

2

Avaliação Econômica em Projeto de P&D Incremental em Modelo de Opções Reais

O estudo desenvolvido nesse capítulo encerra uma pormenorizada avaliação econômica de um projeto de P&D incremental em firma industrial, considerando, progressivamente, o tratamento endógeno de duas de suas maiores fontes de incerteza: O desempenho técnico e o tempo de desenvolvimento do projeto.

Verifica-se que o projeto, inviável sob a avaliação determinística do Valor Presente Líquido (VPL) sem flexibilidade, passa a ser viável após o tratamento da incerteza técnica por um modelo de opções reais (VPL com flexibilidade). Além disso, o projeto ganha 51% em valor de flexibilidade quando um tratamento de incerteza sobre o tempo de desenvolvimento é incorporado ao modelo. Em termos de flexibilidade adicional por unidade de custo do projeto, o ganho fica em torno de 44%.

Esse resultado revela a importância em se tratar essas fontes de incerteza de forma combinada em projetos de P&D, especialmente naqueles de natureza incremental, que formam uma categoria de projetos por demais difícil de analisar.

2.1

Introdução

Desde os anos 80 se discute a aplicabilidade de metodologias já bem estabelecidas na prática empresarial à avaliação de projetos de investimento com alto grau de incerteza, como relatado por Faulkner(1996) e Neves(1992). Os projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são representantes por excelência dessa categoria de investimento, onde o risco de fatores adicionais às incertezas naturais de mercado - como a incerteza técnica, por exemplo - leva as avaliações feitas em bases metodológicas convencionais a uma penalização que, frequentemente, conduz as empresas ao subinvestimento em P&D.

Os métodos financeiros convencionais, baseados no Valor Presente Líquido (VPL) de um Fluxo de Caixa Descontado (FCD), não consideram de forma apropriada a presença de um risco ampliado, na medida em que este é tratado de forma equivocada por meio de um aumento excessivo na taxa de desconto. Frequentemente, esse aumento alcança um patamar muito além da atratividade exigida por projetos de empreendimento sem esse tipo de risco, normalmente definida pelo custo de capital da firma (Samanez, 2007). Por outro lado, a premissa do gerenciamento ativo na presença de flexibilidade, ao longo da vida dos projetos, é característica metodológica essencial que requer instrumentos diferenciados, na proposta de avaliar adequadamente essa categoria especial de investimento: Com um gestor reavaliando periodicamente as incertezas endógenas, em certo grau controláveis, e exercendo ações ótimas sobre elas, maximizando o seu valor.

A Teoria das Opções Reais provê soluções para esse problema, como originalmente proposto por Dixit & Pindyck (1994). Desde este marco na literatura, centenas de novos modelos têm sido propostos, melhorando a análise de investimentos em geral, com considerações apropriadas sobre a flexibilidade gerencial. Trigeorgis (1996), Amram & Kulatilaka (1999) e Copeland & Antikarov (2001), apresentam interessantes estudos de caso, contribuindo para a difusão de uma visão mais prática da teoria. Mesmo os problemas clássicos, como os investimentos em expansão de capacidade, por exemplo, podem ser melhor examinados pela teoria das Opções Reais, como mostram Novaes & Souza (2005). Mais recentemente, Batista *et. al.* (2011), empregam um modelo de Opções Reais para calcular uma receita incremental para projetos de energia no mercado de carbono. Uma ampla cobertura de ferramentas e técnicas atualizadas de Opções Reais, com numerosos estudos de caso, pode ser encontrada em Mun (2006).

Modelos baseados em Opções Reais consideram adequadamente o valor da flexibilidade gerencial na presença de incerteza técnica, assim como na modelagem desenvolvida por Santiago & Vakili (2005). Aplicações de opções reais em avaliação de projetos de P&D não são uma novidade. Há abordagens mais analíticas como as aplicadas por Santos & Pamplona (2002), e por Schwartz

(2001). Paxon (2003) organiza uma relevante coletânea de artigos abordando o problema da mesma maneira, visando o tratamento de um conjunto de desafios que envolvem os projetos de P&D. No entanto, entende-se que a incerteza técnica é um tanto idiossincrática, requerendo, por isso, um tratamento mais específico, como sugerem Huchzermeier & Loch (2001). Segundo esses autores, há cinco grandes fontes de incerteza que afetam o valor dos projetos de P&D: o desempenho da tecnologia (*performance*) ou do desenvolvimento tecnológico, o custo de desenvolvimento, o tempo de desenvolvimento, o nível de exigência do mercado e o quanto ele paga por cada nível de desempenho tecnológico alcançado (*payoff* de mercado). Com respeito ao tempo de desenvolvimento, diferentemente da forma como Huchzermeier & Loch(2001) e Crespo(2008) o fizeram, Silva & Santiago(2009) propõem uma interessante abordagem alternativa ao considerá-lo de forma estocástica no modelo decisório calculado por programação dinâmica.

Muitas empresas que investem de forma continuada em P&D obtêm a maior parte do retorno nesse tipo de investimento por meio de inovações incrementais de processo. As inovações são consideradas incrementais por não se constituírem os resultados das pesquisas em mudanças radicais, ou revolucionárias, em seus processos produtivos, ou mesmo por não se traduzirem em novos produtos para o mercado. Diferentemente de casos como o da indústria automobilística, mostrado por Medina *et. al.* (1998), os resultados das pesquisas em inovações incrementais de processo representam pequenos, porém significativos, avanços de eficiência. As inovações incrementais trazem sensíveis resultados na redução de custos ou no aumento da produtividade, devidamente refletidos no melhor desempenho do fluxo de caixa operacional da empresa; apóiam-se em base bem estabelecida de conhecimento científico e de engenharia, de acordo com Roussel, Saad e Bohlin (1992). Quanto aos benefícios econômicos finais trazidos por essa categoria de projetos, muito embora sejam percebidos facilmente, mensurar o seu correto valor, levando amplamente em conta as incertezas que os cercam, não tem sido prática bem conduzida pelas equipes de avaliadores de projetos e de carteiras das empresas que investem em P&D. Tal fato se dá exatamente pela falta de amplo conhecimento e, em algum grau, pela presença de uma certa resistência à aceitação de modelos de avaliação baseados em Opções Reais.

Neste estudo, analisa-se uma situação categórica onde um projeto de P&D em uma firma industrial é proposto por sua equipe de pesquisa, com a finalidade de aprimorar a tecnologia de seu processo produtivo, por meio da ampliação em 0,1% do grau de aproveitamento de sua matéria-prima em termos de produto final. A idéia central do estudo é mostrar a aplicabilidade da modelagem proposta por Santiago & Biffano (2005) - posteriormente ampliada em Silva & Santiago(2009) - em projetos de P&D incrementais, com foco em inovações de processo. Primeiramente, são feitas avaliações tratando a incerteza técnica com tempo determinístico, para só depois considerar na avaliação o tempo estocástico gerenciado e verificar o impacto do reconhecimento e tratamento dessa incerteza adicional sobre o valor do projeto.

2.2

Os Modelos de Avaliação

Santiago & Vakili (2005), inspirados em Huchzermeier & Loch (2001), apresentam um modelo de avaliação de projetos de P&D em múltiplos estágios, que considera o valor do projeto como uma função de seu desempenho durante o desenvolvimento, dos seus custos, dos seus requerimentos e do *payoff* de mercado, tal como resumido a seguir.

2.2.1

O Modelo com Tempo Determinístico

A avaliação é feita ao longo de um processo de gestão escalonada em estágios, que correspondem a períodos fixos de tempo, onde são considerados três tipos de opções sobre o projeto: continuar, melhorar, ou abandonar (parar o projeto). Considerando um projeto iniciado no instante $t=0$, e lançado no mercado no instante T , durante o seu desenvolvimento existem pontos de revisão nos instantes $t = 1, \dots, T-1$.

Ao final de cada um destes estágios, o tomador de decisão tem a flexibilidade de exercer otimamente as opções sobre o projeto. Ao final do estágio seguinte, $t+1$, o estado de desempenho do projeto (X_{t+1}) depende do estado de

desempenho ao final do estágio t (X_t), da decisão gerencial (U_t), de um deslocamento ($K(U_t)$, onde $K(\text{continuar}) = 0$ e $K(\text{melhorar}) = 1$), e da incerteza representada por ω_t , uma variável aleatória com média 0 e variância constante. Desta maneira, o estado de desempenho X_{t+1} pode ser representado pela seguinte equação:

$$X_{t+1} = \begin{cases} X_t + k(u_t) + \omega_t, & \text{se } u_t = \text{Continuar, Melhorar} \\ \text{Parar}, & \text{se } u_t = \text{Abandonar} \end{cases}$$

Esta equação definirá a evolução de uma árvore multinomial representativa das possibilidades do processo de desenvolvimento tecnológico: Em outras palavras, espelhará a dinâmica de transição da variável tecnológica. O custo de desenvolvimento de cada estágio é dependente da decisão gerencial, e definido de acordo com a formulação a seguir:

$$c(u_t) = \begin{cases} 0, & \text{se } u_t = \text{Abandonar} \\ c(t), & \text{se } u_t = \text{Continuar} \\ c(t) + \alpha(t), & \text{se } u_t = \text{Melhorar} \end{cases}$$

Para iniciar as atividades do projeto, é necessário um investimento inicial I , incorrido no instante $t=0$. Ao final do projeto, no instante T , o estado de desempenho do produto é X , e a função aleatória de pagamento do mercado é representada por $\Pi(x)$. Caso o produto desenvolvido exceda os requerimentos do consumidor (D), o pagamento de mercado (*payoff*) vai alcançar um valor M . Se o produto não alcançar estes requisitos, recebe um *payoff* de valor m . A modelagem de D é feita segundo uma distribuição de probabilidade, com média μ e desvio padrão σ . Resumindo:

$$\Pi(X) = \begin{cases} M, & \text{com prob. } F(X) \\ m, & \text{com prob. } 1 - F(X) \end{cases}$$

$$\text{onde } F(X) = P(D < X)$$

Assim, a formulação do valor do projeto para cada um dos nós, ao final de cada estágio do desenvolvimento da tecnologia, é dada por:

$$V_t(X_t) = \max_{u_t} \left\{ -c_t(u_t) + \frac{1}{1+r_t} E[V_{t+1}(X_{t+1}(x, u_t, \omega_t))] \right\}$$

para $t=T$, $V_T(X_T)=E[\Pi(x)]$. r_t = taxa de desconto

A opção ótima no nó será a decisão u_t que levar ao máximo valor do projeto. Para os projetos de P&D incrementais, que, sobretudo, visem melhorias marginais de eficiência, a curva de *payoff* é facilmente determinada por meio de uma análise de sensibilidade no fluxo de caixa descontado do empreendimento sobre a variável tecnológica afetada pelo projeto. Muitas vezes, o resultado dessa sensibilidade é uma curva de *payoff* linear, dada a ausência de ganhos de escala em faixas incrementais de variação, e também pelo fato dos modelos de avaliação de fluxo de caixa utilizarem, em geral, funções lineares.

