

## 4 Modelo de Opções Reais

### 4.1 Descrição do modelo

A tecnologia que surge da integração da tecnologia própria com a tecnologia do parceiro tem, potencialmente, um valor diferente daquele esperado para a simples implementação dos dois processos lado a lado, sendo um fornecedor de matéria-prima para o outro. Esta expectativa se explica porque foram identificadas incertezas que abrem caminho para a flexibilidade gerencial, o que tem valor positivo, conforme já foi explorado na revisão bibliográfica. Para possibilitar uma análise destas diferenças de valor, e verificar se a resolução das incertezas e a tomada de decisões de maneira estratégica com base nas opções reais identificadas realmente gera valor para o projeto, foi construído um modelo que será detalhadamente exposto a seguir.

A modelagem foi inspirada no modelo de Copeland e Antikarov (2002) de quatro passos apresentado na seção 2.3. Uma diferença importante é que, neste caso, são de interesse apenas as incertezas endógenas. Como não foram consideradas as incertezas exógenas, perde o sentido a simulação de Monte Carlo para a determinação da volatilidade do projeto. Cabe ressaltar que esta não é uma negação do fato de que o projeto está sujeito a incertezas deste tipo. Porém, o objetivo deste modelo é explicitar o valor das opções relacionadas com as incertezas técnicas, e estas estão totalmente dentro das ações possíveis pelos gerentes. Da mesma maneira, as probabilidades utilizadas são aquelas determinadas pelas expectativas de especialistas ouvidos com esta finalidade.

Uma premissa inicial considera que o resultado deste projeto será a implantação de um complexo integrando os dois processos (próprio e do parceiro), sendo o produto A vendido internamente para a unidade produtora do produto B e o produto B vendido no mercado. Para representar a exploração comercial deste projeto, foi feito o cálculo dos fluxos de caixa descontados

(FCDs) das diferentes combinações possíveis entre todas as incertezas identificadas, desde o caso em que nenhuma incerteza é resolvida – caso base – até o caso em que todas as incertezas são resolvidas. Com o cálculo determinístico de todas as situações partiu-se para a construção da árvore de decisão que combina todas as decisões possíveis nos caminhos de resolução das incertezas com as probabilidades de sucesso de cada cenário mapeado.

#### **4.1.1 Plataforma**

O modelo foi elaborado utilizando dois programas: Microsoft Excel, para o cálculo dos fluxos de caixa descontados e Decision Programming Language (DPL), da Syncoption Software, para a construção da árvore de decisão. Além disso, de maneira acessória, foi utilizado o AspenCapital CostEstimator, da AspenTech, para as estimativas de investimento das diferentes configurações de *hardware* estudadas.

#### **4.1.2 Fluxos de caixa descontados (FCDs)**

Segundo Copeland e Antikarov (2002), o VPL é o ponto de partida da análise de opções reais porque o valor presente, sem flexibilidades, é necessário como caso base de comparação e as empresas rotineiramente fazem análise de fluxo de caixa de projetos, de forma que geralmente eles são disponíveis ou, ainda, facilmente calculáveis. Os fluxos de caixa descontados foram construídos para todas as combinações possíveis entre as seis incertezas identificadas (Tabela 3.1), totalizando 64 situações, que vão desde o caso base (onde ocorre o simples acoplamento das tecnologias tal qual elas se apresentam hoje, e que representa o VPL do projeto sem flexibilidades) até o caso onde todas as incertezas são resolvidas e seus ganhos, ou perdas, são capturados no valor do projeto. Este cálculo determinístico é dado de entrada na árvore de decisão que será apresentada na seção 4.1.3. A Figura 4.1, a seguir, apresenta um extrato do planejamento dos 64 fluxos de caixa calculados. Através desta figura é possível entender como foram mapeadas todas as situações possíveis. Reforçando o que já foi informado na seção 3.5, apesar de apresentarem uma sequência lógica em que podem ser resolvidas, as incertezas técnicas podem ser analisadas separadamente e também agrupadas entre si. Na Figura 4.1 os números de 1 a 10 representam os

