor médio do Valor Presente dos Fluxos de Caixa pela Simulação Monte Carlo

A medida de incerteza a ser utilizada é a volatilidade do Valor Presente dos Fluxos de Caixa ($VPFC$) do projeto, que será obtida pelo cálculo do desvio padrão médio dos seus valores.

Assim, tem-se a expressão abaixo, com os fatores envolvidos no cálculo sendo os mesmos do tópico anterior:

$$VPFC = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (12)$$

Observe-se que o $VPFC$ nada mais é que o fluxo de caixa do projeto, desconsiderando-se o investimento, a captação de recursos e a amortização.

A volatilidade, por sua vez, será obtida conforme segue:

$$V = \frac{\sigma_{VPFC}}{\mu_{VPFC}} \quad (13)$$

onde

σ_{VPFC} = o desvio padrão dos valores do $VPFC$;

μ_{VPFC} = a média dos valores do $VPFC$.

Avaliação do investimento pelo critério do VPL

O critério do VPL dispõe que, caso o VPL seja positivo, o investimento deve ser realizado. Se for negativo, deve ser abandonado, e se for igual a zero, nada se pode afirmar.

Contudo, quando o VPL é positivo, mas muito próximo de zero e o investimento traz incertezas associadas, o risco de investir é alto e uma análise mais sofisticada para apoiar a decisão torna-se necessária. A busca, nesse caso, é pela resposta à pergunta: melhor investir ou esperar?

Segundo Minardi (2004), é justamente nas decisões mais difíceis, quando o VPL é muito próximo de zero, positivo ou negativo, que a TOR oferece sua maior contribuição. Nessas circunstâncias, devem ser avaliados os valores que as flexibilidades gerenciais adicionam ao projeto para, enfim, tomar uma decisão.

Cálculo do valor da opção de postergar o investimento por um ano

Observe-se que todos os elementos necessários para calcular o valor da opção de postergar o investimento foram obtidos. A relação entre os elementos de cálculo da opção e os fatores de cálculo do projeto de investimento estão dispostos no Quadro 2.

Quadro 2
Relação entre ações e projetos de investimentos

Ação	Variável		Projeto
Valor atual da ação	S	VP	Valor presente do projeto, desconsiderado o investimento inicial
Preço de exercício	K	I	Investimento para a implementação do projeto
Tempo até o vencimento	T	t	Tempo até desaparecer a oportunidade de investimento
Incerteza do valor da ação	σ	Σ	Incerteza do valor do projeto, representado pela volatilidade do seu valor presente

Fonte: Adaptado de Rebelatto (2004).

Cálculo dos fatores de subida e descida do *VPFC*, com base na volatilidade

Pela medida da volatilidade é possível inferir sobre os fatores de subida [u (*upper*)] e descida [d (*down*)] do *VPFC* ao longo dos períodos, e de suas respectivas probabilidades p e $(1-p)$. Esses valores são obtidos com as seguintes equações:

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (14)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (15)$$

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (16)$$

O resultado da valoração das opções com base no modelo binomial será tão melhor quanto maior for o número de períodos. Hull (1997) aponta 30 períodos como o número mínimo para uma boa estimação. Como se pretende avaliar a opção de esperar para investir ao final de um ano, tomar-se-á Δt como sendo uma semana – ou $1/48$ de ano.¹ Assim, tem-se um número maior que 30 períodos que reflete uma medida convencional de tempo, a semana.

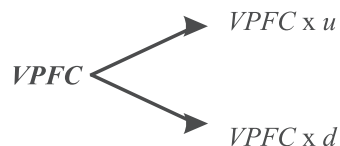
¹ O ano tem 52 semanas, mas, considerando-se os meses com quatro semanas, temos um total de $4 \times 12 = 48$ semanas.

Construção da árvore binomial que descreve os possíveis *VPFC* ao longo dos períodos

Por causa das incertezas associadas ao projeto de investimento, seu valor pode aumentar ou diminuir ao longo do tempo. Pelo método das árvores binomiais, serão calculados os prováveis valores do *VPFC*.

Figura 1

Árvore binomial de um único passo

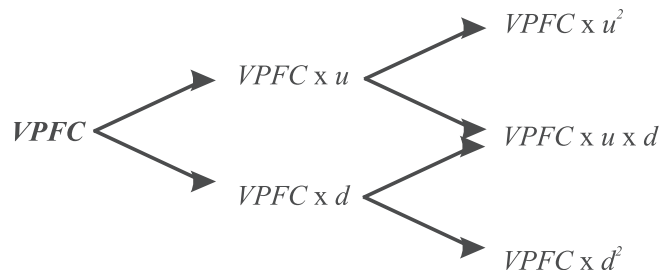


Fonte: Adaptado de Hull (1997).

Expandindo a árvore para mais períodos, tem-se:

Figura 2

Árvore binomial de dois passos



Fonte: Adaptado de Hull (1997).

Cálculo do *VPFC* corrigido pela inflação ao longo dos períodos

O valor da opção de esperar será comparado sempre com o valor esperado do *VPFC* ao longo dos períodos. Em outras palavras,

responder-se-á sempre à pergunta: é melhor investir agora ou aguardar mais um período?

O valor do $VPFC$ para o final de cada período será obtido com a execução da equação:

$$VPFC_t = VPFC_{t-1}x(1+i) \quad (17)$$

Como este estudo consiste na avaliação da opção de esperar um ano, aplicar-se-á a equação acima com i sendo a taxa de juros de longo prazo ao ano para o primeiro ano, e $t = 1$.

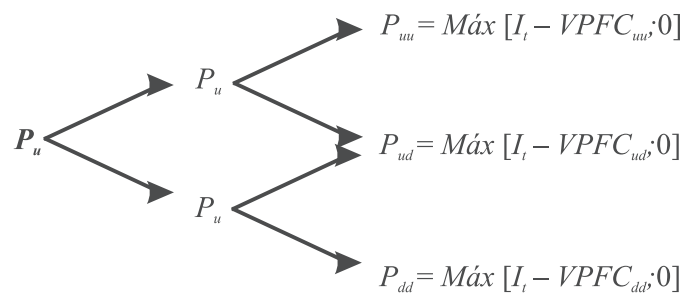
Cálculo da opção americana de esperar, com base na árvore binomial

Montada a árvore para as 48 semanas, prosseguir-se-á com o cálculo regressivo do valor da opção. Primeiramente, calcula-se o valor da opção no último período, ou seja, quando ela expira. Depois, prossegue-se com o cálculo remissivo da opção ao longo dos períodos predecessores até o primeiro período.

A ilustração do cálculo será realizada a seguir, adotando-se uma árvore de três períodos.

Figura 3

Árvore binomial de dois passos: preço da opção no último passo



onde

$$P_u = Máx \left[(I_t - VPFC_u); \frac{P_{uu} x p + P_{ud} X(1-p)}{r} \right] \quad (18)$$

$$P_d = Máx \left[(I_t - VPFC_d); \frac{P_{ud} x p + P_{dd} X(1-p)}{r} \right] \quad (19)$$

$$P_u = Máx \left[\frac{(I_t - VPFC_o); P_u x p + P_d X(1-p)}{r} \right] \quad (20)$$

Fonte: Adaptado de Hull (1997).

Considerações sobre a opção de esperar e os riscos associados

Uma oportunidade de negócio pode ser proprietária ou compartilhada e envolver riscos altos ou baixos. O presente trabalho estuda uma oportunidade de alto risco que, no primeiro momento, é proprietária, por se tratar de um nicho inexplorado de mercado. Contudo, se as expectativas de consolidarem, a demanda será percebida por outros investidores que poderão vir a investir no futuro, o que tornará a oportunidade compartilhada.

Portanto, a opção de postergar o investimento requer que um investimento inicial seja realizado com objetivo de garantir a existência da opção ao final do período.

Construção de uma barreira à entrada de novos competidores

Tratando-se de uma demanda latente, considera-se que a única maneira de se garantir a opção futura é atender a essa demanda. Como a única maneira identificada de atender-lhe obtendo lucros satisfatórios foi pela execução do projeto em questão, qualquer outra incorrerá em custos adicionais.