Na Figura 10, o *payoff* apresentado segue o comportamento de uma distribuição normal sobre o desempenho final da tecnologia (X_T). Os nós foram pintados com cores alusivas para destacar a opção ótima, em cada caso: vermelho para “Parar”, verde para “Continuar” e azul para “Melhorar”.

Para determinar o valor da flexibilidade, deve-se calcular a diferença entre os valores do projeto com gerenciamento ativo e com o gerenciamento passivo. Para chegar ao valor do gerenciamento passivo, considera-se que, ao final de um determinado estágio t , não existe nem a opção de abandonar nem a de melhorar o projeto; existe somente a opção de continuar, ou seja, calcula-se o VPL do projeto sem flexibilidade no instante $t=0$. Desta forma, tem-se: Valor da Flexibilidade = Valor do Gerenciamento Ativo – VPL sem Flexibilidade.

Já em Santiago & Bifano (2005) encontra-se uma aplicação do modelo, onde é realizada a avaliação de um projeto de pesquisa que visa ao lançamento de um novo produto: Um oftalmoscópio. Voltaremos a esse modelo com mais detalhes no capítulo 3. Silva & Santiago (2009) acoplam ao modelo a duração estocástica das fases de desenvolvimento com gerenciamento ativo, considerando a incerteza no tempo e aplicando este novo modelo ao projeto avaliado anteriormente em Santiago & Bifano (2005), como detalhado a seguir.

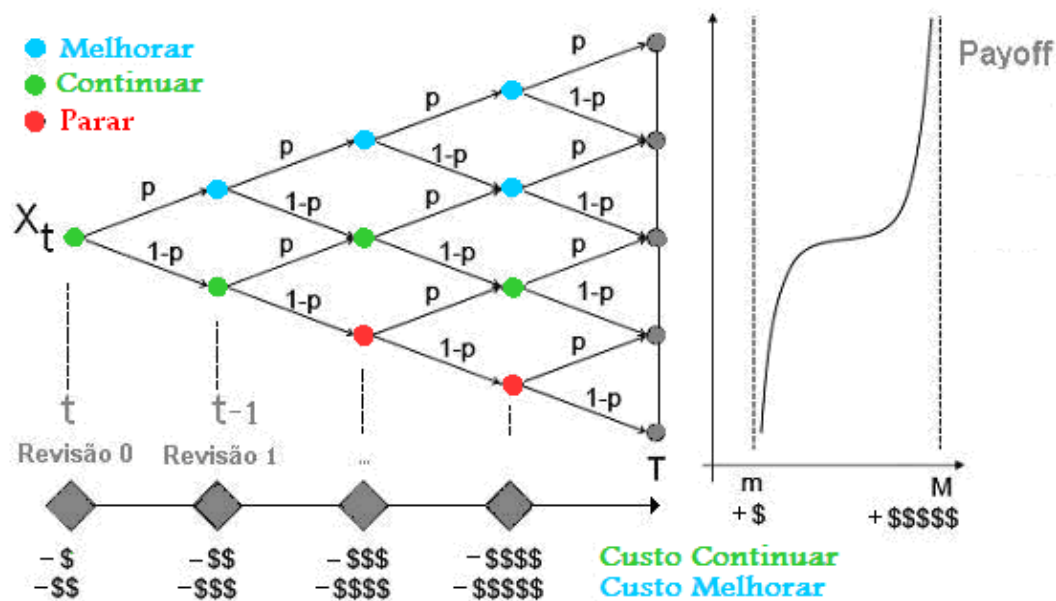


Figura 10: Dinâmica de transição, custos de desenvolvimento e payoff de mercado.

2.2.2

Introduzindo o Tempo Estocástico

A evolução do modelo de Santiago & Bifano (2005) encontra-se detalhada em Silva & Santiago (2009), onde é considerado na valoração do projeto um retorno final que dependerá agora tanto do nível de desenvolvimento alcançado, como do momento de comercialização do produto ou de implantação da tecnologia. O retorno do projeto é obtido em um estágio futuro incerto. Com isso, passa a existir a opção de “acelerar” o desenvolvimento.

Ao final de cada estágio, no portal j ($j=0, \dots, N$) de revisão, o projeto será caracterizado por um estado de desenvolvimento representado por $y_j = (x_j, t_j)$, onde x_j é o nível de desenvolvimento que se espera alcançar no final do projeto, após a realização das j primeiras etapas do mesmo, e t_j é o instante de tempo da revisão. A opção de acelerar é a que surge naturalmente com o tratamento estocástico do tempo em cada estágio. Na dinâmica de transição, o estado seguinte será função do estado atual somado às incertezas, tanto no nível de desenvolvimento quanto na duração da etapa, denominadas ξ_i . Assim, tem-se que

o estado de desenvolvimento Y_{j+1} é dado pela expressão $Y_{j+1} = \varphi(Y_j, u_j, \xi_j)$, e segue os seguintes critérios:

$$Y_{j+1} = \begin{cases} \text{Parar,} & \text{se } u_j = \text{abandonar} \\ Y_j + \begin{pmatrix} \omega_j \\ t_j \end{pmatrix}, & \text{se } u_j = \text{continuar} \\ Y_j + \begin{pmatrix} I_j + \omega_j \\ t_j \end{pmatrix}, & \text{se } u_j = \text{melhorar} \\ Y_j + \begin{pmatrix} \omega_j \\ t_j - A_j \end{pmatrix}, & \text{se } u_j = \text{acelerar} \end{cases}$$

A partir da equação acima, define-se $\varepsilon_j = (\omega_j, t_{j+1})^t$, onde ω_j é a variável aleatória (v.a.) que representa a incerteza técnica, e t_{j+1} é uma v.a. que representa a duração da próxima fase, definida por simulação de Monte Carlo no algoritmo de cálculo representado mais adiante. Em cada portal de revisão j , o tempo é dado por: $t_j = \sum_{k=1}^{j-1} t_k$, onde t_k ($k=k-1, \dots, N$) são v.a. independentes; I_j é uma constante que representa o incremento associado à opção “melhorar”.

A_j representa uma redução no tempo esperado de duração da fase. A função *payoff* do projeto passa a ser dada por $\Pi(y_N) = \Pi(x_N, t_N)$. Para um dado $t_n = T$, supõe-se que a função *payoff* $\Pi(x_N, T)$ é crescente em x_N e que, para cada nível de desempenho alcançado ao final do projeto, $x_n = X$, a função *payoff* $\Pi(x_N, t_N)$ irá usualmente decrescer com a postergação do tempo de lançamento, devido ao já não completo preenchimento das necessidades de mercado em tempo de lançamento atrasado. Os custos de desenvolvimento passam a ser representados por:

$$C_k(Y_j, u_j, t_k) = \begin{cases} 0, & \text{se } u_j = \text{abandonar} \\ K_k(t_k, u_j), & \text{se } u_j = \text{continuar} \\ K_k(t_k, u_j) + \alpha_k, & \text{se } u_j = \text{melhorar} \\ K_k(t_k, u_j) + \beta_k, & \text{se } u_j = \text{acelerar} \end{cases}$$

Quanto ao modelo de programação dinâmica: Seja $G_j(y_j, u_j)$ a função valor esperado quando o controle u_j é aplicado, no estado y_j , representado pela seguinte equação:

$$G(Y_j, u_j) = \begin{cases} 0, & u_j = \text{abandonar} \\ E_{t_j} \left[E_{\omega_j | t_j} \left[-C_{j+1}(Y_j, u_j, t_{j+1}) + V_{j+1}(Y_{j+1}) \mid t_j \right] \right] & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Na equação acima, V_{j+1} representa o valor do projeto no estágio de decisão $j+1$, calculado por meio da expressão:

$$V_j(y_j) = \max_{u_j \in \Theta} G_j(y_j, u_j)$$

Onde Θ representa o conjunto de controles disponíveis ($\Theta = \{\text{Abandonar, Continuar, Melhorar, acelerar}\}$). Finalmente, incorporando a condição de contorno do tempo de comercialização, $V_n(y_n) = \Pi(y_n)$, pode-se escrever o modelo de programação dinâmica como:

$$\begin{aligned} &\text{Objetivo: } V_0 \\ &\text{s.a.: } V_n(y_n) = \Pi(y_n) \\ &V_j(y_j) = \max_{u_j \in \Theta} G_j(y_j, u_j) \end{aligned}$$

Com a introdução do tempo estocástico, já não há mais como se ter uma visão gráfica simplificada do projeto como um todo, tal como mostrado na Figura 10, no entanto, é possível se ter uma visualização gráfica simples do que pode acontecer ao final do estágio, no portão de decisão seguinte, em termos das decisões ótimas para cada ponto no domínio desempenho vs. Tempo de duração do estágio, tal como é mostrado na Figura 11.

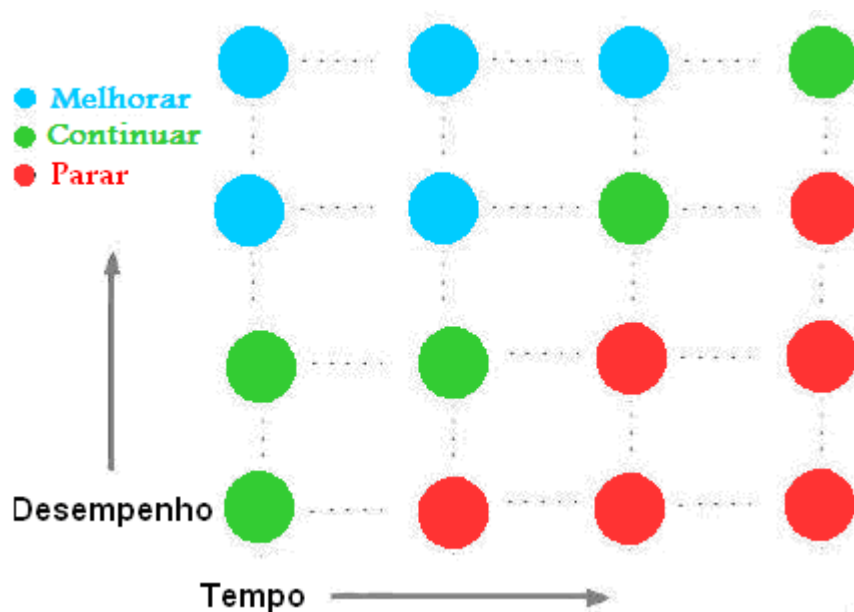


Figura 11: Visão gráfica dos prováveis nós a serem atingidos no estágio seguinte.