10 primeiros fluxos de caixa calculados (de um total de 64, por isso a figura é um “extrato” do planejamento total). As palavras “sim” e “não” que aparecem abaixo dos números de 1 a 10 representam a resolução ou não de cada uma das incertezas listadas e numeradas de 1 a 6 na primeira coluna. Esta diferenciação se fez necessária porque, dependendo do tipo de resolução considerada em cada um dos casos, as premissas do fluxo de caixa são diferentes, conforme será explicado na seção 4.1.2.2. Todos os fluxos de caixa são calculados em moeda constante, ou seja, sem inflação, e são desalavancados.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 P&D - número de reatores	não	sim	não	não	não	não	não	sim	sim	sim
2 P&D - testes catalisador	não	não	sim	não	não	não	não	sim	não	não
3 Torre de destilação	não	não	não	sim	não	não	não	não	sim	não
4 Separação Rigorosa	não	não	não	não	sim	não	não	não	não	sim
5 Remoção de Enxofre	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
6 Otimização do balanço de vapor	não	não	não	não	não	não	sim	não	não	não

Figura 4.1: Extrato do planejamento de cenários calculados através de FCD.

#### 4.1.2.1 Taxa Mínima de Atratividade

Um fator importante para o cálculo do VPL do projeto é a determinação da taxa mínima de atratividade (TMA). Para tanto, considerou-se que o projeto terá tanto captação de recursos próprios quanto financiamento de terceiros (dívida). O custo de capital do projeto pode ser determinado através do modelo de CAPM, descrito na seção 2.1. Para uso deste conceito no Brasil, é necessário ajustar o prêmio de risco dos títulos americanos ao risco Brasil. Segundo o Banco Central do Brasil (2012), a função deste índice é expressar de maneira objetiva o risco de crédito a que investidores estrangeiros estão expostos ao investir no Brasil. O prêmio do risco Brasil pode ser estimado como a diferença de um título de renda fixa do governo brasileiro sobre a taxa livre de risco dos Estados Unidos. No mercado, o indicador mais utilizado para tal é o EMBI+ (*Emerging Markets Bond Index Plus*), calculado pelo banco J. P. Morgan Chase, que mede o prêmio de risco soberano de um país. No caso do Brasil, o EMBI+Br reflete o comportamento de títulos da dívida externa brasileira. A variação deste índice entre duas datas permite calcular o retorno de uma carteira composta por estes títulos, e o *spread* deste indicador é comumente utilizado como medida do risco Brasil. A cada 100 pontos do risco Brasil o mercado de títulos nacionais paga um

*spread* de 1% sobre os títulos do Tesouro dos Estados Unidos. A taxa de desconto calculada para o projeto é real, ou seja, sem inflação.

#### **4.1.2.2**

#### **Modelagem das incertezas no FCD**

As incertezas listadas na Tabela 3.1 foram estudadas de modo a permitir sua modelagem nos fluxos de caixa construídos para a análise. Através de discussões com especialistas nas tecnologias foi possível entender como cada incerteza, quando resolvida, afeta o projeto.

#### **Incerteza 1: P&D 1 – Redução no número de reatores do produto A**

Em caso de sucesso do P&D 1 são removidos três reatores, bem como os três fornos que aquecem a carga dos referidos reatores. No lugar destes, entram um reator e um forno, ambos muito semelhantes ao terceiro conjunto forno-reator do projeto original, por ser o conjunto de maior porte. Considera-se que este projeto de P&D tem um custo e um tempo de execução requeridos. Além disso, caso as modificações propostas tenham efeito, será necessário atingir uma relação água/etanol durante a operação duas vezes maior do que a original. Isto significa dobrar o consumo de vapor de média pressão da unidade.

#### **Incerteza 2: P&D 2 – Testes catalíticos nos reatores do produto A**

Neste caso considera-se o sucesso dos testes catalíticos. Isto se reflete em modificação na operação da unidade. Em termos práticos, representa um aumento do inventário inicial do catalisador no reator do produto A. Por outro lado, a temperatura de operação do referido reator com esta modificação seria mais branda, resultando na redução do consumo de gás combustível. Existe ainda um custo e um tempo associados a este desenvolvimento.