Quadro 3

Alternativas de barreiras à entrada

Alternativas	Reflexos
1 – Importar os produtos de outra praça e subsidiar suas vendas.	Incorre num custo inicial de aquisição dos produtos de terceiros, o que poderá até requerer contratos de fornecimento futuro para garantir o suprimento. O maior custo será variável e diretamente relacionado ao subsídio ao preço da unidade comercializada.
2 – Produzir com maquinário de baixo custo.	Envolve uso intensivo de mão de obra. O investimento inicial em maquinário é relativamente baixo, mas o custo por unidade produzida é alto, o que irá requerer subsídio para alcançar o preço de mercado. Ou seja, “pagar para trabalhar”.
3 – Produzir com versão simplificada do maquinário do projeto, que poderá sofrer futuro <i>upgrade</i> .	Utiliza menos mão de obra que a alternativa 2, mas será igualmente deficitária por causa da amortização do investimento inicial que não será coberta pelas vendas em decorrência do preço de mercado. A vantagem dessa opção é o fato de ela compor parte do projeto original do investimento.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, serão avaliadas as três alternativas propostas, considerando-se os aspectos econômico-financeiros envolvidos, a fim de se obter a melhor solução para a criação da barreira à entrada.

Análise do *VPL* expandido e decisão

Avaliada a opção de postergar o investimento, se verificado que o valor que esta adiciona ao $VPL_{tradicional}$ é suficiente para torná-lo positivo e que uma das alternativas a garantir a opção futura é menor que o valor de esperar, deve-se optar por postergar o investimento e garantir a opção.

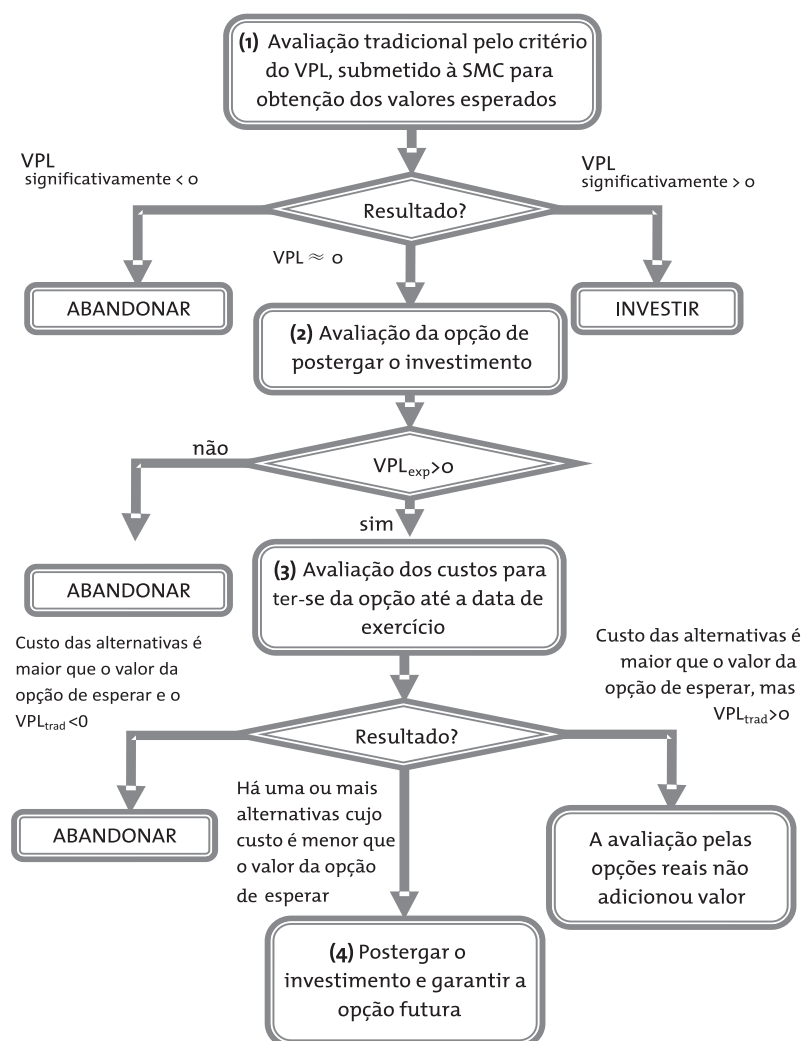
Caso a opção de esperar não adicione valor suficiente ao projeto e o $VPL_{expandido}$ ainda seja negativo, deve-se abandonar definitivamente o projeto.

Mas se a opção de esperar não adicionar valor ao projeto, porém o $VPL_{tradicional}$ já for positivo, a TOR não ofereceu significativa contribuição à análise e será necessário lançar mão de outros critérios para tomar a decisão mais adequada.

Estrutura do *framework*

Figura 4

Representação gráfica do *framework* para avaliação da opção de postergar um investimento em AMT



Fonte: Elaboração própria.

Análise de investimentos em AMTs sob a ótica das Opções Reais

Nesta seção será estudada uma oportunidade de aumentar os lucros de uma corporação pelo atendimento de uma potencial demanda por um bem de consumo. Para maximizar os lucros do negócio, é necessária a adoção de uma sofisticada tecnologia de produção que requer o investimento de um considerável valor monetário em máquinas, equipamentos, sistemas, recursos humanos e infraestrutura.

Incertezas associadas à demanda e outros fatores econômicos tanto quanto a índices de desempenho da própria tecnologia impõem alto risco ao investimento. Por isso, a TOR será utilizada para avaliar a opção de postergar-se o investimento por um período de até um ano, a fim de se obterem informações que esclareçam as incertezas sobre o mercado.

No entanto, as barreiras à entrada nesse mercado são baixas, dependendo apenas da adoção da tecnologia adequada para que se possa produzir de forma lucrativa. Se a empresa decidir investir imediatamente, garantirá um bom *market share*; caso contrário, se optar por esperar, outro competidor poderá entrar e inviabilizar o negócio no futuro.

No caso proposto, considera-se que o atendimento da demanda e a formalização de contratos de fornecimento contribuirão para desencorajar tanto os consumidores a buscarem os produtos em outras praças quanto os investidores a implantarem uma unidade produtiva. Por isso, serão avaliadas alternativas de atendimento sacrificando-se os lucros para criar uma barreira à entrada de novos competidores.

O processo de avaliação seguirá o *framework* proposto anteriormente. Todos os cálculos e simulações serão realizados com o auxílio da planilha eletrônica Excel, versão 2007, da MicroSoft. Sua adoção deve-se à popularidade e ao baixo custo da ferramenta, que dispõe de todos os recursos necessários ao trabalho.

O projeto de investimento

A primeira etapa de um projeto de investimento consiste no levantamento dos dados necessários para se avaliar sua viabilidade econômico-financeira. Como este trabalho trata da aquisição de uma AMT, será necessário considerar tanto as incertezas associadas ao mercado quanto as associadas à *performance* da tecnologia.

Os Quadros 4, 5 e 6 contemplam as informações sobre o projeto de investimento em questão. De todos os valores, apenas a taxa de juros reflete condições reais, sendo todos os demais valores hipotéticos.

A literatura estudada dispõe que os projetos de AMTs, além de normalmente envolverem grandes volumes monetários, ainda têm riscos e incertezas associados. No presente estudo, considerar-se-á que a *performance* da tecnologia se reflete única e exclusivamente no custo variável unitário do produto a ser fabricado. Nesse momento, o principal objetivo é verificar a influência dessas incertezas no resultado da análise econômico-financeira e, conseqüentemente, na decisão de investir ou rejeitar o projeto.