Neste trabalho, apresenta-se a aplicação conceitual desses modelos ao caso de um projeto de P&D incremental, diferentemente do que os autores acima citados visaram originalmente, que foi o lançamento de um novo produto no mercado. Será avaliado um projeto de P&D que objetiva o aprimoramento de um processo, levando em consideração inicialmente um tempo determinístico, para depois introduzir-se gradativamente uma variabilidade na duração de suas fases.

Portanto, visto o tempo inicialmente de forma determinística e, posteriormente, de forma estocástica, poder-se-á verificar o que aconteceu com a avaliação do projeto sob essas diferentes óticas.

2.3

A Firma e Seu Mercado

O caso em estudo está baseado numa experiência real de avaliação. A firma faz parte de uma indústria extrativa que processa matéria-prima mineral em estado sólido, a qual é transformada basicamente dois tipos de produto em estado líquido, ofertados em mercado com elevada demanda e baixo grau de competição. A matéria-prima é extraída a um custo relativamente alto, por envolver as atividades

de mineração em si e, também, as atividades de recuperação ambiental das áreas exploradas, em mina a céu aberto de propriedade da empresa.

A totalidade da produção é vendida no mercado, praticamente sem a formação de estoques; a margem operacional, em função principalmente dos custos operacionais, é consideravelmente comprimida, o que motiva fortemente os investimentos em pesquisas sobre tecnologias de processo que possam incrementá-la. A firma tem grande participação em seu mercado de atuação, mas não tem o poder de determinar o preço final de seus produtos, devido à dinâmica regulatória do setor em nível nacional, que permite que os preços internos sejam arbitrados pelos internacionais, mais competitivos. Portanto, ela pode ser considerada uma tomadora de preços.

Os produtos líquidos oferecidos pela firma são produzidos em larga escala no mercado a partir de outra fonte de matéria-prima - a principal na verdade, em nível nacional e mundial – o que proporciona margens operacionais mais generosas às empresas que com ela operam. A existência da firma como indústria, no entanto, se justifica por outros fatores: Além do forte apelo ambiental numa indústria tradicionalmente devastadora, representa uma interessante alternativa estratégica em relação à fonte principal, que poderá tornar-se escassa em algum momento nas próximas décadas. Referimo-nos, em particular, à indústria do Xisto Betuminoso.

Da mesma forma, o aprimoramento tecnológico atual no processamento dessa matéria-prima se mostra igualmente atraente num cenário futuro aonde ela venha a adquirir maior relevância no contexto mundial. A empresa, que detém a tecnologia do processo produtivo como um ativo estratégico, já desperta grande interesse em outros grandes *players* da indústria, além de estar localizada num país que detém uma das maiores reservas conhecidas desse tipo de matéria-prima no mundo.

2.4

O Projeto de P&D

O atual estágio tecnológico de seu processo produtivo permite processar uma carga de matéria-prima bruta sólida da ordem de 125.000 toneladas/mês, com rendimento de aproximadamente 8%, ou seja, com cerca de 10.000 toneladas/mês de produto líquido final, na proporção de 80% de um produto A, e 20% de um produto B (Figura 12).

O projeto de Pesquisa e Desenvolvimento proposto pelo departamento de pesquisas da empresa visa melhorar a eficiência técnica do processo produtivo por meio do aperfeiçoamento de um simulador de processo, baseado em estudos de fluidodinâmica computacional.

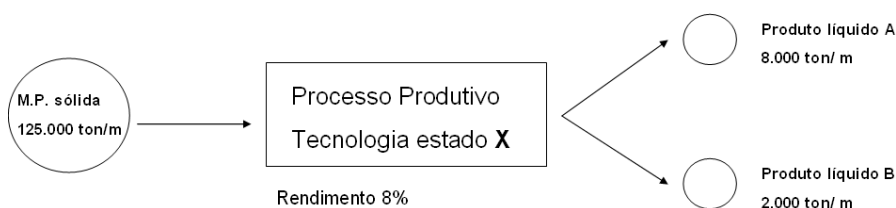


Figura 12: Tecnologia da firma em seu estado atual.

A tecnologia em estado “X” foi desenvolvida e patenteada pela própria empresa. Espera-se com o novo desenvolvimento chegar à tecnologia “X’”, elevando em cerca de 0,1% o rendimento de sua produção, medida em termos da conversão de matéria-prima sólida em produto final líquido, sem quaisquer acréscimos significativos em sua estrutura de custos: Ou seja, com custo marginal nulo. Assim, o projeto prevê um aumento da ordem de 10 toneladas/mês na produção líquida total (Figura 13).



Figura 13: Projeto de P&D visando melhorar a tecnologia.

O projeto de pesquisa foi dividido em 3 estágios com um ano de duração, consistindo cada estágio no que se segue:

Estágio 1: Levantamento e estudo de modelos matemáticos de fluidodinâmica mais avançados, que dêem suporte ao dimensionamento das variáveis do processo. Criação de algoritmos sob medida, com parametrizações muito específicas;

Estágio 2: Implementação de modelos para a otimização das variáveis e criação de interfaces gráficas amigáveis em alta resolução. Realização de simulações preliminares em fluidodinâmica;

Estágio 3: Realização de testes em planta piloto e ajustes operacionais finais, e de documentação e treinamento das equipes técnicas envolvidas no processo;

2.4.1

A Incerteza Técnica

De acordo com sua proposição preliminar, novos modelos matemáticos serão incorporados ao simulador de operação do reator principal, de maneira que os parâmetros de controle dos processos físico-químicos que acontecem em seu interior possam ser ajustados de forma mais otimizada, e melhor acompanhados. Tal alteração possibilitará intervenções mais eficazes que resultarão no ganho esperado de produtividade e na maior confiabilidade dos sistemas. Dada a natureza incerta da atividade de P&D, mesmo em nível incremental, é provável que os melhoramentos vislumbrados aconteçam de uma forma distinta do esperado, resultando em níveis de rendimento final tanto melhores como piores em relação ao estado da tecnologia inicialmente pretendido.

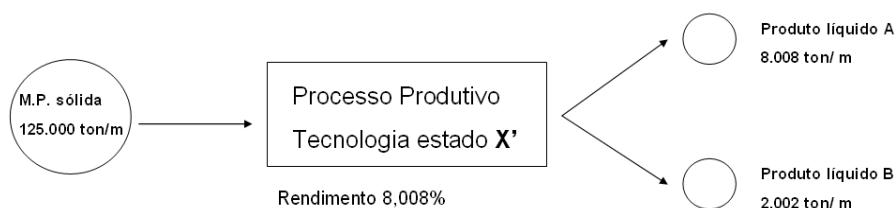


Figura 14: Tecnologia da firma no estado pretendido.

Como as modificações a serem implementadas estão em certo grau sob o controle do grupo de pesquisa, é possível acompanhar o desempenho dos novos modelos em cada estágio, fazendo com que a incerteza técnica seja de fato endógena e vá sendo “resolvida” gradativamente, possibilitando o exercício ótimo de opções ao longo dos estágios do desenvolvimento (continuar, melhorar, parar ou acelerar o projeto).

Assim, da mesma forma como será possível alcançar, de acordo com a expectativa preliminar dos pesquisadores, uma tecnologia final com rendimento 0,1% superior à atual, poder-se-á chegar a níveis finais mais elevados, como 0,2%, 0,3%, e até 0,4%, de acordo com a possibilidade de, sob investimentos adicionais no projeto, alcançarem-se patamares técnicos superiores. Da mesma forma, pelo lado negativo da incerteza, poder-se-á chegar a níveis inferiores de desempenho, como 0,05%, ou mesmo nulos ou negativos em relação ao estado atual.

A modelagem da evolução da variável técnica (x_t), que representa a incerteza ao longo do desenvolvimento, contempla um ponto de partida no patamar pretendido, qual seja, 0,1%, e uma evolução a cada estágio da ordem de 0,05%, no caso da escolha da opção de continuar, e de 0,05% adicionais (0,1% no total), no caso da escolha da opção de melhorar. Assim, a árvore de incerteza sobre a variável técnica aponta para nós terminais que vão de desempenhos excepcionais, como 0,4%, até desempenhos decepcionantes, como -0,05%, de acordo com a Figura 15.

Na verdade, não existe uma noção precisa por parte de avaliadores e pesquisadores a respeito dos parâmetros que norteiam a evolução da árvore de incerteza. Parte-se de um ponto inicial que representa uma expectativa factível por parte dos pesquisadores, e, dependendo do nível de incerteza sobre os estágios finais possíveis, calibram-se os parâmetros que definem os incrementos das opções de continuar e melhorar. Neste caso, em particular, há uma assimetria favorável aos prováveis estágios de sucesso (acima de 0,1%), refletindo um viés de alto desempenho na expectativa do grupo de pesquisa.

Outro parâmetro que afeta o cálculo final de valor associado a cada um dos nós da árvore é a probabilidade de sucesso, algo que também não deixa de ser guiado por uma forte componente intuitiva. Trata-se de um espaço mais de incerteza do que de risco, pois não se conhece perfeitamente o espaço probabilístico de eventos finais ligados a essa pesquisa. Com base nas descrições feitas pelos pesquisadores sobre a incerteza associada à pesquisa, este parâmetro foi estabelecido subjetivamente em 50%.

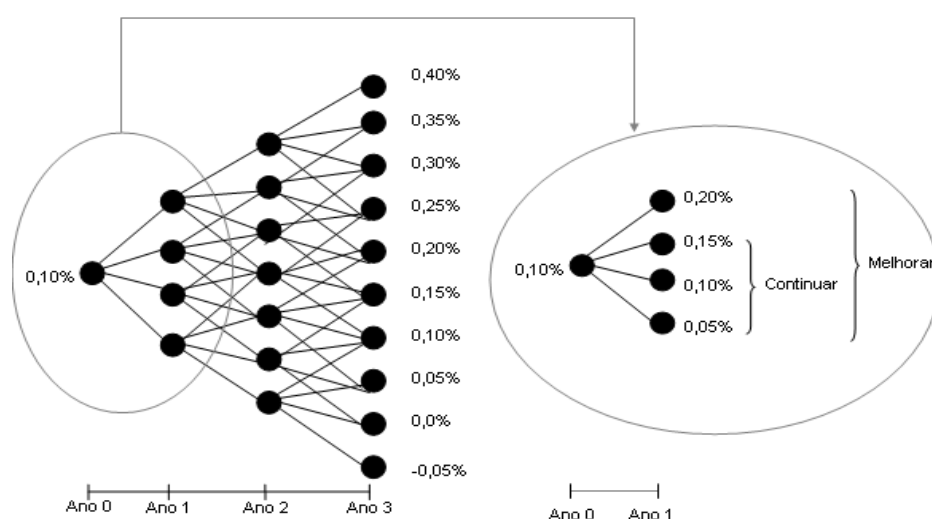


Figura 15: Árvore de incerteza: dinâmica de transição do nível de ganho no rendimento, com destaque para os valores possíveis do gate 0 para o gate 1, de acordo com a opção.