#### **Incerteza 3: Remoção da torre de destilação no processo do produto A**

Conforme explicado na seção 3.4, é possível que seja dispensável a presença de uma torre de destilação para remover metano no processo de produção do produto A. Isto significa remover a torre e seus sistemas adjacentes (além da torre, seriam removidos vasos, trocadores de calor e bombas). Isto provoca uma redução no investimento da unidade. Além disso, fica reduzida a

necessidade de injeção de metano no processo do produto B, o que significa uma redução nos custos variáveis. Toda esta modificação tem um custo de projeto relacionado e um tempo de execução.

#### **Incerteza 4: Remoção da seção de separação rigorosa no processo do produto A**

Existe uma possibilidade de supressão a seção de separação rigorosa no processo. Diversos equipamentos seriam removidos, entre torres de destilação, bombas, compressores, vasos e trocadores de calor, além de cessar a necessidade de uso de fluido de processo de alto custo. O fato de promover uma grande modificação de projeto faz com que existam custos relacionados e um tempo para modificação do projeto.

#### **Incerteza 5: Retirada da seção de remoção de enxofre no processo do produto B**

Se o processo de produção do produto A garantir um teor de enxofre baixo o suficiente é possível que a planta do produto B não necessite da seção de remoção de enxofre, o que significa a retirada de alguns vasos da unidade. A redução no custo operacional é desprezível. Existe, ainda, um custo para projetar a retirada desta seção da unidade do produto B.

#### **Incerteza 6: Otimização do balanço de vapor da unidade integrada**

A integração dos processos permite uma otimização do balanço global de vapor, o que se traduz em redução no consumo de vapor total, ou seja, representa uma redução no custo variável da unidade. Esta mudança exige um estudo de todo o consumo de vapor, além da identificação das possíveis sinergias energéticas entre correntes – correntes quentes que precisam ser resfriadas podem trocar calor com correntes frias que necessitam ser aquecidas, por exemplo.

### **4.1.3 Árvore de decisão com opções reais**

Este tipo de construção foi adotado, pois, segundo Dias (2012), com a correta taxa de desconto e probabilidades, a árvore de decisão é a teoria das opções em tempo discreto, sendo resolvida *backwards*. A árvore de decisão

construída no *software* DPL tem por objetivo compilar toda a informação gerada nas projeções de fluxo de caixa de maneira a explicitar as opções reais existentes e mostrar o valor que a flexibilidade e a tomada de decisões de maneira estratégica têm neste projeto. A título de ilustração, a Figura 4.2 contém uma fotografia da tela de trabalho do DPL.

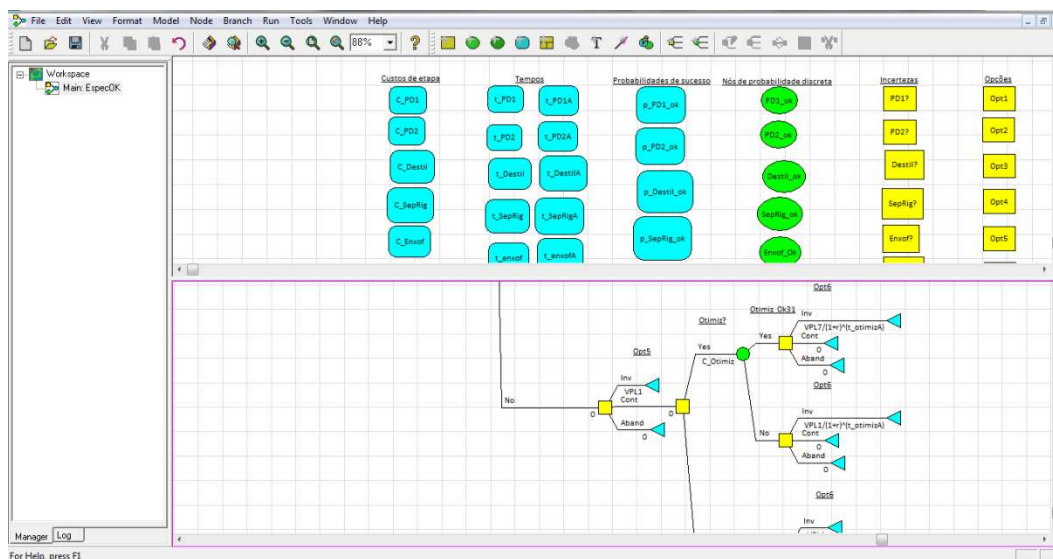


Figura 4.2: Tela de trabalho do *software* DPL.