Quadro 4

Informações sobre a *performance* da tecnologia

Parâmetros de <i>performance</i> da tecnologia	Mínimo (%)	Máximo (%)	Médio (%)
<i>Performance</i> no primeiro ano	60	80	70
Possibilidade de aumento de <i>performance</i> a.a.	0	10	5

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 4 apresenta os parâmetros de *performance* relacionados à tecnologia em questão. Supõe-se que especialistas indiquem ser possível atingir entre 60% e 80% da *performance* máxima ao fim do primeiro ano de uso da tecnologia, podendo-se alcançar os 100% com o passar do tempo. Essa amplitude pode ser justificada por fatores humanos, tais como aspectos culturais, turnos de trabalho, preparação da mão de obra e nível de comprometimento da equipe. Além disso, fatores como a qualidade da matéria-prima, o arranjo produtivo e o *layout* da planta também interferem no resultado do processo.

Quadro 5

Informações sobre o mercado futuro

Parâmetros de mercado	Mínimo (%)	Máximo (%)	Médio (%)
Oscilação anual da demanda	(20)	20	0
Perda anual de mercado	0	5	2,5
Faixa de variação da taxa de juros	8	12	10

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 5 contempla os níveis de oscilação de parâmetros mercadológicos e econômicos. Em casos assim, em que a economia de escala é fundamental para o sucesso do empreendimento, a demanda é um dos fatores de maior impacto sobre o resultado operacional. Uma perda anual de mercado foi inserida para representar a entrada de pequenos competidores.

Quadro 6

Fatores de custo e mercado estimados para o primeiro ano de operação da indústria

Demanda projetada para o primeiro ano	R\$ 800.000,00
Preço de venda unitário	R\$ 2,35
Custo unitário a 100% de <i>performance</i>	R\$ 1,00
Custo fixo	R\$ 100.000,00
Impostos + tributos + outras despesas (média/faturamento)	30%
Amortização (SAC) – parcela a.a.	R\$ 100.000,00
Valor residual ao final de 10 anos	R\$ 300.000,00

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 6 reflete a situação estimada para o primeiro ano de operação da indústria, sendo os anos subsequentes considerados uma função do resultado do primeiro ano e demais parâmetros já apresentados.

Modelagem do projeto em equações que explicam o VPL

Para calcular o VPL dos fluxos de caixa do projeto, ou qualquer outro parâmetro de decisão, é necessário descrever as relações entre as variáveis que influenciam seu valor.

As equações 21 a 26 relacionam os principais fatores de cálculo do *VPL*.

$$VPL = - \text{Investimento} + VPFC \quad (21)$$

$$VPFC = VR_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fat_t - Jur_t - CV_t - CF_t - Amort_t - ITDA_t}{(1+i_t)^t}$$

$$Fat_t = Demanda_t \times PU_t \quad (22)$$

$$CV_t = Demanda_t \times CU_t$$

$$Jur_t = \frac{(A_t \times J_t)}{(1+i_t)^t} \quad (23) \quad ITDA_t = Fat_t \times d_t \quad (25)$$

$$Amort_t = \frac{P_t}{(1+i_t)^t} \quad (24) \quad VR = \frac{VR_n}{(1+i_t)^n} \quad (26)$$

onde

Investimento = dispêndio inicial para a execução do projeto;

VR_0 = valor residual da tecnologia após 10 anos, trazido ao valor presente;

Fat_t = faturamento decorrente das vendas em t ;

Jur_t = juros pagos pelo montante de capital ainda não amortizado;

CV_t = custos variáveis em t ;

CF_t = custos fixos em t ;

$Amort_t$ = parcela da amortização no período t trazida ao valor presente;

$ITDA_t$ = valor referente aos impostos, taxas e despesas administrativas diretamente proporcionais ao faturamento;

$Demanda_t$ = quantidade de unidades vendidas no período t ;

A_t = montante de capital ainda não amortizado;

P_t = parcela da amortização no período t ;

d_t = percentual do faturamento destinado ao pagamento de impostos, taxas e despesas administrativas;
 n = número de períodos projetados para o investimento;
 t = período referente ao fator.

Fatores de cálculo e sua variação conforme parâmetros de mercado e desempenho

A demanda pelo produto final num determinado período t depende da demanda no período anterior ($t-1$) e dos parâmetros Oscilação da Demanda (OD) e Perda de Mercado (PM) projetados para o referido período.

$$Demanda_t = Demanda_{t-1} \times (1 + OD_t - PM_t) \quad (27)$$

O custo unitário também pode mudar conforme a *performance* da indústria na utilização da AMT adquirida. No presente estudo, será considerado que o custo unitário é inversamente proporcional à *performance*, ou seja, ele diminui quando a *performance* aumenta.

$$CU_t = CU_{ideal} \times \frac{1}{Performance_t} \quad (28)$$

onde

CU_t = custo unitário em t ;

CU_{ideal} = custo unitário quando a *performance* é máxima (100%);

$Performance_t$ = *performance* produtiva em t .

Conforme especificado no Quadro 4, deve ser alcançada no primeiro ano de utilização da tecnologia uma *performance* entre 60% e 80%. Podendo esse resultado ser melhorado em até 10% ao ano, ou seja:

$$Performance_t = Performance_{t-1} \times (1 + VP_t) \quad (29)$$

onde

VP_t = aumento de *performance* entre os períodos ($t-1$) e t .

Considera-se, neste estudo, que a *performance* é resultado do aprendizado da indústria no uso da tecnologia. Como não se “desaprende”, a *performance* só poderá aumentar ou permanecer estancada.

Análise tradicional (VPL)

A análise do projeto de investimento sob a ótica do VPL requer adaptações nas informações do projeto, uma vez que esse critério por si só não comporta a consideração de riscos e incertezas. Das informações do projeto especificadas em faixas, serão consideradas suas médias aritméticas ou valores esperados, conforme segue.

Quadro 7

Valores esperados de parâmetros de *performance* para cálculo do VPL tradicional

Parâmetros de <i>performance</i> da tecnologia	
<i>Performance</i> esperada para o primeiro ano	70%
Aumento esperado de <i>performance</i> a.a.	5%

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 8

Taxa de juros média, para cálculo do VPL tradicional

Parâmetros de mercado	
Taxa de juros	10%

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 9

Fatores de custo e mercado esperados para o projeto de investimento

Fatores de custo e mercado	
Demanda média projetada	R\$ 800.000,00
Preço de venda unitário	R\$ 2,35
Custo unitário	R\$ 1,00
Custo fixo	R\$ 100.000,00
Impostos + tributos + outras despesas (média/faturamento)	30% –
Amortização (SAC) parcela paga a.a.	R\$ 100.000,00
Valor residual	R\$ 300.000,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3

Fluxo de caixa para cálculo do VPL tradicional

Fluxo de caixa					(R\$)				
	0	1	2	3	8	9	10		
Faturamento		1.880.000	1.880.000	1.880.000	1.880.000	1.880.000	1.880.000		
Investimento	(1.000.000)								
Valor residual								300.000	
Custos variáveis		(1.142.857)	(1.088.435)	(1.036.605)	(812.207)	(800.000)	(800.000)	(800.000)	
Impostos		(564.000)	(564.000)	(564.000)	(564.000)	(564.000)	(564.000)	(564.000)	
Juros		(90.000)	(80.000)	(70.000)	(20.000)	(10.000)	(10.000)	0	
Amortização		(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	
Custos fixos		(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	(100.000)	
Fluxo de caixa	(1.000.000)	(116.857)	(52.435)	9.395	283.793	306.000	616.000		
V PFC	(1.000.000)	(106.234)	(43.335)	7.059	132.391	129.774	237.495		
Fonte: Elaboração própria.									

Fonte: Elaboração própria.

As informações dispostas nos Quadros 7, 8 e 9 refletem o cenário mais provável para o projeto de investimento em questão. As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, o fluxo de caixa para o projeto em questão e o VPL do projeto.

Se o projeto em questão fosse avaliado apenas sob o critério do VPL, seria rejeitado, uma vez que seu valor é menor que zero. Contudo, o projeto em questão traz diversas incertezas associadas e não consideradas até o momento. Note-se que a avaliação pelo critério do VPL é determinística e despreza possíveis alterações nos cenários mercadológicos e operacionais em que a indústria poderá estar inserida. Dessa forma, são ignoradas ainda ações que a gerência da corporação possa vir a tomar para alavancar o negócio.