2.4.2

A Incerteza no Tempo de Desenvolvimento

O tempo de desenvolvimento dos novos modelos, assim como sua implementação computacional em termos de cálculos, interfaces amigáveis, saídas gráficas em alta resolução, treinamento de técnicos etc, está sujeito à variações em função de diversos fatores. A duração de cada estágio da pesquisa, portanto, não será tratada unicamente de forma determinística, como é feito usualmente em modelos de avaliação, mas admitindo-se a possibilidade de atrasos e antecipações. Os projetos de P&D, devido à incerteza técnica, principalmente, são mais afetados por desvios no dimensionamento do tempo.

Reconhecer e tratar essa dificuldade na avaliação econômica do projeto é uma necessidade antiga. Como mencionado anteriormente, são feitas duas avaliações distintas: Uma com o tempo determinístico e outra com o tempo estocástico, com isso será possível verificar o efeito de considerar o tempo de uma forma mais próxima à que acontece de fato durante a realização de um projeto.

Com base nas informações levantadas junto à empresa, o planejamento do projeto prevê que ele aconteça em 3 anos, com uma subdivisão em 3 estágios de 1 ano. Da mesma forma como o desenvolvimento pode acontecer com um ano em cada estágio, existe a possibilidade de promover-se uma antecipação, assim como podem ocorrer atrasos em relação ao tempo esperado. Dividindo-se o ano em 4 trimestres (que é uma forma razoável de discretização do período), é plausível supor que as antecipações ocorram em até um trimestre por estágio e os atrasos, por sua vez, em até dois trimestres.

Observa-se, na prática, que os projetos do departamento de pesquisas da empresa em questão seguem essa variabilidade com respeito ao tempo, sendo mais provável o atraso que a antecipação. Por isso, há assimetria na distribuição, pesando mais para tempos superiores. Assim, a incerteza no tempo de desenvolvimento foi modelada na forma de uma distribuição de probabilidades triangular, com valor mínimo igual a 3, máximo igual a 6 e moda igual a 4 trimestres.

Em termos de tempos finais, considerando as três distribuições em conjunto, tem-se um tempo mínimo para o projeto de 9 trimestres ou 2 anos e um mês, um tempo máximo de 18 trimestres ou 4 anos e 6 meses, e um tempo modal de 12 trimestres ou 3 anos. Fazendo a discretização do tempo em anos por trimestres, e considerando o deslocamento de um trimestre da opção de acelerar, em todos os estágios, tem-se na dimensão tempo um total de 13 possibilidades finais que, juntamente com os desempenhos de lançamento, formarão o domínio da função *payoff* que será detalhada mais adiante.

Em visão simplificada, a idéia gráfica do integral tratamento da incerteza é representada pela Figura 16.

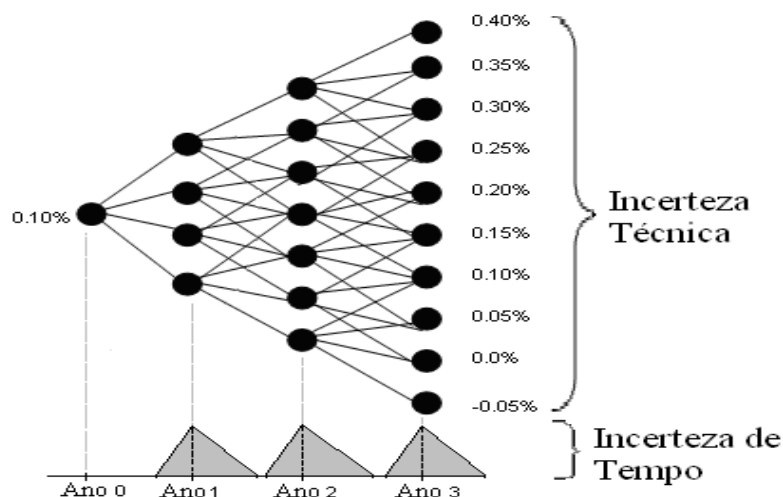


Figura 16: Árvore de incerteza com incerteza no tempo.

2.4.3

Custos de Desenvolvimento

Cada estágio da pesquisa tem os custos que lhes são próprios. Há, portanto, uma configuração de custos associada a cada forma como é considerado o fator de incerteza tempo na avaliação do projeto. A Tabela 1 resume essa distribuição dos custos. Com isso, quando o tempo é considerado de forma estocástica, é necessário detalhar mais os custos em termos das opções de decisão configuradas, levando em consideração componentes fixos e variáveis.

Em geral, os custos de desenvolvimento no modelo determinístico correspondem aos custos fixos no modelo estocástico, somados com os custos variáveis na duração modal. A componente variável dos custos no modelo estocástico está diretamente ligada à variação do tempo de duração previsto para cada estágio.

No caso da opção acelerar, onde se considera que haverá um deslocamento de um trimestre na distribuição de tempo do estágio, a magnitude dos custos associados ao exercício dessa opção diz respeito ao esforço de planejamento da antecipação do estágio seguinte. Com essa forma de distribuição dos custos, não

fica muito clara a noção de quanto custará o projeto, dadas as incertezas e as opções disponíveis para lidar com elas ao longo do tempo.

Contudo, a melhor referência para uma noção sobre os custos totais do projeto são os valores considerados para o tratamento de tempo determinístico, que informam que o projeto custará entre R\$ 400.000,00 e R\$ 640.000,00, a depender das opções escolhidas (continuar ou melhorar, vide Tabela 1).

Fazendo a mesma consideração sobre o tratamento estocástico do tempo, esses limites seriam entre R\$ 390.000,00 (opção de acelerar em todos os estágios) e R\$ 795.000,00 (opção de melhorar com atraso máximo em todos os estágios). Detalhando a composição desses custos⁷:

Limite inferior => R\$ 220.000,00 + (R\$ 20.000,00 + R\$ 20.000,00 + R\$ 50.000,00) = **R\$ 310.000,00** (custo total de continuar) + (R\$ 30.000,00 + (R\$ 20.000,00 + R\$ 20.000,00 + R\$ 10.000,00)) = **R\$ 80.000,00** (variação da opção acelerar), totalizando R\$ 390.000,00 (R\$ 310.000,00 + R\$ 80.000,00);

Limite superior => R\$ 220.000,00 + (R\$ 60.000,00 + R\$ 60.000,00 + R\$ 150.000,00) = **R\$ 490.000,00** (custo total de continuar) + (R\$ 110.000,00 + (R\$ 60.000,00 + R\$ 60.000,00 + R\$ 75.000,00)) = **R\$ 305.000,00** (variação da opção melhorar), totalizando R\$ 795.000,00 (R\$ 490.000,00 + R\$ 305.000,00);

2.4.4

Curva de Payoff

O payoff recebido pelo lançamento da tecnologia é dado pelo impacto da aplicação desta sobre o fluxo de caixa operacional bruto da empresa, não sendo considerados os efeitos de impostos sobre as vendas adicionais da firma. Isso se justifica na medida em que a nova tecnologia promoverá o aumento sustentável de produção ao longo do tempo com custos marginais nulos.

⁷ Vide formulação de custos da página 47.

Os valores de *payoff* são particularmente sensíveis ao tempo de lançamento ou implantação do projeto. Valores superiores acontecem quando o tempo de lançamento do novo processo produtivo for antecipado em relação ao momento esperado. Da mesma forma, valores inferiores acontecerão em caso de atraso.

Os valores superiores e inferiores de *payoff* em relação ao valor do tempo modal foram calculados aplicando-se um fator fixo de 6%, descontando o valor em caso de atraso, e capitalizando-o em caso de antecipação, refletindo a sensibilidade dos gestores do processo produtivo quanto ao custo de oportunidade ligado a essa variabilidade. Os valores de *payoff* calculados para os diversos níveis de eficiência consideraram uma vida útil de 5 anos seguintes ao de seu lançamento.

Tabela 1: Distribuição dos custos do projeto por estágio e por opção.

Estágio	Tratamento do Tempo/ Tipo de Custo	Opções (valores em R\$)			
		Continuar	Melhorar	Acelerar	Parar
1	Determinístico	80.000,00	60.000,00	-	-
	Estocástico				
	Fixo	40.000,00	20.000,00	10.000,00	-
	Variável (por Trimestre)	10.000,00	10.000,00	10.000,00	-
2	Determinístico	120.000,00	80.000,00	-	-
	Estocástico				
	Fixo	80.000,00	40.000,00	10.000,00	-
	Variável (por Trimestre)	10.000,00	10.000,00	10.000,00	-
3	Determinístico	200.000,00	100.000,00	-	-
	Estocástico				
	Fixo	100.000,00	50.000,00	10.000,00	-
	Variável (por Trimestre)	25.000,00	12.500,00	5.000,00	-
Total	Determinístico	400.000,00	240.000,00	-	-
	Estocástico				
	Fixo	220.000,00	110.000,00	30.000,00	-
	Variável (por Trimestre)	45.000,00	32.500,00	25.000,00	-

Fonte: Elaboração própria.

Como o projeto trata, essencialmente, de um *software* que incorpora novos modelos matemáticos, esse tempo de depreciação da tecnologia é razoável. No caso da avaliação com tempo determinístico, há um valor de *payoff* para cada nó terminal, enquanto que para o caso estocástico há 13 valores correspondentes a cada tempo final projetado. Portanto, no primeiro caso são 10 valores de *payoff*, enquanto que no segundo são 130. Cada valor de *payoff* representa um VPL incremental sobre o fluxo de caixa operacional bruto da firma provocada pela nova tecnologia, em termos de receitas adicionais. Cada valor acaba sendo um

lucro adicional em função dos custos marginais serem nulos. Para os preços, foram realizadas projeções neutras ao risco para os dois produtos líquidos tipos A e B, por meio de modelos de séries temporais aplicados sobre seus valores históricos mensais em 5 anos (do ano(-4) ao ano(0)). A necessidade de uma precificação neutra ao risco, assim como a aplicação de uma taxa de desconto neutra ao risco, nesse tipo de avaliação, é provada em Dias (2005a), anexo 7.4. Para o produto líquido A, o modelo identificado como ótimo foi um ARIMA (0,1,0)⁸, que projetou um preço futuro pontual de 0,783 R\$/ton para os 12 meses seguintes ao tempo de lançamento da tecnologia. Para uma descrição completa e exaustiva de modelos de previsão de séries temporais, consultar Box & Jenkins (1976), Souza & Camargo (2004) e Barros (2004).