#### 4.1.3.1 Variáveis da Árvore de Decisão

Para colocar em prática a valoração considerando as flexibilidades, são necessárias variáveis de entrada que subsidiam os cálculos. Na Figura 4.3 estão representadas estas variáveis, que vão desde as taxas livre de risco e de desconto até as probabilidades de sucesso, passando pelos custos e tempos de duração necessários à resolução de cada incerteza.

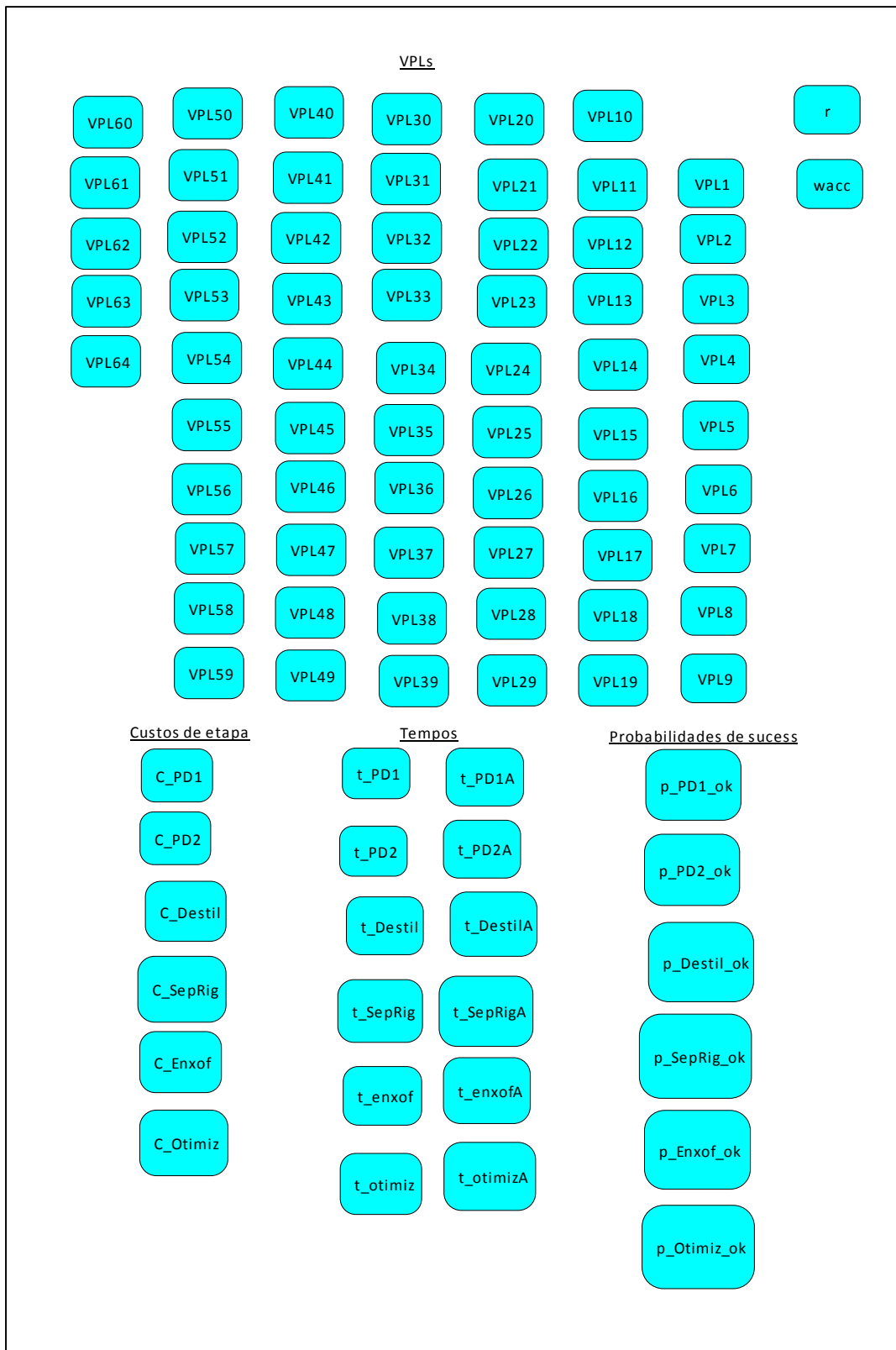


Figura 4.3: Variáveis de entrada da árvore de decisão.

Onde:

- *VPL1 a VPL64*: VPLs calculados nas projeções de FCD para todas as combinações entre as 6 incertezas.

- $r$ : taxa livre de risco.
- $wacc$ : TMA do projeto.

Custos de etapa (investimento para resolução da incerteza):

- $C_{PDI}$ : custo do projeto de P&D 1 (número de reatores);
- $C_{PD2}$ : custo do projeto de P&D 2 (teste de catalisadores);
- $C_{Destil}$ : custo do projeto de remoção da torre de destilação;
- $C_{SepRig}$ : custo do projeto de remoção da seção de separação rigorosa;
- $C_{Enxof}$ : custo do projeto de retirada da seção de remoção de enxofre;
- $C_{Otimiz}$ : custo do projeto de otimização do consumo de vapor.

Tempos de execução:

- $t_{PD1A}$ : tempo de execução somente do projeto de P&D 1 (número de reatores);
- $t_{PD2A}$ : tempo de execução somente do projeto de P&D 2 (teste de catalisadores);
- $t_{DestilA}$ : tempo de execução somente do projeto de remoção da torre de destilação;
- $t_{SepRigA}$ : tempo de execução somente do projeto de remoção da seção de separação rigorosa;
- $t_{EnxofA}$ : tempo de execução somente do projeto de remoção da seção de remoção de enxofre;
- $t_{OtimizA}$ : tempo de execução somente do projeto de otimização do consumo de vapor.
- $t_{PDI}$ : tempo acumulado projeto de P&D 1 (número de reatores);