Tabela 4

Resultado do cálculo do VPL

Resultado	(R\$)
Investimento inicial	1.000.000,00
VPL tradicional esperado	(296.225,51)

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se, portanto, que a análise de viabilidade econômico-financeira pelo critério do VPL não oferece subsídios suficientes para uma segura tomada de decisão sobre o projeto em questão. Por isso, será aplicada a Simulação Monte Carlo para estimação do valor esperado do VPL do projeto, considerando-se prováveis variações nos parâmetros econômicos, mercadológicos e operacionais.

Aplicação da Simulação Monte Carlo ao projeto de investimento

Pela Simulação Monte Carlo, será possível mensurar a volatilidade do *VPFC* do projeto com o desvio padrão dos seus valores e o valor esperado do VPL. Segundo a literatura estudada, a partir de 10

mil cenários simulados já se obtém um resultado confiável. Numa planilha eletrônica, serão lançados os parâmetros do projeto de investimento, executados os cálculos e analisados os resultados. A flexibilidade da ferramenta permite que a planilha seja facilmente adaptada a outras situações.

A planilha está dividida nos seguintes segmentos:

1. Parâmetros da SMC relacionados ao desempenho da AMT;
2. Parâmetros da SMC relacionados às expectativas em relação ao mercado;
3. Resumo do resultado da SMC;
4. Fatores de custo e mercado;
5. Fluxos de caixa (10 mil linhas).

Parametrização da planilha

O primeiro segmento contempla células em que são informados os parâmetros de desempenho da AMT, normalmente disponibilizados pelo fornecedor da tecnologia. O Quadro 10 ilustra sua posição e apresentação na planilha.

Quadro 10

Parâmetros da SMC (x 1.000) – Performance da AMT

	Mínimo	Máximo	Médio
Performance no primeiro ano	600	800	700
Possibilidade de aumento da performance ao ano	0	100	50

Fonte: Elaboração própria.

O segundo segmento contempla os parâmetros que refletem a expectativa sobre o mercado nos períodos futuros.

Quadro 11

Parâmetros da SMC (x 1.000) – Expectativas de mercado

	Mínimo	Máximo	Médio
Oscilação anual da demanda	(200)	200	0
Perda anual de mercado	0	100	50
Faixa de variação da taxa de juros	80	120	100

Fonte: Elaboração própria.

O terceiro segmento mostra um resumo da SMC, que inclui o investimento inicial, o VPL tradicional esperado para o projeto, o *VPFC* esperado e a volatilidade do *VPFC*.

Quadro 12

Resumo da SMC na planilha Excel

	(R\$)
Investimento inicial	1.000.000,00
VPL tradicional esperado	(81.421,30)
VPFC esperado	918.578,70
Volatilidade do VPFC	76%

Fonte: Elaboração própria.

O quarto segmento contempla os fatores de custo e mercado.

Quadro 13

Fatores de custo e mercado na planilha Excel

	(R\$)
Demanda projetada para o primeiro ano	800.000,00
Preço de venda unitário	2,35
Custo unitário a 100% de <i>performance</i>	1,00
Custo fixo	100.000,00
Impostos + tributos + outras despesas (média/faturamento)	0,30
Amortização (SAC). Parcela a.a.	100.000,00
Valor residual após 10 anos	300.000,00

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 13 mostra o trecho de planilha referente aos valores anuais do preço de mercado e do custo unitário dos produtos, custos fixos, alíquotas de tributos somadas e despesas administrativas, inflação, saldos a serem amortizados e parcelas da amortização. É a típica tabela de projeção sobre a qual são avaliados os VPLs sujeitos a diferentes cenários.

Considerou-se que a totalidade do recurso financeiro será obtida por financiamento, a ser amortizado pelo Sistema de Amortizações Constantes (SAC). Portanto, a amortização será feita em parcelas fixas de R\$ 100 mil e, a cada período, serão pagos os juros pelo capital ainda não amortizado.

Geração de números aleatórios

Foram gerados números aleatórios dentro das amplitudes dos parâmetros de performance e mercado, conforme apresentado nos Quadros 10 e 11.

Simulação dos fluxos de caixa

Com base nos parâmetros explicitados nos segmentos acima, foram simulados, em 10 mil diferentes cenários, os fatores de cálculo que descrevem cada VPL, e calculados os respectivos VPLs.

Resultado da SMC

Quadro 14

Resultado da SMC

Resumo da SMC	
Investimento inicial	1.000.000,00
VPL tradicional esperado	(81.421,30)
VPFC esperado	918.578,70
Volatilidade do VPFC	76%

Fonte: Elaboração própria.

Com base na regra E-V de Markowitz, com base nos dados gerados na SMC, calculou-se o valor esperado para o *VPL*, o *VPFC* e a volatilidade do *VPFC*, então representada pelo desvio padrão dos valores do *VPFC*. Segundo Markowitz (1952), um analista de projetos experiente deve ter crenças probabilísticas que o permitam decidir sobre o conjunto de alternativas de projetos de investimento (portfólio) com base na leitura dos seus valores esperados e volatilidades. Contudo, esse mesmo autor comenta que nada se pode afirmar sobre a coerência das crenças probabilísticas do analista. Portanto, a depender da situação, a simples indicação dos parâmetros E-V não é suficiente para a tomada de decisão.

O presente caso também não consiste na decisão de investimento sobre várias possibilidades. Trata-se da decisão de investir ou não em uma única alternativa.

Observe-se no Quadro 14 que o *VPL* tradicional esperado para o projeto obtido pela SMC é maior que o obtido pela análise tradicional do *VPL*, tomando fluxos de caixa determinísticos. Contudo, a contribuição da SMC limita-se à estimação dos valores médios do *VPL* e do *VPFC*, e da volatilidade do *VPFC*. Desses parâmetros, pode-se apenas concluir que:

- a) segundo o critério do *VPL*, como o *VPL* esperado é negativo, o projeto é inviável;
- b) a volatilidade do *VPFC* é alta (0,76), o que indica que o projeto pode trazer prejuízo ainda maior que o apresentado no *VPL* calculado tanto quanto um lucro fenomenal.

Nesse momento da análise, pode-se optar por rejeitar o projeto ou avaliar-se a opção de postergá-lo por um ano. O período de espera permite que sejam esclarecidas incertezas associadas ao projeto, que se refletem na sua atual volatilidade (76%). As informações obtidas durante esse período podem contribuir para a decisão, com mais segurança, sobre o investimento.

É importante observar que é nas decisões mais difíceis, como a aqui trabalhada, em que o *VPL* é próximo de zero, que o valor das flexibilidades gerenciais faz grande diferença [Copeland (2001)].

Verificado o *VPL* negativo, no entanto, muito próximo de zero, e que existem muitas incertezas associadas ao projeto, refletidas numa volatilidade de 76%, conclui-se que a análise da opção de postergar o investimento pelo período de um ano pode ser interessante.

Avaliação da opção de esperar para investir

O panorama do projeto em investimento em questão, para a avaliação sob a ótica das Opções Reais, está resumido no Quadro 15.

Quadro 15

Enquadramento fatores de investimento x Fatores de opções reais

Fator de investimento	Fator de opções	Valor
Investimento	Preço de exercício	R\$ 1.000.000,00
<i>VPFC</i>	Valor do ativo	R\$ 918.578,70
Volatilidade	Volatilidade	76,0%
Taxa de juros	Taxa de juros	10% a.a.

Fonte: Elaboração própria.

Precificação da opção de postergar por meio do modelo binomial

Conforme recomendado por Hull (1997), a análise pelo modelo binomial deve ser realizada com 30 períodos no mínimo, para que o processo discreto ofereça aproximação satisfatória do valor da opção. Para o caso em questão, no qual será avaliada a opção de postergar o investimento pelo período de até um ano, decidiu-se calcular o valor da opção de esperar em 48 períodos, que seriam as 48 semanas, pelo simples fato de se ter de visualizar o comportamento do *VPL* ao longo de períodos convencionais (semanas).