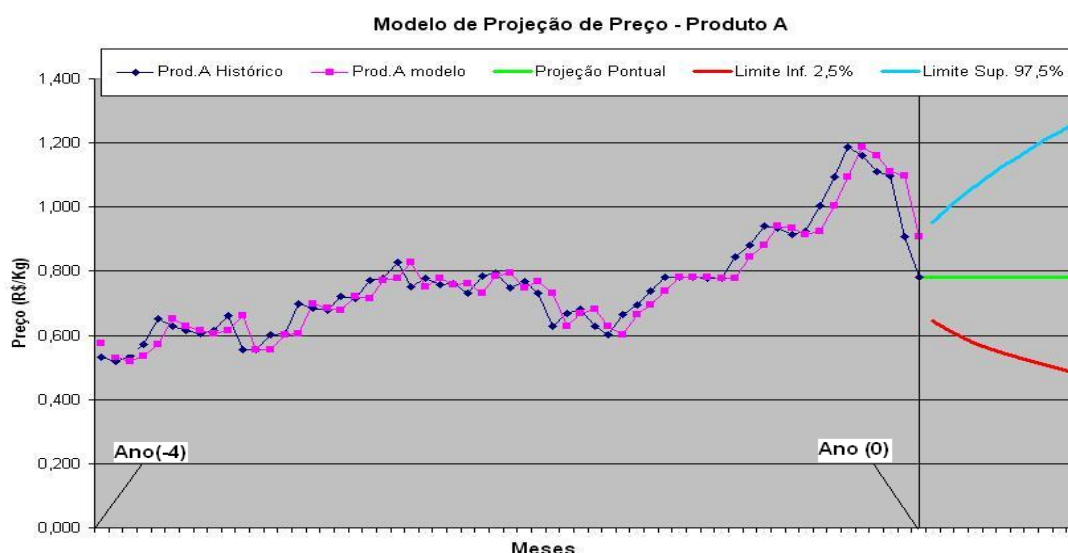


Figura 17: Projeção de preço para o produto A.

No caso do produto B, o modelo ótimo foi um amortecimento exponencial com sazonalidade, que projetou um preço médio de 0,736 R\$/ton para o mesmo período.

⁸ Modelo autoregressivo (AR), integrado ou diferenciado (I), com média móvel (MA), com uma única diferenciação na série, e sem elementos autoregressivos e de média móvel.

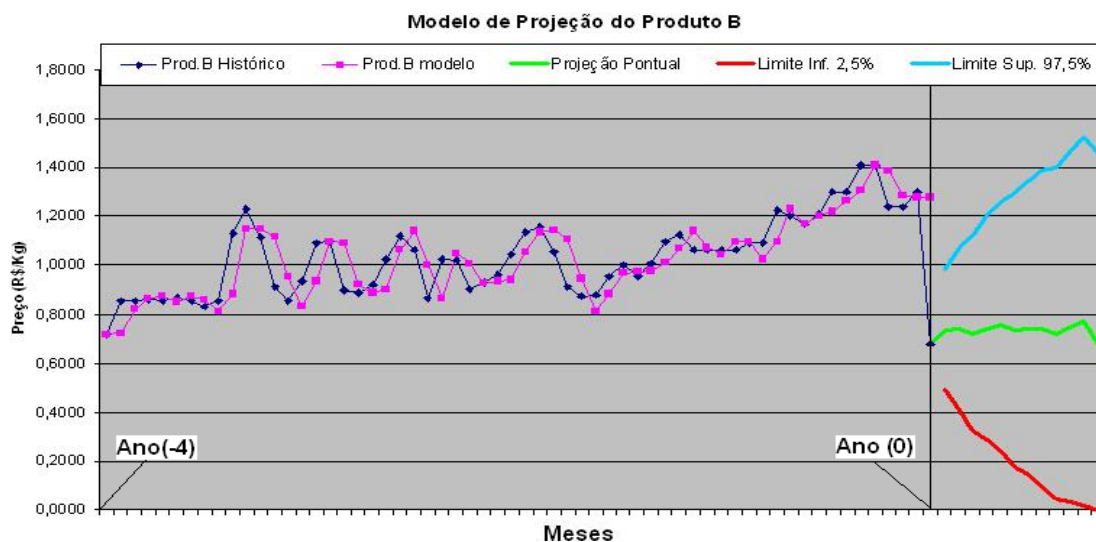


Figura 18: Projeção de preço para o produto B.

Com isso, para cada nível de desempenho final tem-se a produção adicional anual de cada produto e, por consequência, o lucro adicional anual sobre o fluxo de caixa, uma vez que os custos marginais são nulos (Tabela 2).

Tabela 2: Payoff no caso de tempo determinístico.

Performance (%)	Produção (Ton.)		Lucro (US\$)			Variação em 5 anos (US\$)	
	A	B	A	B	Total	Lucro	VPL 6% p.a
0.40	384	96	300,672	70,656	371,328	1,856,640	1,444,340.00
0.35	336	84	263,088	61,824	324,912	1,624,560	1,263,790.00
0.30	288	72	225,504	52,992	278,496	1,392,480	1,083,270.00
0.25	240	60	187,920	44,160	232,080	1,160,400	902,710.00
0.20	192	48	150,336	35,328	185,664	928,320	722,150.00
0.15	144	36	112,752	26,496	139,248	696,240	541,630.00
0.10	96	24	75,168	17,664	92,832	464,160	361,080.00
0.05	48	12	37,584	8,832	46,416	232,080	180,560.00
0.00	0	0	0	0	0	0	0
-0.05	-48	-12	-37,584	-8,832	-46,416	-232,080	-180,560.00

Fonte: Elaboração própria.

Não serão feitas maiores considerações quanto à escolha e cálculo dos parâmetros dos modelos de séries temporais. Considera-se, apenas, que os valores projetados por esses métodos são preços de longo prazo neutros ao risco, válidos para o cálculo do VPL incremental durante a vigência da nova tecnologia. Acrescenta-se, também, que foi adotada para esse VPL uma taxa de desconto livre de risco de 6% a.a (ver proposição 4 de Dias, 2005^a, p.135-136, ou o anexo 7.4).

Por fim, calcula-se o VPL das variações em 5 anos de operação da nova tecnologia, que virá a ser o payoff de cada desempenho no caso de tempo determinístico. Os dados obtidos estão resumidos na Tabela 2: tem-se as variações anuais de quantidade por produto e lucro (produção x preço longo prazo), o lucro acumulado em 5 anos e o VPL correspondente a 6% a.a.. Para o caso estocástico, teremos um vetor de payoff para cada tempo final possível ao projeto. O payoff do tempo modal corresponde ao sétimo dos tempos estocásticos finais. A partir dele serão calculados os payoffs de tempos anteriores (antecipados) em relação ao tempo modal, que serão maiores do que o payoff do tempo modal, assim como os payoffs de tempos superiores (postecipados), serão menores que os payoffs do tempo modal.

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3, e representados visualmente na Figura 19. As cores do gráfico do *payoff* foram definidas de forma a estabelecer uma correspondência com as cores do gráfico do modelo decisório visto mais adiante, que vão do vermelho (menos interessante) ao azul (mais interessante).

Tabela 3: *Payoffs* tempo estocástico (coluna correspondente ao tempo determinístico em destaque), em R\$1.000,00.

Desempenho	Tempos finais em anos												
	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5
0,40	2.048,82	1.932,85	1.823,45	1.720,23	1.622,86	1.531,00	1.444,34	1.357,68	1.276,22	1.199,65	1.127,67	1.060,01	996,41
0,35	1.792,71	1.691,24	1.595,51	1.505,19	1.419,99	1.339,62	1.263,79	1.187,96	1.116,68	1.049,68	986,70	927,50	871,85
0,30	1.536,64	1.449,66	1.367,60	1.290,19	1.217,16	1.148,27	1.083,27	1.018,27	957,18	899,75	845,76	795,02	747,32
0,25	1.280,51	1.208,03	1.139,65	1.075,14	1.014,28	956,87	902,71	848,55	797,63	749,78	704,79	662,50	622,75
0,20	1.024,38	966,40	911,70	860,09	811,41	765,48	722,15	678,82	638,09	599,81	563,82	529,99	498,19
0,15	768,31	724,82	683,80	645,09	608,58	574,13	541,63	509,13	478,58	449,87	422,88	397,50	373,65
0,10	512,20	483,21	455,86	430,05	405,71	382,74	361,08	339,42	319,05	299,91	281,91	265,00	249,10
0,05	256,13	241,63	227,95	215,05	202,88	191,39	180,56	169,73	159,54	149,97	140,97	132,51	124,56
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,05	-124,56	-132,51	-140,97	-149,97	-159,54	-169,73	-180,56	-191,39	-202,88	-215,05	-227,95	-241,63	-256,13

Fonte: Elaboração própria.

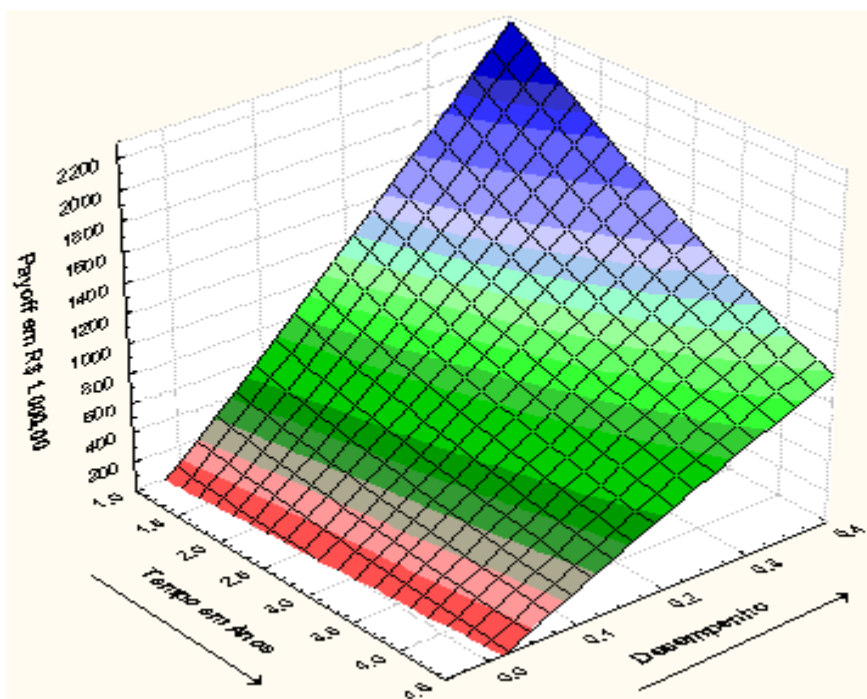


Figura 19: *Payoff* do projeto no domínio tempo-desempenho⁹.