- $t_{PD2}$ : tempo acumulado desde o primeiro projeto até o projeto de P&D 2 (teste de catalisadores);
- $t_{Destil}$ : tempo acumulado desde o primeiro projeto até o projeto de remoção da torre de destilação;



- $t_{SepRig}$ : tempo acumulado desde o primeiro projeto até o projeto de remoção da seção de separação rigorosa;
- $t_{Enxof}$ : tempo acumulado desde o primeiro projeto até o projeto de remoção da seção de remoção de enxofre;
- $t_{Otimiz}$ : tempo acumulado desde o primeiro projeto até o projeto de otimização do consumo de vapor.

Probabilidades de sucesso:

- $p_{PD1\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de P&D 1 (número de reatores);
- $p_{PD2\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de P&D 2 (teste de catalisadores);
- $p_{Destil\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de remoção da torre de destilação;
- $p_{SepRig\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de remoção da seção de separação rigorosa;
- $p_{Enxof\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de retirada da seção de remoção de enxofre;
- $p_{Otimiz\_ok}$ : probabilidade de sucesso no projeto de otimização do consumo de vapor.

#### 4.1.3.2

##### Encadeamento da Árvore de Decisão

Considerando todas as variáveis apresentadas, a lógica da árvore é a seguinte:

- a) Cada decisão de investimento na resolução de uma incerteza é representada como um nó de decisão entre investir ou não investir na sua resolução. Caso positivo, existe um custo. Caso negativo, o custo é zero.
- b) Quando ocorre o investimento na resolução da incerteza, existe uma probabilidade de sucesso e uma probabilidade de falha associadas.
- c) Caso haja sucesso na resolução da incerteza, abrem-se três opções reais (novo nó de decisão):