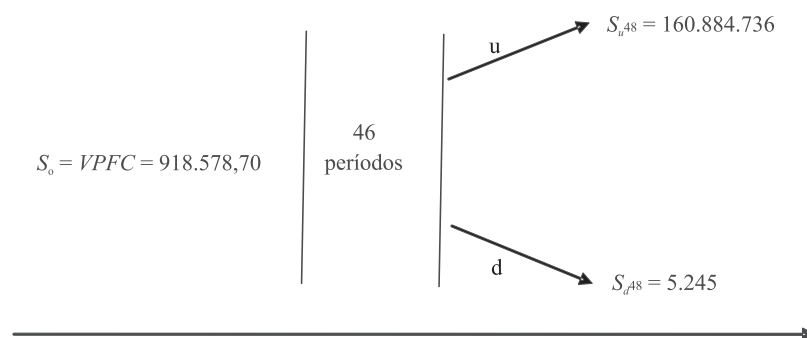
Apesar de avaliar o adiamento da execução do projeto de investimento pelo período de um ano, o adiamento poderá ocorrer antes desse prazo, bastando que o mercado sinalize futuro promissor para o negócio.

Por isso, configura-se a opção em questão como americana, não europeia, pois pode ser exercida a qualquer momento. Note-se que essa análise consiste na avaliação da opção de “investir depois”. E pode-se investir a qualquer momento entre a decisão de postergar o investimento e o vencimento da opção (um ano após a análise).

Montagem da árvore binomial

A opção de postergar foi calculada com o auxílio da planilha eletrônica Excel. A árvore binomial foi montada com 48 períodos, conforme anteriormente explanado, nos quais foram calculados os prováveis valores do *VPFC* do projeto de investimento sujeito aos fatores de subida e descida – u e d , respectivamente. Os valores inicial e finais do *VPFC* estão dispostos na Figura 5.

Figura 5
Árvore binomial do *VPFC* em 48 períodos



Fonte: Elaboração própria.

onde

$$u = e^{\sigma x \sqrt{\Delta t}} = e^{0.76x \sqrt{1/48}} = 1,11617 \quad (30)$$

$$d = 1/u = 0,89592 \quad (31)$$

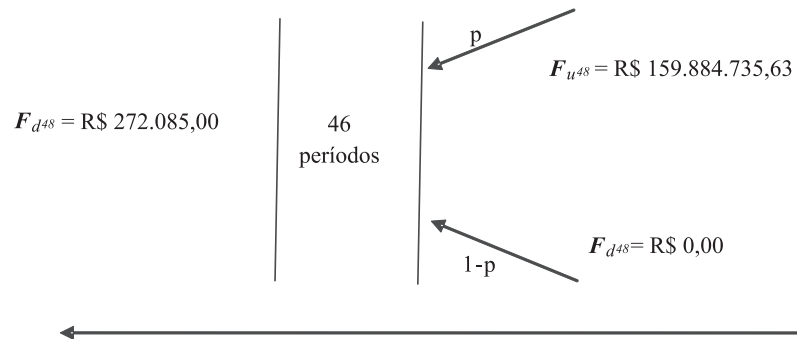
Cálculo regressivo da opção de esperar

A opção de postergar é calculada considerando-se, antes de qualquer coisa, seu exercício na data de validade. Se for vantajoso para o investidor exercer a opção, seu valor será a diferença entre o *VPFC* do projeto e o investimento naquela data. Caso seja negativo, a opção perde totalmente seu valor, ou seja, tem valor zero (0).

Como se está avaliando a opção de postergar o investimento pelo período de um ano, seu valor foi ajustado segundo uma inflação de 6%, aproximando-o da realidade atual do Brasil.

Figura 6

Cálculo regressivo do valor da opção, por meio do Modelo Binomial



Fonte: Elaboração própria.

onde

$$p = \frac{r - d}{u - d} \quad (32)$$

$$p = \frac{r-d}{u-d}$$

$$p = 0,48157$$

$$F_t = \text{Máx} \left(S_t - I_t; \frac{p \times F_{ut+1} + (1-p) \times F_{dt+1}}{r} \right) \quad (33)$$

ou seja,

$$F_t = \text{Máx}(\text{Investir}; \text{Esperar}) \quad (34)$$

Pela análise sob a ótica das Opções Reais, verifica-se que a opção de investir após o período de um ano adiciona ao $VPL_{\text{tradicional}}$ o valor de R\$ 272.085,31. O cálculo do $VPL_{\text{expandido}}$ é realizado conforme segue.

$$VPL_{\text{expandido}} = VPL_{\text{tradicional}} + \text{Valor}_{\text{flexibilidade gerencial}} \quad (35)$$

$$VPL_{\text{tradicional}} = - 81.421,30 + 272.085,31$$

$$VPL_{\text{expandido}} = 190.664,01$$

Resultado da avaliação da opção de esperar

Uma vez que o $VPL_{\text{expandido}}$ é positivo, deve-se entender que o projeto é interessante para o investidor e devem-se buscar meios de garantir a existência da opção até sua data de vencimento. Durante o período de espera, o investidor terá a oportunidade de observar o mercado, esclarecer algumas incertezas e trabalhar para influenciar algumas variáveis econômicas. Desse modo, não se rejeita um investimento em virtude do resultado de uma análise inadequada, evita-se a precipitação em investir num projeto de alto risco, e ao mesmo tempo busca-se manter a possibilidade de auferir os lucros inerentes ao projeto tão logo constatado que vai gerar retorno satisfatório.

É importante ressaltar que tal como a garantia de uma opção financeira futura requer a formalização da compra da opção de compra,

mediante desembolso compatível com tal flexibilidade, a garantia de uma opção futura de investimento requer desembolso inicial para a criação de uma barreira cujo objetivo é dificultar – e até impedir – que outros investidores realizem o investimento enquanto se observa as movimentações do mercado.

A análise por Opções Reais permite ao investidor quantificar até quanto deve desembolsar para garantir a opção de realizar o investimento no futuro. Assim, podem-se avaliar as alternativas para impedir ou dificultar a entrada de outros investidores no mercado.

Garantia da existência da opção futura

Essa etapa da avaliação consiste na identificação de uma ação que crie uma barreira à entrada de novos competidores no potencial mercado em questão. Neste estudo, será considerada uma ação que visa atender à demanda local, desencorajando os consumidores a buscar o produto em outras praças. Para isso, deve ser adotada uma política adequada de preços.

Supõe-se que uma vez atendida a demanda por uma oferta de produtos de qualidade e condições comerciais satisfatórias, ela não será evidenciada no primeiro momento. Além disso, considera-se que o produto em questão é muito específico e, a exemplo de outras praças, requer a formalização de contratos de fornecimento. Assim, enquanto se espera para realizar o investimento na planta industrial, a empresa atenderá aos consumidores sacrificando seu lucro.

Tão logo se verifique a viabilidade econômico-financeira do investimento, os contratos existentes serão renovados, porém, proporcionando margens de lucro maiores em virtude da redução dos custos operacionais. Caso contrário, se após o tempo de espera não se tiver indicação de investir, poder-se-á extinguir o empreendimento provisório, vendendo-o por seu valor residual.

A barreira à entrada, nesse caso, se apresentará na forma de contratos de fornecimento. Ou seja, presos aos contratos, os consumidores terão custos adicionais de mudança de fornecedor, como multas rescisórias, até seus vencimentos.