2.5

Resultados da Avaliação

O Projeto foi avaliado por diversas óticas no que diz respeito ao tratamento de suas principais fontes de incerteza. O modelo básico traz uma idéia do valor do projeto ao tratar-se unicamente a incerteza técnica, considerando-se fixo ou determinístico o seu tempo de desenvolvimento e, por consequência, seus custos.

Essa visão coincide com aquela que trata o tempo estocasticamente, porém considerando-se a priori que os tempos serão cumpridos em durações fixas de acordo com a moda das distribuições de probabilidade atribuídas aos estágios. Inicialmente, verificar-se-á o que ocorre quando é tratado o tempo de forma determinística, ou seja, com durações fixas, adotando-se a visão determinística padrão, que considera os 3 estágios com duração de 1 ano, ou 4 trimestres.

⁹ Para uma visualização do *payoff* em 2D, nos domínios tempo em desempenho, individualmente, vide gráficos do anexo 7.6.

A seguir, variam-se esses tempos de duração de acordo com aqueles previstos na parametrização do modelo estocástico, em termos de tempo mínimo, máximo e acelerado, em todos os estágios. É considerada uma taxa de desconto livre de risco na ordem de 6 % a.a..

2.5.1

Modelo Com Visão de Tempo Determinístico

A Figura 20 representa o que o modelo básico oferece em termos de valoração do projeto: Tratamento do desenvolvimento da variável técnica trabalhada pelo projeto em duração determinística do tempo, de acordo com o que seria mais provável. É possível a visualização completa da avaliação, detalhando o desenrolar da incerteza técnica ao longo dos 3 estágios fixos de um ano (4 trimestres, ou 4T) de duração previstos.

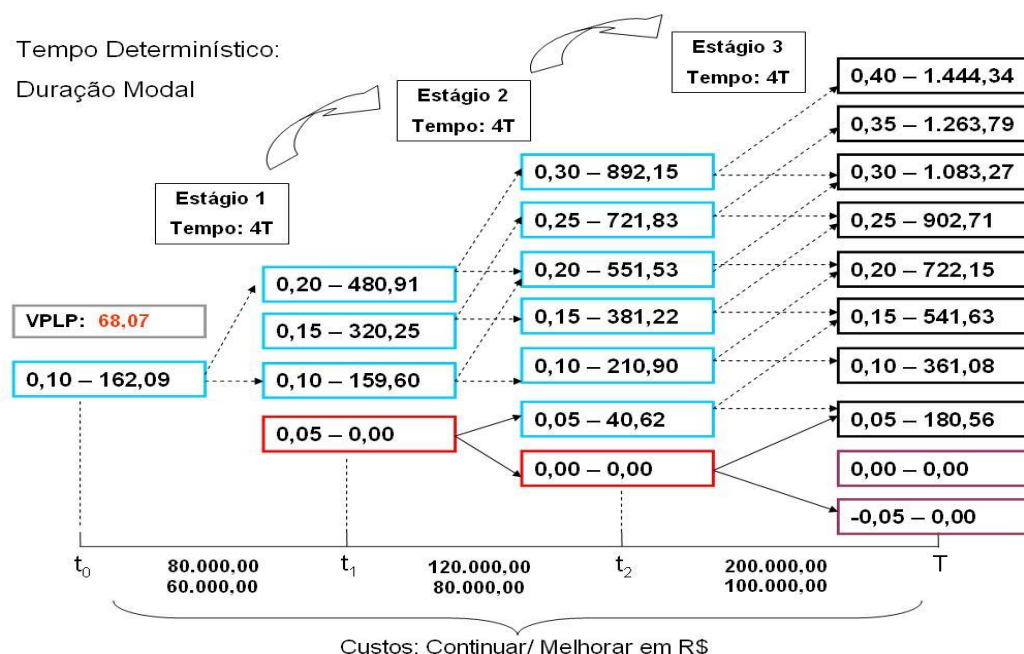


Figura 20: Avaliação do projeto no modelo determinístico, com a realização fixa do tempo na moda da distribuição.

Os nós de incerteza (retângulos) trazem os valores do desempenho técnico prévio a cada estágio, e seus respectivos valores presentes líquidos ativos (VPLA, em R\$ 1.000,00), assim denominados para diferenciá-los do VPL passivo (VPLP) do projeto, valor que não contempla nenhum tratamento de incerteza, ou seja,

valor que assume que o projeto, uma vez iniciado, será “continuado” invariavelmente até o último estágio.

O nó original, ou do ano 0, traz o VPLA do projeto todo, representando o valor que irá definir se este deverá ser ou não iniciado, pela mesma regra fundamental do método VPL, que orienta iniciar o projeto caso seu valor seja maior que 0. Os nós foram pintados com cores que significam a decisão ótima recomendada pelo modelo ao gestor do projeto: Azul quando a decisão ótima for “melhorar”; verde quando for “continuar”, e vermelho quando for “parar”. Dos nós marcados na cor azul partem setas pontilhadas para os nós mais prováveis de serem atingidos no estágio seguinte, enquanto dos demais (verdes ou vermelhos) partem setas cheias, apenas para um destaque visual. Ao longo do eixo do tempo estão discriminados os custos dos estágios em R\$ 1,00 associados às escolhas de “continuar”, na primeira linha, e “melhorar”, na segunda, os custos de “parar” são zero por premissa. Nesse tratamento determinístico do tempo não é contemplada a opção “acelerar”. Verificamos que o projeto nessa visão é viável sob a decisão ótima de “melhorar” em t_0 .

O que se desenrola ao longo da árvore é uma idéia prospectiva dos prováveis estados da variável técnica e o respectivo valor que o projeto vai recebendo, ao longo de sua existência, até atingir um dos estados finais, correspondente ao de seu lançamento em T, ou implantação, quando então assume um VPL já sem incerteza técnica. O valor no *gate* 0 (nó inicial) representa o quanto a implantação do projeto de pesquisa adiciona à empresa com a sua execução, ou seja, nesse caso com o tempo determinístico de 1 ano ou 4 trimestres modais da visão estocástica, o montante do valor adicionado é igual a R\$ 162.090,00. O VPLP correspondente é de -R\$ 68.070,00, ou seja, caso se assuma que o projeto seja sempre “continuado”, independentemente do valor auferido pelo patamar técnico alcançado em cada estágio, o projeto destruiria valor da empresa. Esses resultados implicam num valor para a flexibilidade da ordem de R\$ 230.160,00 (R\$ 162.090,00 - (-R\$ 68.070,00)), a um custo total de decisão da ordem de R\$ 140.000,00 (R\$ 80.000,00 + R\$ 60.000,00)¹⁰. A idéia básica com

¹⁰ Ver formulação de custos no capítulo 2.2.1.

relação às alternativas do modelo é prover uma avaliação inicial que oriente adequadamente a tomada de decisão de iniciar ou não o projeto, no tempo t_0 . Ao longo da vida do projeto, novas avaliações devem ser realizadas, atualizando a visão futura em termos do desenvolvimento técnico, *payoff* de mercado, custos etc, para novas tomadas de decisão em t_1 e t_2 . Por fim, uma decisão no tempo terminal T está direcionada à implantação do desenvolvimento tecnológico.

Examina-se agora (Figura 21) como seria o valor do projeto assumindo que seriam cumpridos os tempos relativos aos mínimos das distribuições de frequência modeladas para o caso estocástico. Teríamos então uma duração fixa do projeto em 3 estágios de 3 trimestres, totalizando 9 trimestres. A análise indica que há um ganho de valor associado à redução de custos variáveis não incorridos no trimestre poupado em cada estágio, assim como pelo *payoff* aumentado em função da antecipação do tempo de lançamento ou implantação da tecnologia.

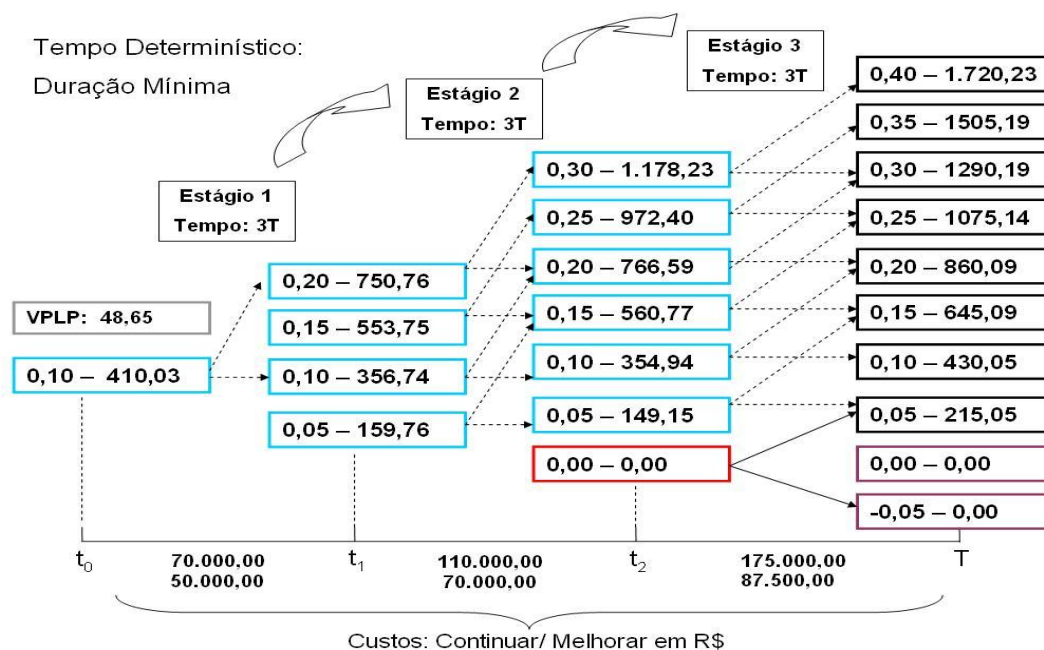


Figura 21: Avaliação do projeto no modelo determinístico, com a realização fixa do tempo no mínimo da distribuição.