1. Investir na unidade produtiva e receber o VPL relativo à exploração da operação comercial considerando que a incerteza foi resolvida;
  2. Continuar e avaliar o investimento na resolução da próxima incerteza; e
  3. Abandonar o projeto;
- d) Caso não haja sucesso na resolução da incerteza, as mesmas opções se abrem, com a diferença que o VPL recebido será afetado pelo fato de que se investiu na resolução, porém a modificação proposta não teve efeito;
- e) Da mesma maneira, caso a decisão seja de não investir na resolução daquela incerteza, as mesmas três opções existem, porém, o VPL esperado não considera nem o investimento nessa resolução, nem seu efeito na unidade.
- f) Esta lógica é replicada para todas as decisões relacionadas às 6 incertezas do projeto (ver Tabela 3.1), com apenas uma modificação: as opções relacionadas a última incerteza (Otimização vapor) não contemplam “continuar”, apenas “investir” e “abandonar”.

Na Figura 3.6 foi graficamente apresentada a lógica utilizada na construção da árvore. Na Figura 4.4 é possível visualizar como cada incerteza, opção, e probabilidade de sucesso são representadas como dado de entrada no programa.

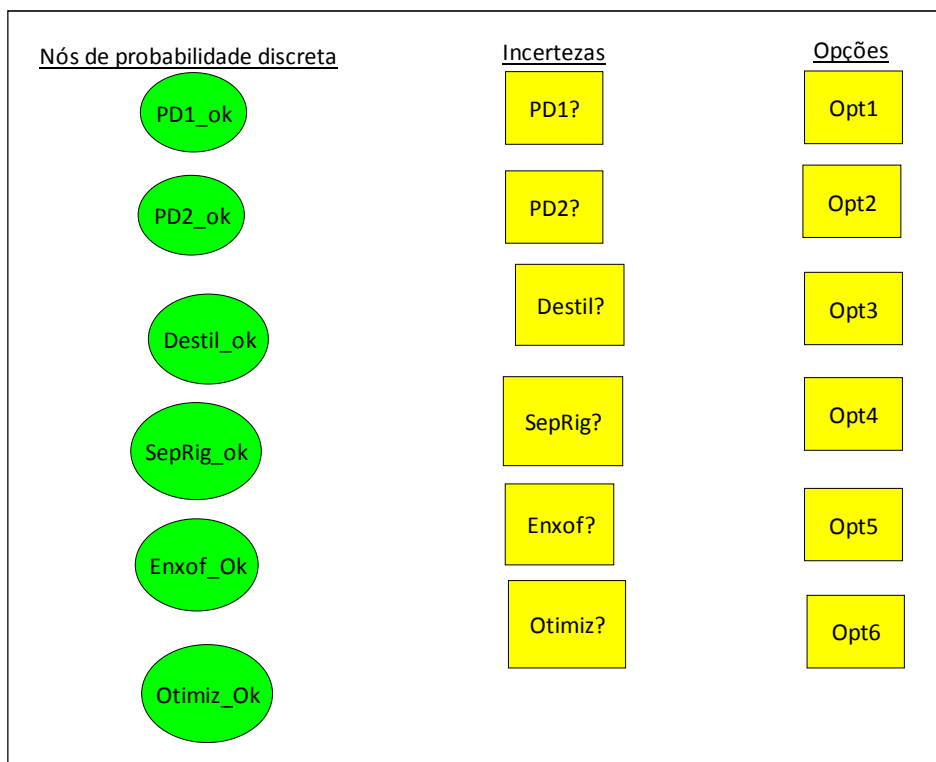


Figura 4.4: Decisões e incertezas do projeto.

Onde:

Decisões:

- PD1?: Investir no P&D 1 (número de reatores)?;
- PD2?: Investir no P&D 2 (teste de catalisadores)?;
- Destil?: Investir na remoção da torre de destilação?;
- SepRig?: Investir na remoção da seção de separação rigorosa?;
- Enxof? : Investir na retirada da seção de remoção de enxofre?;
- Otimiz?: Investir na otimização do consumo de vapor?.