Alternativas de atendimento à demanda

Três alternativas serão consideradas para atender à demanda a partir do momento em que começar a existir:

- a) Revenda subsidiada de produtos provenientes de outras praças. Os produtos serão adquiridos de outros fabricantes e revendidos na praça em questão. Para desencorajar o cliente de comprar o produto de outra praça, seu preço no local terá de ser mais interessante que a segunda alternativa. Com isso, estima-se um prejuízo por unidade vendida de R\$ 0,15, custos fixos anuais de R\$ 30 mil e um investimento inicial de R\$ 50 mil em publicidade e propaganda.
- b) Fabricação com uso intensivo de mão de obra. Os produtos serão produzidos com uso das máquinas e ferramentas mais simples que existem no mercado. Estima-se que se obterá um lucro de R\$ 0,20 por unidade vendida, custos fixos anuais de R\$ 40 mil e um investimento inicial de R\$ 150 mil em publicidade, propaganda e instalações. O valor residual estimado das instalações é de R\$ 60 mil.
- c) Implantação de uma versão mais simples da unidade produtiva do projeto original. Nesse caso, os produtos serão fabricados com baixo índice de utilização de mão de obra, a diferença para o projeto inicial está na integração da manufatura que, nessa opção, quase não existe. Estimam-se um lucro de R\$ 0,30 por unidade vendida, custos fixos anuais de R\$ 30 mil e um investimento inicial de R\$ 350 mil. O valor residual estimado das instalações é de R\$ 200 mil.

Quadro 16

Alternativa A de barreira a novos entrantes

Resumo – Alternativa A (R\$)			
Lucro bruto	300.000,00	(0,15)	(45.000,00)
Custo fixo			(30.000,00)
Investimento inicial			(50.000,00)
Custo total da alternativa			(125.000,00)

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 17

Alternativa B de barreira a novos entrantes

Resumo – Alternativa B (R\$)			
Lucro bruto	300.000,00	0,2	60.000,00
Custo fixo			(50.000,00)
Investimento inicial			(150.000,00)
Valor residual			50.000,00
Custo total da alternativa			(90.000,00)

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 18

Alternativa C de barreira a novos entrantes

Resumo – Alternativa C (R\$)			
Lucro bruto	300.000,00	0,3	90.000,00
Custo fixo			(60.000,00)
Investimento inicial			(350.000,00)
Valor residual			200.000,00
Custo total da alternativa			(120.000,00)

Fonte: Elaboração própria.

Considerações sobre cada alternativa

Como o horizonte de existência das três alternativas de negócio para criação de barreiras a novos entrantes é de um ano, dispensou-se o desconto do fluxo de caixa para simplificar os cálculos.

Das análises das alternativas em questão, verifica-se que a análise por opções reais de fato agregou valor ao projeto, pois existe mais

de uma alternativa de barreira à entrada cujo custo é inferior ao valor da opção de esperar. Por isso, já se pode afirmar que o projeto deve ser postergado e a melhor opção de empreendimento para a criação de barreira à entrada é a alternativa B.

Espera proativa

Durante o período compreendido entre a análise e decisão de postergar o investimento e a data de vencimento da opção, a gerência do projeto, além de simplesmente observar o mercado, poderá agir proativamente buscando influenciar variáveis econômico-financeiras que possam aumentar a atratividade do projeto.

A seguir, serão discutidos os impactos que mudanças na carga tributária, nos custos fixos, na taxa de juros e, principalmente, na amplitude da oscilação da demanda podem causar no *VPL* esperado do projeto.

A influência da oscilação da demanda no *VPL* e na volatilidade do *VPFC*

Verificou-se que a demanda é o fator de maior impacto sobre a volatilidade do *VPFC*. Ela oscila entre 4% e 33% quando se varia a amplitude da demanda simetricamente de 0% a 20%, conforme disposto na Tabela 5.

É importante salientar que, sendo a amplitude de oscilação da demanda simétrica, praticamente não há mudança no valor esperado para o *VPL* tradicional. Contudo, a opção de postergar perde valor à medida que a volatilidade diminui, como já era de se esperar.

Os dados mostram que é tão mais vantajoso esperar quanto maior for a volatilidade, ou seja, quanto maiores forem o risco e a incerteza associados ao projeto.

Tabela 5

Oscilação simétrica da demanda

	Limite inferior (%)	Limite superior(%)	VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
1	(20)	20	(74.236,85)	274.681,77	76
2	(18)	18	(97.723,14)	250.116,16	72
3	(16)	16	(81.535,77)	246.735,72	68
4	(14)	14	(92.267,40)	224.587,17	64
5	(12)	12	(83.926,17)	219.552,27	62
6	(10)	10	(82.542,41)	209.605,66	58
7	(8)	8	(81.548,23)	207.832,83	57
8	(6)	6	(87.827,16)	200.400,99	56
9	(5)	5	(86.134,67)	196.461,78	55
10	(4)	4	(82.054,86)	196.234,83	54
11	(3)	3	(91.131,12)	192.214,89	53

Fonte: Elaboração própria.

Durante o período de espera, a gerência pode buscar alternativas que aumentem a possibilidade de crescimento ou de redução da demanda.

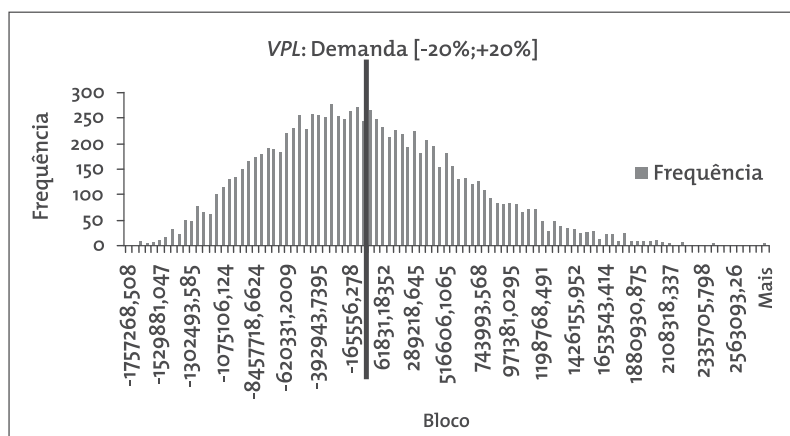
À medida que a assimetria aumenta – tornando-se mais provável que a demanda cresça do que diminua, e vice-versa –, o *VPL* aumenta ou diminui acompanhando a assimetria.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam as distribuições de probabilidades do *VPL* quando submetidos a dois cenários: primeiro, a demanda pode oscilar numa faixa de $\pm 20\%$ e, no segundo, essa oscilação está no intervalo $[-10\%;20\%]$, ou seja, é mais provável que a demanda cresça do que diminua.

A linha vermelha em cada um dos gráficos demarca o limite entre os *VPLs* negativos e os positivos. Note-se que no Gráfico 1 os valores negativos ultrapassam o centro da distribuição, no Gráfico 2 nota-se a soberania dos valores positivos.

Gráfico 1

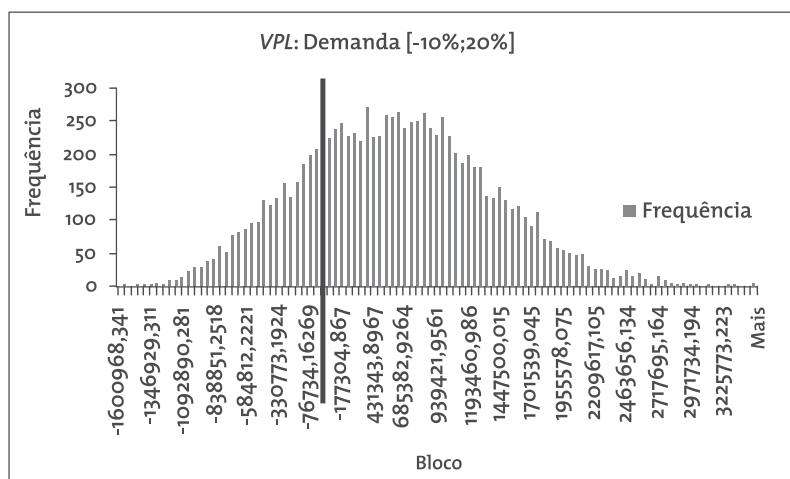
Histograma de VPLs para demandas na faixa (-20%; 20%)



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 2

Histograma de VPLs para demandas na faixa (-10%;20%)



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 6 foi elaborada para ilustrar a influência da assimetria sobre o *VPL*, a opção de esperar e a volatilidade do projeto.