O valor do projeto ativo (VPLA) passa de R\$ 162.090,00 para R\$ 410.030,00, com a diminuição de um nó de parada na árvore de incerteza projetada. O VPLP dessa configuração de tempo, mesmo que este tenha uma

probabilidade de realização mínima numa visão estocástica, é de R\$ 48.650,00, evidenciando que nesses tempos reduzidos o projeto seria viável mesmo sem o gerenciamento ativo de suas flexibilidades técnicas. O valor dessa flexibilidade passa a ser de R\$ 361.380,00 e o custo total da decisão da ordem de R\$ 120.000,00 (R\$ 70.000,00 + R\$ 50.000,00).

Prosseguindo o exercício (Figura 22), em tempos de duração máxima na visão determinística, também pouco provável na visão estocástica, os estágios durariam 6 trimestres fixos cada um, totalizando 18 trimestres de duração em tempo de implantação (ou 4 anos e meio). A análise indica que há perdas de valor associadas ao aumento de custos variáveis incorridos nos trimestres trabalhados a mais, assim como pela corrosão do *payoff* em função do atraso no tempo de lançamento ou implantação da tecnologia. Dada a sensibilidade dos valores a esses tempos, o cenário será um tanto pior em relação aos demais já verificados.

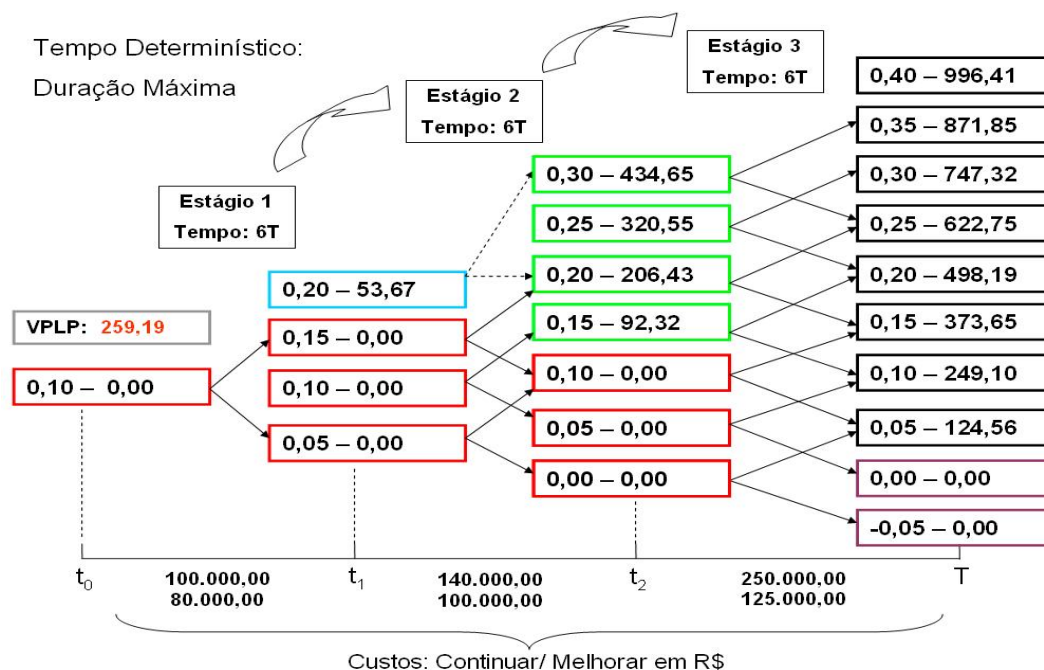
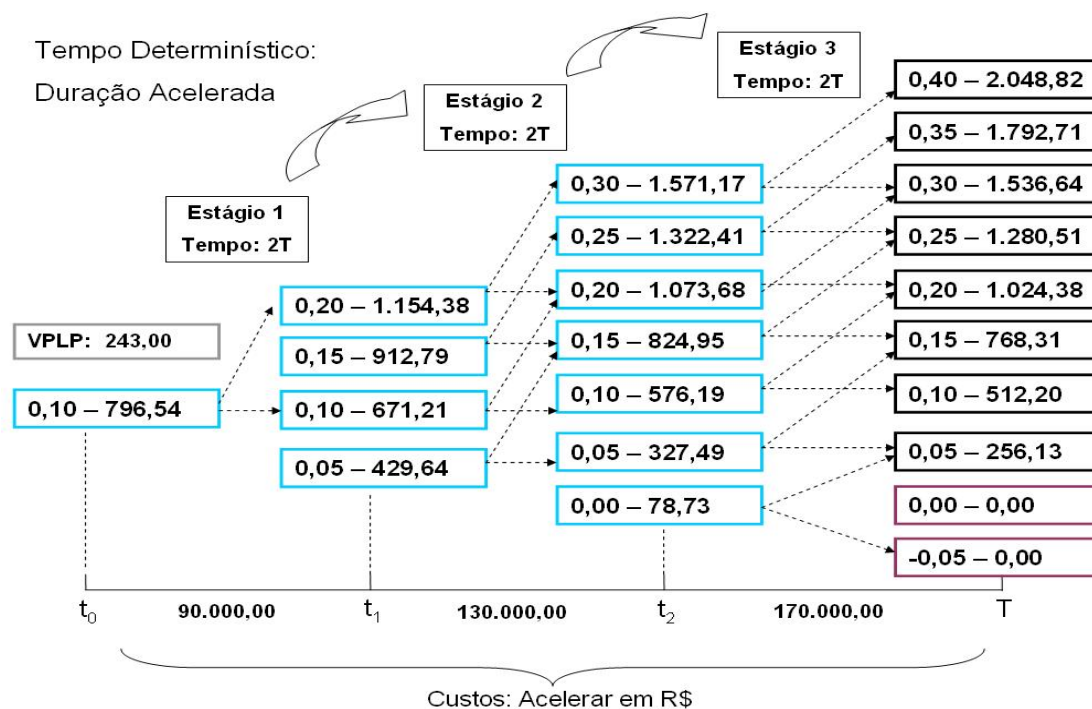


Figura 22: Avaliação do projeto no modelo determinístico, com a realização fixa do tempo no máximo da distribuição.

Nesse caso, já não há um valor de referência associado ao gerenciamento ativo do projeto. Sendo esse valor negativo, o algoritmo de programação dinâmica o torna nulo, uma vez que o gestor racional irá exercer a opção ótima de parada, a

um custo também nulo, que na avaliação inicial representa não iniciar o projeto. O VPLP desses tempos é de R\$ -259.190,00. Esse mesmo valor, tomado com sinal positivo, representa a flexibilidade que possibilita a decisão pelo abandono ou, ao menos, pelo adiamento do início do projeto. O custo da decisão é R\$ 0,00.

Já em tempos acelerados, o projeto duraria 3 estágios fixos de 2 trimestres cada um, totalizando 6 trimestres ao final do projeto, ou um ano e meio. Neste caso, o que acontece é uma espécie de situação oposta àquela do tempo máximo, pois o projeto ganha valor ao reduzir custos em decorrência do seu pouco tempo de duração e do maior *payoff* maior obtido em função da sua implantação antecipada (Figura 23).



em termos de tempos mínimos e máximos, acontecendo de forma determinística, representam apenas uma primeira aproximação do tratamento integral oferecido pelo modelo que incorpora o tempo estocástico, o qual será tratado a seguir. O custo da decisão é de R\$ 90.000,00.

2.5.2

Modelo Com Visão de Tempo Estocástico

O modelo integral com tratamento de tempo estocástico incorpora ao algoritmo de programação dinâmica as distribuições de probabilidade que caracterizam a duração dos estágios planejados para o projeto. No lugar de durações fixas, o modelo enxerga 3 distribuições de probabilidade triangulares com os seguintes parâmetros: mínimo 3, moda 4 e máximo 6, ou, simbolicamente, $T[3;4;6]$. Considera também no algoritmo de cálculo de valor do modelo de programação dinâmica o emprego de Simulação de Monte Carlo (SMC), e o tratamento da opção de “acelerar”.

Neste caso, além de ser de difícil representação, uma visão gráfica do projeto como um todo perde sentido. Com a diversidade de nós possíveis a cada estágio seguinte, no duplo domínio desempenho *versus* tempo, e a indicação da decisão ótima em cada nó, seria preciso representar um sólido com sobreposição de inúmeros pontos, deixando o gráfico confuso.

O VPLA no momento t_0 nesse modelo é igual a R\$ 405.540,80 (Figura 24), com um correspondente valor de VPLP igual a R\$ 58.601,10, apontando para a decisão ótima de melhorar, a um custo fixo de R\$ 60.000,00 (R\$ 40.000,00 + R\$ 20.000,00); neste momento, não há uma exata idéia da duração do estágio 1 (em semestres); contudo, é possível saber-se os custos totais mínimo, máximo e esperado devidos a essa duração variável que, de acordo com a Tabela 1, são:

- 1) Mínimo: $R\$ 120.000,00 = \{(US\$ 40.000,00 + 3T \times US\$ 10.000,00) + (US\$ 20.000,00 + 3T \times US\$ 10.000,00)\};$
- 2) Máximo: $R\$ 180.000,00 = \{(US\$ 40.000,00 + 6T \times US\$ 10.000,00) + (US\$ 20.000,00 + 6T \times US\$ 10.000,00)\};$

- 3) Esperado: R\$ 146.800,00 = {(US\$ 40.000,00 + 4,34T x US\$ 10.000,00) + (US\$ 20.000,00 + 4,34T x US\$ 10.000,00)};

Para o cálculo do custo esperado, foi usada a média da distribuição triangular T[3;4;6], que é em torno de 4,34 trimestres. Lembramos que os custos finais de melhorar envolvem os de continuar e os de melhorar propriamente dito. O valor da flexibilidade é de US\$ 346.939,70. Por este caminho de análise, o projeto se mostra um tanto mais promissor, diante desse tratamento múltiplo da incerteza. É certo que os *payoffs* são generosos, premiando bons desempenhos conseguidos em tempos hábeis. No entanto, o desenrolar de um projeto de pesquisa muitas vezes revela surpresas que o lado menos interessante da incerteza guarda, inviabilizando sua continuidade. Preços podem mudar, assim como os requerimentos do mercado e os custos do projeto, dificuldades técnicas podem surgir etc.