Nós de probabilidade discreta:

- PD1\_ok: Probabilidades relacionadas ao P&D 1 (número de reatores);
- PD2\_ok: Probabilidades relacionadas ao P&D 2 (teste de catalisadores);
- Destil\_ok: Probabilidades relacionadas à remoção da torre de destilação;

- SepRig\_ok: Probabilidades relacionadas à remoção da seção de separação rigorosa;
- Enxof\_ok: Probabilidades relacionadas à retirada da seção de remoção de enxofre;
- Otimiz\_ok: Probabilidades relacionadas à otimização do consumo de vapor.

#### Conjuntos de opções reais:

- Opt1: Opções reais (investir, continuar, abandonar) relacionadas ao P&D 1 (número de reatores);
- Opt2: Opções reais (investir, continuar, abandonar) relacionadas ao P&D 2 (teste de catalisadores);
- Opt3: Opções reais (investir, continuar, abandonar) relacionadas à remoção da torre de destilação;
- Opt4: Opções reais (investir, continuar, abandonar) relacionadas à remoção da seção de separação rigorosa;
- Opt5: Opções reais (investir, continuar, abandonar) relacionadas à retirada da seção de remoção de enxofre;
- Opt6: Opções reais (investir, abandonar) relacionadas à otimização do consumo de vapor.

De posse de todas as ferramentas necessárias, o encadeamento da lógica apresentada pode ser montado. O início da árvore está representado na Figura 4.5, representando as decisões e probabilidades relacionadas com a primeira incerteza. Esta lógica é replicada até a sexta e última incerteza. Um extrato do final da árvore pode ser observado na Figura 4.6. Em consonância com o exemplo apresentado por Copeland e Antikarov (2002, p.21), pode-se considerar que esta árvore de decisão é uma opção composta com decisões de investimento condicionadas aos resultados da resolução das incertezas. Cabe ressaltar que a taxa de desconto explicitada na árvore é a taxa livre de risco. Isto ocorre porque todas as incertezas aqui retratadas são endógenas, e, por isso, não sofrem qualquer influência externa. Destaca-se, ainda, que os VPLs da fase de comercialização já estão penalizados por um prêmio de risco, de forma a poder usar a taxa livre de risco no desconto da árvore de decisão. Já as incertezas técnicas não são correlacionadas e por isso não demandam ajuste adicional.