Nas linhas 1 a 5, reduziu-se o limite inferior para a oscilação da demanda de 20% para 12%, mantendo-se o superior. Ou seja, reduziu-se a possibilidade de a demanda diminuir, mantendo-se a de ela crescer. Observe-se que tanto o *VPL* quanto a opção de esperar crescem à medida que se reduzem as chances de diminuição da demanda. Por outro lado, a redução da amplitude diminui a volatilidade.

Tabela 6
Oscilação assimétrica da demanda

Limite inferior (%)	Limite superior(%)	VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
(20)	20	(83.969,26)	266.366,51	75
(18)	20	34.096,72	323.264,63	68
(16)	20	163.573,22	409.523,25	62
(14)	20	306.965,05	492.796,98	57
(12)	20	443.044,72	592.525,28	53
(12)	18	301.152,25	476.132,53	54
(12)	16	169.177,85	373.742,99	57
(12)	14	30.488,67	297.531,81	60
(12)	12	(85.294,01)	219.398,22	62
(10)	12	33.650,93	284.189,60	57
(8)	12	165.454,80	354.788,79	51
(6)	12	302.839,25	449.052,91	47
(6)	10	158.554,22	347.936,66	49
(6)	8	36.736,13	269.551,21	52
(6)	6	(74.824,43)	198.659,98	55

Fonte: Elaboração própria.

Um fato que pode parecer curioso é que a opção de esperar continua crescendo mesmo para valores positivos do *VPL*. Ou seja, mesmo sendo o projeto muito vantajoso, a opção de esperar ainda se mostra interessante. Isso ocorre porque o valor da opção é calculado com base nos prováveis valores futuros, e à medida que os valores futuros aumentam, pode ser aparentemente mais interessante investir no futuro que no presente. Por esse motivo, a análise por opções reais é recomendada para a tomada de decisões difíceis, quando o *VPL*_{tradicional} está próximo de zero. Se o projeto já é interessante no momento atual e mais interessante que outras alternativas de investimento, não faz sentido esperar.

Variações na possibilidade de perda de mercado

Conforme anteriormente discutido, estimou-se perda de até 5% do *market share* para o projeto em questão em virtude da entrada de novos competidores no mercado. Contudo, variando-se esse percentual de 0% a 5%, observou-se que seu impacto sobre o *VPL*, a opção de esperar e a volatilidade é irrisório, de forma que poderia até ser desprezado nos cálculos para essa faixa de valores.

Isso pode ocorrer em virtude da grande influência que a demanda tem sobre os resultados do projeto, sobrepondo-se sobre outras variáveis.

Tabela 7

Perda de mercado

Perda de mercado (%)	VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
5	(81.404,58)	260.486,06	75
4	(80.736,27)	268.398,26	76
3	(75.464,86)	268.427,41	77
2	(74.510,13)	274.393,67	75
1	(79.149,86)	268.930,04	74
0	(98.327,44)	273.313,87	76

Fonte: Elaboração própria.

Variação da taxa de juros

O custo de capital também é um determinante para a viabilidade econômico-financeira de um projeto de investimento. Observe-se que sua influência sobre a volatilidade é quase desprezível, mas o impacto sobre o $VPL_{tradicional}$ esperado é significativo.

Tabela 8

Variação da taxa de juros

Taxa de juros (%)		VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
8	12	(87.697,85)	265.188,27	75
7	12	(41.498,68)	291.181,38	74
6	12	3.340,31	324.034,97	72
6	10	102.040,81	377.527,47	70
6	13	(44.403,31)	294.641,79	74
6	14	(78.680,45)	272.967,14	76
6	15	(119.121,41)	249.242,95	78
7	15	(153.126,85)	230.389,95	79
8	15	(203.789,92)	221.467,02	81

Fonte: Elaboração própria.

Carga tributária

A Tabela 9 mostra um resultado surpreendente. Uma redução de menos de 10% na carga tributária, baixando o valor total de 30% para 28%, já viabilizaria a execução do projeto no primeiro momento. O mais interessante é que a redução de 30% para 26% praticamente triplica o VPL do projeto.

Com isso, percebe-se que durante o período de espera, a gerência pode agir para obter incentivos fiscais e reduzir impostos, o que altera significativamente a distribuição de probabilidades do VPL e aumenta a atratividade do projeto.

Tabela 9

Redução da carga tributária

Carga tributária (%)	VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
30	(72.305,07)	263.415,17	76
28	149.991,51	393.943,83	63
26	385.503,47	546.311,47	55
24	614.300,51	732.684,58	51
22	851.739,58	936.198,80	45
20	1.062.893,90	1.166.132,99	42

Fonte: Elaboração própria.

Custos fixos

Outros inimigos da justificação de investimentos são os chamados custos fixos. A Tabela 10 mostra o quanto reduções a partir de 10% nos custos fixos impactam positivamente no *VPL*. Com base nos dados apresentados, percebe-se que ações nesse sentido não tornam atrativo o projeto, como ocorre com as variações na demanda, mas podem ser decisivas para a sua justificação.

Tabela 10

Redução dos custos fixos

Custos fixos	VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
100.000,00	(89.442,03)	268.714,97	76
90.000,00	(9.262,38)	297.813,18	72
80.000,00	30.675,45	319.645,96	68
70.000,00	107.127,87	360.652,81	63

Fonte: Elaboração própria.

Performance no uso da tecnologia

É notável a influência da *performance* no uso da tecnologia em relação tanto ao *VPL* do projeto quanto à volatilidade. Por se tratar de um equipamento de alta produtividade e de um empreendimento que se baseia em economia de escala, a redução do custo unitário de produção proporcionada pelo desempenho pode definir a viabilidade econômico-financeira do projeto. Note-se que o projeto foi inicialmente avaliado considerando-se a possibilidade de se obter um percentual de *performance* entre 60% e 80% da ideal no primeiro ano. A simples alteração desse intervalo para 70%-80%, ou seja, eliminando-se a possibilidade de se alcançar *performance* abaixo de 70%, torna o projeto viável.

Tabela 11

Influência da *performance* no uso da tecnologia

Performance (%)		VPL (R\$)	Opção (R\$)	Volatilidade (%)
60	70	(465.466,56)	127.747,54	103
70	80	291.037,82	448.871,43	46
80	90	748.555,55	853.926,20	36
90	100	981.779,61	1.077.481,88	33

Fonte: Elaboração própria.

Conclusões

Neste trabalho, sugeriu-se um *framework* desenvolvido com base na vanguarda das pesquisas relacionadas à TOR e à justificação de investimentos em AMTs. Considerando-se os aspectos práticos de sua aplicação, pode ser utilizado como instrumento complementar para a avaliação de projetos de investimentos.

A base de dados gerada para a aplicação do *framework* a um caso prático proporcionou um estudo complementar, no qual foram avaliados os impactos das variáveis econômicas sobre o *VPL* do projeto de investimento em questão. Verificou-se, então, que durante o período de espera, além da possibilidade de se observarem as movimentações do mercado para o esclarecimento das incertezas, a gerência pode agir para influenciar variáveis como a demanda, com a exploração de novos mercados, a taxa de juros, captando recursos de outras fontes, e os tributos, buscando incentivos fiscais.

Para atender aos propósitos da pesquisa, restringiu-se a análise apenas aos fatores de maior influência sobre o processo de valoração da opção de postergar o investimento. No *framework*, foram deixados em aberto os comportamentos das variáveis aleatórias utilizadas na Simulação Monte Carlo (SMC), e, no caso prático, não foram considerados seus comportamentos reais.

Numa aplicação real, faz-se necessária a verificação das funções que regem o comportamento de variáveis como a demanda e os juros, e a forma como se inter-relacionam.

Diante da diversidade de Tecnologias Avançadas de Manufatura existentes, recomenda-se segmentar o estudo dirigindo-o a grupos específicos. Como sugestão, pode-se utilizar a classificação de Chan (2001) nos três grupos propostos por Meredith & Hill (1987).