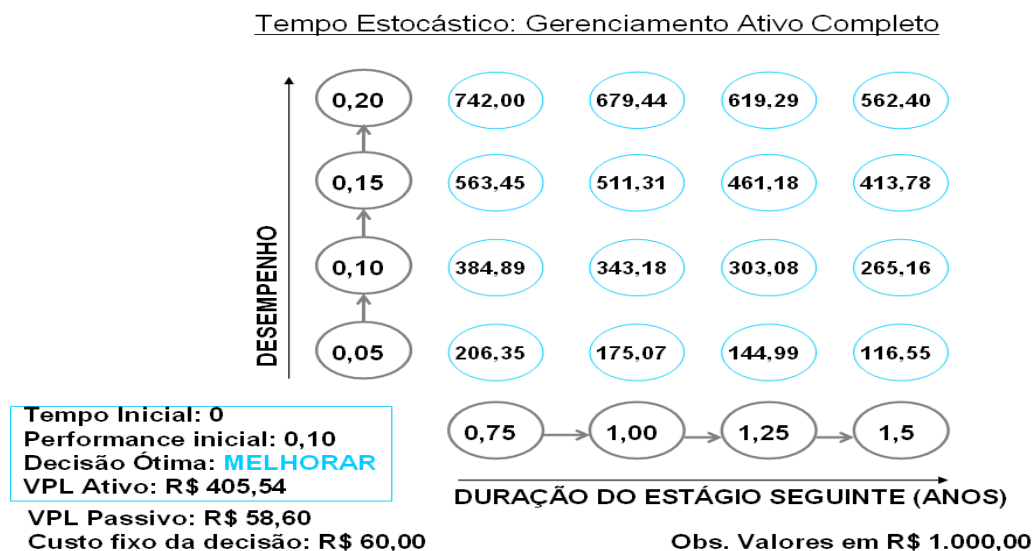


Figura 24: Avaliação do projeto no modelo de tempo estocástico.

É nesse momento que a intervenção firme de um gestor que toma decisões racionais do ponto de vista econômico faz diferença, transformando em perda aceitável o que seria um prejuízo injustificável, muitas vezes à custa do engavetamento de outros projetos.

Nota-se que o valor do projeto aumentou consideravelmente nessa avaliação em relação à visão determinística no tempo modal. O incremento no VPLA foi de

150% (de R\$ 162.090,00 para R\$ 405.540,00), enquanto o valor da flexibilidade subiu apenas 51%. Isso se justifica pelo fato de ter também crescido em quase 200% o valor do projeto sem flexibilidade, passando de -R\$ 68.070,00 para R\$ 58.601,10, fortemente influenciado pela sensibilidade do projeto ao seu tempo de implantação.

Muito embora esses valores tenham mudado de forma significativa, a decisão ótima permaneceu a mesma: “melhorar”. O resultado do modelo de tempo estocástico poderia mudar a decisão para a opção adicional “acelerar”, uma vez que o tratamento de mais uma fonte de incerteza melhora a valoração do projeto, mas essa decisão acabou não se mostrando ótima.

O ganho de valor na flexibilidade do projeto é uma medida do quanto se pode desvendar com a adoção de um modelo mais completo de tratamento da incerteza, sobretudo num tipo de incerteza que muito afeta o real valor dos projetos, sejam eles tecnológicos ou não. Em casos de avaliações não tão atrativas, bem próximas ao limite de sua aceitação, poderia representar uma mudança de decisão entre “parar” (não iniciar o projeto) e “continuar” (iniciar o projeto).

Uma visão mais completa do conjunto dessas avaliações é mostrada na Tabela 4, onde se pode observar que, dentre as visões de tempo determinístico, aquela mais representativa para o modelo sem tratamento estocástico do tempo é a que considera a duração modal da visão estocástica (destacada na Tabela). A tabela 4 evidencia o valor da flexibilidade associado a cada decisão ótima no *gate* inicial de avaliação do projeto, de acordo com a forma de tratamento do tempo na avaliação, bem como o custo da decisão.

Embora não tenhamos mudança de decisão na avaliação entre os modelos determinístico-modal e o estocástico, podemos melhorar o entendimento da qualidade dessa decisão observando a razão Flexibilidade/Custo, que pode ser interpretada como um ganho de valor proporcionado pela avaliação com tratamento de incerteza por unidade de custo do projeto associada à decisão ótima. É uma proposta que visa medir a eficiência da decisão. Há um custo específico para cada decisão possível.

Tabela 4: Sumário das avaliações nos dois modelos: Tempo determinístico e tempo estocástico.

Tempo	Duração (anos)	Valor Flexibilidade	Decisão ótima	Custo da Decisão	Flex./Custo
Determinístico:					
Acelerado	1,5	R\$ 553.540,00	Melhorar	R\$ 90.000,00	6,15
Mínimo	2,25	R\$ 361.380,00	Melhorar	R\$ 120.000,00	3,01
Modal	3	R\$ 230.160,00	Melhorar	R\$ 140.000,00	1,64
Máximo	4,5	R\$ 259.190,00	Parar	0	-
Estocástico:					
	T[3;4;6]	R\$ 346.939,70	Melhorar	R\$ 146.800,00	2,36

Fonte: Elaboração própria.

Uma razão fixa de 1,64 na visão determinística do tempo salta para 2,36 na visão estocástica. Ou seja, a visão do custo da decisão, ajustada ao tratamento estocástico do tempo, logrou proporcionalmente menor ganho em termos de valor de flexibilidade existente por unidade de custo do projeto (44% ante os 51% de ganho no VPLA). Em princípio, os ganhos deveriam ter sido os mesmos, a redução é devida à distribuição triangular usada para descrever a incerteza no tempo (o tempo médio é maior que o tempo modal, e o valor esperado é calculado com o tempo médio). Essas duas medidas representam expressivo valor que não é captado por modelos de avaliação que não disponham dessa consideração.

2.6

Discussão Final

As dificuldades naturais de tratamento da incerteza em avaliações econômicas ganham particular dimensão quando o objeto da avaliação são projetos de pesquisa e desenvolvimento. Normalmente os gestores de carteira de P&D, sobretudo aquelas compostas predominantemente por projetos incrementais, avaliam seus investimentos baseados em presunção intuitiva de curto prazo, apoiada em verificáveis retornos que essas carteiras proporcionam no longo prazo.

No exemplo analisado neste trabalho, é possível avaliar como a visão de valor evolui de um extremo ao outro, caminhando de um tratamento puramente determinístico (tanto com relação à incerteza técnica quanto ao tempo de desenvolvimento) para outro com amplas considerações sobre as incertezas que caracterizam o projeto. É possível explicar esses diferentes tratamentos pelo

resumo mostrado na Tabela 5, que relaciona os parâmetros adotados para cada modelo. Lembramos que todos eles utilizam um fluxo de caixa descontado, com as projeções de preços neutras ao risco, e descontados por taxa livre de risco.

Tabela 5: Principais parâmetros adotados por cada modelo.

MODELO \ PARÂMETROS	Probabilidade de Sucesso P ? <i>Obs.: $P + (1-P) = 1$</i>	Opções Disponíveis	Tratamento de Incerteza Técnica ?	Tratamento de Incerteza no Tempo ?	Tratamento dos Custos	Forma Curva de Payoff
Modelo Determinístico (VPLP Somente)	<i>Sim</i>	<i>Continuar</i>	<i>Não</i>	<i>Não, Tempo Constante</i>	<i>Fixo</i>	<i>Curva</i>
Modelos de Opções Reais (VPLA)						
Flexibilidade em Incerteza Técnica somente (Tempo Determinístico)	<i>Sim</i>	<i>Continuar</i> <i>Melhorar</i> <i>Parar</i>	<i>Sim</i>	<i>Não, Tempo Constante</i>	<i>Fixo por Opção</i>	<i>Curva</i>
Flexibilidade em Incerteza Técnica e Incerteza de Tempo (Tempo Estocástico)	<i>Sim</i>	<i>Continuar</i> <i>Melhorar</i> <i>Parar</i> <i>Acelerar</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim, Tempo Variável (Distribuição Triangular)</i>	<i>Fixo por Opção + Variável</i>	<i>Plano</i>

Fonte: Elaboração própria.

Assim, é fácil ver porque o modelo de tempo estocástico captura mais valor que os demais, considerando o conjunto de dados do projeto. Quanto mais complexo for o algoritmo, mais valor poderá ser encontrado. Os valores de referência principais (VPLs Passivo ou Ativo) para cada modelo (Determinístico ou Opções Reais – OR) são mostrados abaixo:

Tabela 6: Principais valores de referência para cada modelo.

Modelo	Valor (US\$ 1,000.00)	Decisão
Determinístico (VPLP)	-68,07	<i>Parar</i>
OR -Incerteza Técnica (VPLA)	162,09	<i>Melhorar</i>
OR -Incerteza Técnica e de Tempo (VPLA)	405,54	<i>Melhorar</i>

Fonte: Elaboração própria.

É possível que a decisão em todos os modelos numa certa avaliação não mude. Caso os valores em todas as avaliações sejam positivos, e na mesma faixa de otimalidade da opção "Continuar", por exemplo, a decisão será a mesma. Por outro lado, se todas as avaliações forem negativas, a decisão também será a mesma ("Parar") em cada modelo. Uma análise de sensibilidade pode ser feita sobre diversas variáveis, para explorar os limites de valores que causam mudança de decisão ótima em cada modelo. Dentro do mesmo modelo, pode ser também que a decisão não mude. Por exemplo, se no modelo de opções reais a opção ideal

é "Continuar", e os VPLPs são positivos, a decisão será a mesma nas visões determinística e estocástica.

Vê-se que, além do tratamento endógeno da incerteza técnica, certamente a mais importante num projeto de pesquisa, o tratamento da incerteza sobre o tempo de desenvolvimento desvenda uma magnitude de valores inusitados. Sob uma avaliação totalmente determinística, o projeto sequer seria iniciado (VPL passivo de – R\$ 68.070,00), ao passo que, com amplo tratamento de suas incertezas, passou a agregar considerável valor à empresa (VPL ativo de R\$ 405.540,00).

Muitos projetos bem sucedidos acabam superando em muito o que suas avaliações originais sugeriram, provavelmente porque se soube aproveitar, ao longo do desenvolvimento, o valor da flexibilidade neles existente, percebida a priori apenas intuitivamente pelos gestores. A aplicação do modelo proposto por & Santiago (2009) ao projeto de pesquisa da firma mineradora mostrou um ganho adicional de 51% em valor de flexibilidade, sobre uma avaliação já realizada em modelo de opções reais sem tratamento estocástico do tempo. Em termos de valor de flexibilidade por unidade de custo do projeto, o ganho foi de 44%, um pouco menor devido ao valor médio da distribuição triangular $T[3;4;6]$ ser maior que o valor modal.

Certamente, uma parcela considerável de valor é desprezada nas avaliações convencionais, parcela esta que, conforme o caso, poderia ser positiva ou negativa, mudando, em muitos casos, decisões sobre a continuidade dos projetos. De qualquer maneira, o tratamento amplo das principais fontes de incerteza do projeto é uma consideração que melhor orienta a composição das carteiras de P&D em firmas que realizam essa distinta categoria de investimento.