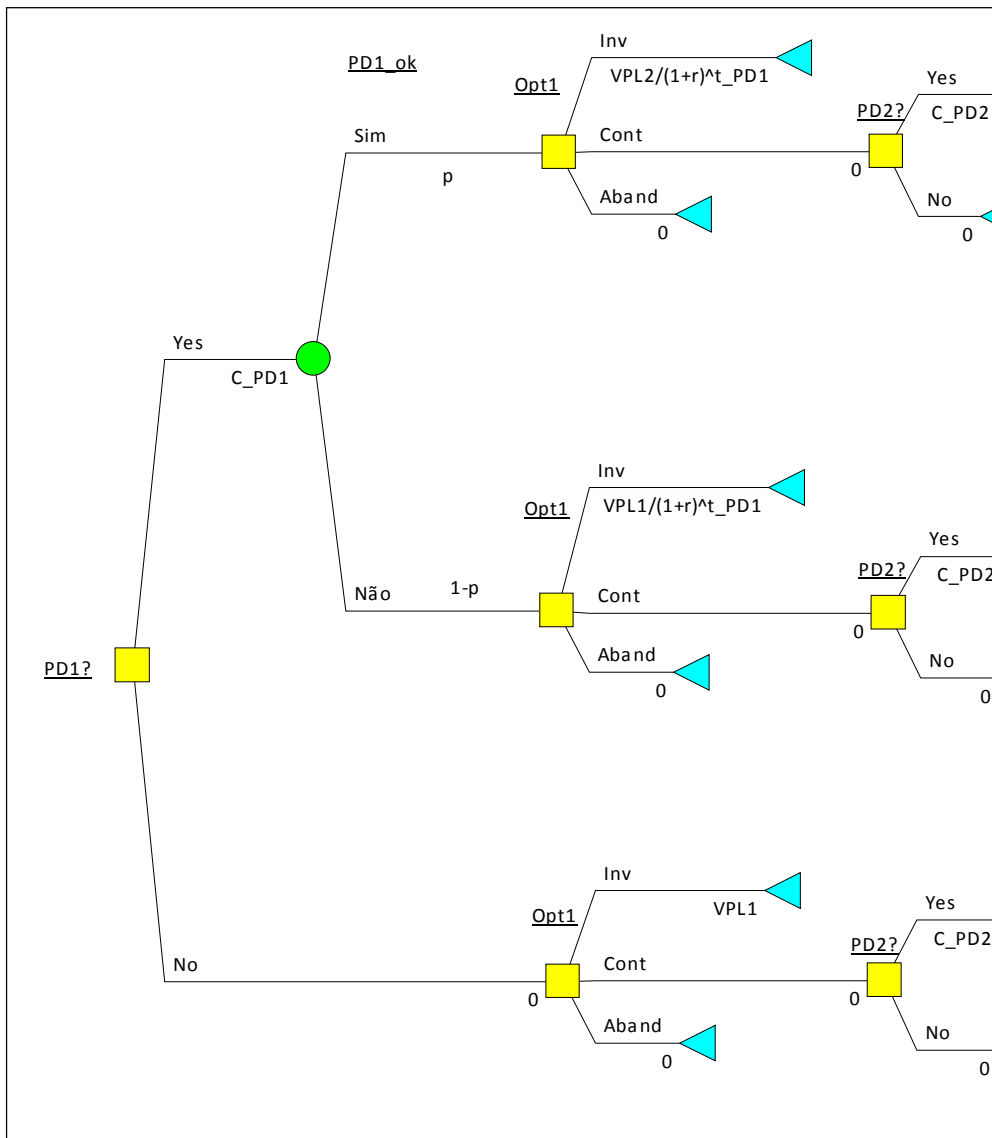


Figura 4.5: Encadeamento lógico do início da árvore de decisão.

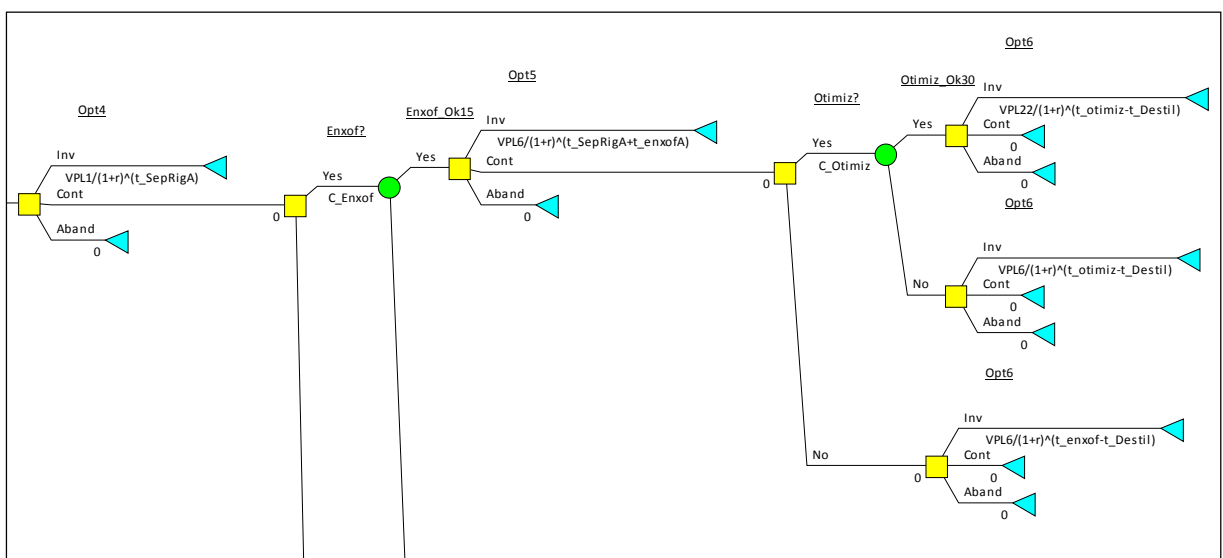


Figura 4.6: Extrato das ramificações finais da árvore de decisão.