A Teoria de Opções Reais (TOR) permite que se valore não somente a opção de postergar um projeto, mas também de expandir ou contrair a escala de produção, abandonar temporária ou definitivamente o projeto, alterar matérias-primas ou produtos de um projeto e realizar investimentos subsequentes. Recomenda-se, então, que este trabalho seja expandido pela consideração das demais opções reais na avaliação dos projetos de investimentos em AMTs.

Referências

- ABDEL-KADER, M. G.; DUGDALE, D. Investment in advanced manufacturing technology: a study of practice in large U.K. companies. *Management Accounting Research*, 1998, n. 9, pp. 261-284.
- ARAVINDAN, P. & PUNNYAMOORTHY, M. Justification of Advanced Manufacturing Technologies (AMT). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002, 19:151-156.
- BHATTI, T. Justification of manufacturing technology capital investment – an integrated approach. Monash University, Australia, 2000.
- BLACK, F. & SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. *Financial Analysts Journal*, n. 31, pp. 36-41, 61-72, July-August 1975.
- BORGES, L. A. *Justificação econômico-financeira de ATM: um modelo de racionalidade, utilizando a teoria baseada em recursos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.
- BOYER, K. K. *et al.* Unlocking the potential of advanced manufacturing technologies. *Journal of Operations Management*, n. 15, pp. 331-347, 1997.
- BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática. 8ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- CAVALCANTI, A. F. *Avaliação de investimentos de capital na geração termoeletrica usando a Teoria das Opções Reais: um estudo de caso utilizando a Equação de Bellman*. Dissertação (Mestrado em Economia). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005.
- CHAN F. T. S. *et al.* Investment appraisal techniques for Advanced Manufacturing Technology (AMT): a literature review. *Integrated*

Manufacturing Systems. 12(1): 35-47, 2001.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. *Real options: a practitioner's guide*. Texere, 2001.

CORREIA NETO, J. F.; MOURA, H. J.; FORTE, S. H. C. A. Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais, considerando os efeitos do risco, através do Método de Monte Carlo. Porto Alegre: *Revista Eletrônica de Administração*, v. 8, n. 2, julho de 2002. Disponível em: <http://www.read.ea.ufrgs.br/>. Acesso em: 7.5.09.

COX, J. C.; ROSS, S. A. & RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(1979): 229-263.

DAMODARAN, A. The promise and peril of Real Options. Disponível em: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/realopt.pdf>. Acesso em: 7.5.09.

DANGAYACH, G. S.; PATAK, S. C. & SHARMA, A. D. Advanced Manufacturing Technology: a way of improving technological competitiveness. *International Journal of Global Business and Competitiveness*, v. 2, n. 1, pp. 1-8, 2006.

DANTAS, M. G.; TÁVORA-JR., J. L. Tecnologias de automação e informação como fatores de inovação e competitividade das empresas de saneamento. XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000.

_____. Planejamento estratégico da automação industrial em uma perspectiva de alinhamento estratégico. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de outubro de 2003.

EVANGELISTA, M. L. S. *Estudo comparativo de análise de investimentos em projetos entre o método VPL e o de Opções Reais: o caso cooperativa de crédito*. Sicredi Nordeste. Tese (Doutorado). PPGEP – UFSC, 2006.

- FERREIRA, D. C. Proposta de metodologia de análise para adoção de Tecnologias Avançadas de Manufatura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.
- FERREIRA, R. G. *Matemática financeira aplicada*. 5ª ed. Recife: Universitária, 2000.
- GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E. & LAMB, R. *Decisões de investimentos na empresa*. São Paulo: Atlas, 1999.
- GUSTAVSSON, H. & AXELSSON, J. Evaluating flexibility in embedded automotive product lines using Real Options. 12th International Software Product Line Conference, 2008.
- HULL, J. *Options, futures and other derivative securities*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997.
- HYNEK, J.; JANECEK, V. Advanced Manufacturing Technology projects justification. Proceedings of International Conference on Mechatronics. Kumamoto, Japan, 2007.
- LEFLEY, F. *et al.* Manufacturing investments in the Czech Republic: an international comparison. *International Journal of Production Economics*, n. 88, pp.1-14, 2004.
- LI, X.; JOHNSON, J. D. Evaluate IT investment opportunities using Real Options Theory. *Information Resources Management Journal*, n. 15, Jun/Sept 2002.
- LUEHRMAN, T. A. Strategy as portfolio of Real Options. *Harvard Business Review*, pp. 89-99, Sep/Oct 1998.
- MAKLAN, S.; KNOX, S. & RYALS, L. Using Real Options to help build the business case for CRM investment. *Long Range Planning*, 38(2005): 393-410.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v. 7, pp. 77-91, 1952.
- _____. Portfolio selection. Nova York: John Willey & Sons, 1959.

- MEREDITH, J. R.; HILL, M. Justifying new manufacturing systems: a managerial approach. *Sloan Management*, p. 49-61, Summer 1987.
- MEREDITH, J.; SURESH, N. Justification techniques for advanced manufacturing technologies. *International Journal of Production Research*, v. 24, n. 5. p. 1043-1058, 1986.
- MERTON, R. C. Theory of Rational Option Pricing, bell. *Journal of Economics and Management Science*, n. 4, pp. 141-183, Spring 1973.
- MINARDI, A. Teoria de Opções aplicada a projetos de investimento. São Paulo: Atlas, 2004.
- _____. Teoria de Opções aplicada a projetos de investimento. *Revista de Administração de Empresas*, v. 40, n. 2, pp. 74-79, abr.-jun. 2000.
- OLIVEIRA, M. R. G.; CARMONA, C. U. M. & TÁVORA-JR., J. L. Value at Risk dinâmico: um estudo comparativo entre os modelos heterocedásticos e a Simulação de Monte Carlo. *Revista Brasileira de Finanças*, vol. 4, n. 2, pp. 188-202, 2006.
- REBELATO, D. *Projeto de investimento*. São Paulo: Manole, 2004.
- SALEH, B.; HACKER, M. & RANDHAWA, S. Factors in capital decisions involving Advanced Manufacturing Technologies. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 21, n. 10, pp. 1265-1288, 2001.
- SANTOS, R. G. C. J.; TÁVORA-JR., J. L. & BARBOSA, C. Z. Uma proposta de modelo de gestão de recursos em automação e integração informática para PMEs do setor produtivo do plástico. XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1999.
- SHINODA, C. *Viabilidade de projetos de investimento em equipamentos com tecnologia avançada de manufatura: estudo de múltiplos casos na siderurgia brasileira*. Tese (Doutorado). PPGEPP – USP, 2008.
- SMALL, M. H.; CHEN, I. J. Investment justification of advanced

manufacturing technology: an empirical analysis. *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 12, pp. 27-55, 1995.

SMALL, M. H.; YASIN, M. M. Advanced Manufacturing Technology: implementation policy and performance. *Journal of Operations Management*, v. 15 pp. 349-370, 1997.

TÁVORA-JR., J. L.; SANTOS, R. G. C. J. ; BARBOSA, C. Z. Uma proposta de modelo de gestão de recursos de automação e integração informática para pequenas e médias empresas do setor produtivo de plástico. *Anais do XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, pp. 70-90, 1999.

TÁVORA-JR., J. L.; SIVINI, S. & CONSENTINO, A. C. C. Critérios de competitividade na análise de projetos. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1998.

TOURINHO, O. A. F. The option value of reserves of natural resources. Research Program in Finance, *Working Papers 94*, University of California at Berkeley, 1979.

WILMOTT, P. *The mathematics of financial derivatives: a student introduction*. Paperback, 1995.

WRIGHT, P.; KROLL, M. J.; PARNELL, J. *Administração estratégica*. São Paulo: Atlas, 2000.

WU, F. *et al.* An approach to the valuation and decision of ERP investment projects based on real options. Ann Oper Res. Springer Science + Business Media, LLC, 2008.

