



**SOBRECUSTOS E ATRASOS DE MEGAPROJETOS DE ENERGIA:  
QUANDO MAIOR É PIOR**

Camila Ludovique Callegari

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores : Alexandre Salem Szklo

Roberto Schaeffer

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2017

SOBRECUSTOS E ATRASOS DE MEGAPROJETOS DE ENERGIA:  
QUANDO MAIOR É PIOR

Camila Ludovique Callegari

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

---

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

---

Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

---

Prof. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

---

Prof. Reinaldo Castro Souza, Ph.D.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Fevereiro de 2017

Callegari, Camila Ludovique

Sobrecustos e Atrasos de Megaprojetos de Energia:  
Quando Maior é Pior / Camila Ludovique Callegari – Rio de  
Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XI, 182 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alexandre Salem Szklo

Roberto Schaeffer

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Planejamento Energético, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 129 – 140.

1.Sobrecustos e Atrasos. 2. Megaprojetos de Energia. 3.  
Estimativa probabilística. 4. Mega Hidrelétricas. I. Szklo,  
Alexandre *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título

*“A verdadeira medida de um homem não é como ele se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas como ele se mantém em tempos de controvérsia e desafio”*

Martin Luther King Jr

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por ter sempre apoiado e incentivado a prática da leitura, a curiosidade e a importância do conhecimento.

Aos professores Roberto Schaeffer e Alexandre Szklo pela orientação neste trabalho, ensinamentos sobre o setor de energia e pelo exemplo de profissionais. Obrigada pela inspiração!

A todos os professores do PPE e funcionários pelos aprendizados e boa convivência. Ao Cenergia pela oportunidade de aprimoramento. Aos colegas de curso que me ensinaram mais sobre o Rio e a vida dos cariocas.

Aos colegas de trabalho da Análise de Risco da Petrobras, por encorajar e apoiar o meu desejo de fazer o mestrado, pelos ensinamentos corporativos e amizade.

Aos meus grandes amigos que mesmo a distância sempre estiveram por perto, aplaudindo de pé ‘as performances’.

A todos que participaram de forma direta ou indireta, o meu muito obrigado.

*Por fim, agradeço aquela força que transforma tudo a todo o tempo. Que me proporcionou momentos incríveis, alegrias verdadeiras, novos encontros, longas corridas sentindo a brisa do mar. Agradeço também pelos momentos em que me disse não, pelas horas em que fui realmente triste, triste de não ter mais jeito. Por ter me ensinado que a mudança seria constante enquanto houvesse vida e que durante este breve intervalo eu nunca poderia perder a coragem e o bom humor.*

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

SOBRECUSTOS E ATRASOS DE MEGAPROJETOS DE ENERGIA:  
QUANDO MAIOR É PIOR

Camila Ludovique Callegari

Fevereiro/2017

Orientadores: Alexandre Salem Szklo

Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

O sucesso do sistema energético esteve historicamente associado à percepção que megaprojetos, projeto cujo investimento é superior a um bilhão de dólares, produzem economias de escala. Os planejadores acreditavam que os sistemas deveriam ser composto por poucas, porém grandes, unidades de fornecimentos e distribuição. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação do desempenho dos indicadores de custo e tempo de entrega da construção dos megaprojetos de energia. Ao desenvolver esta análise buscou-se contribuir com a melhoria dos processos de planejamento e implantação de novos empreendimentos energéticos. Para realizar a avaliação utilizou-se uma base de dados internacional com todos os tipos de plantas de geração de energia elétrica. Obtiveram-se as curvas de distribuição de probabilidade de resultado de custo e tempo de entrega para todas as fontes, bem como uma avaliação da influência geográfica e do tamanho do projeto nas variáveis sobrecusto e atraso. Fez-se também uma análise qualitativa dos sobrecustos e atrasos em megaprojetos e uma revisão bibliográfica acerca das principais questões atreladas à tomada de decisão e fundamentos da gestão de megaprojetos. Por fim, utilizaram-se as funções de distribuição de probabilidade estimadas para avaliar o desempenho das mega hidrelétricas construídas recentemente no país e indicou-se o nível de risco de sobrecusto e atraso a que os projetos do setor estão sujeitos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

COST OVERRUNS AND DELAYS ON ENERGY MEGAPROJECTS:  
WHEN BIGGER IS WORSE

Camila Ludovique Callegari

February/2017

Advisors: Alexandre Salem Szklo

Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

Energy system success has historically been associated with the perception that megaprojects, projects whose investment exceeds one billion dollars, produce economies of scale. Planners use to believe that systems should be composed of a few, but large, units of supply and distribution. In view of this scenario, the objective of this work was to carry out an evaluation of the performance of cost and delivery time construction indicators of energy megaprojects. In developing this analysis, it sought to contribute to the improvement of the planning and implementation processes of new energy projects. To carry out the evaluation, an international database was used with all types of electric power generation plants. It were obtained the results of cost overruns and delays probability distribution curves for all the sources, as well as an evaluation of geographical and size influence of the project on the variables cost and delay. A qualitative analysis was made of the cost overruns and delays in megaprojects and a bibliographical review about the main issues linked to the decision making and foundations of megaproject management. Finally, it were used the probability distribution functions to evaluate the performance of mega hydroelectric plants recently built in the country and it were indicated the risk level of cost overruns and delay that the projects of the sector are subject.

## SUMÁRIO

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2</b> | <b>O DESEMPENHO DOS PROJETOS DE ENERGIA .....</b>                     | <b>11</b>  |
| 2.1      | O que vem impulsionando megaprojetos de energia? .....                | 11         |
| 2.2      | Análise internacional dos sobrecustos e atrasos .....                 | 25         |
| 2.3      | Influência geográfica .....   | 47         |
| 2.4      | Influência do tamanho do projeto .....                                | 51         |
| 2.5      | O setor de óleo e gás .....   | 53         |
| <b>3</b> | <b>CAUSA DOS SOBRECUSTOS E ATRASOS EM MEGAPROJETOS .....</b>          | <b>57</b>  |
| 3.1      | Por que as previsões erram?.....                                      | 57         |
| 3.2      | Fatores responsáveis pelos sobrecustos e atrasos em megaprojetos..... | 60         |
| <b>4</b> | <b>GESTÃO DE PROJETOS.....</b>  | <b>67</b>  |
| 4.1      | O que é gerenciamento de projetos? .....                              | 67         |
| 4.1.1    | Causas do sucesso e do fracasso.....                                  | 70         |
| 4.1.2    | Desempenho de custo, cronograma e escopo .....                        | 73         |
| 4.1.3    | Gestão de riscos .....  | 78         |
| 4.2      | Gerenciando incertezas em um projeto.....                             | 79         |
| 4.2.1    | Tipos de Incerteza.....   | 80         |
| 4.3      | Como melhorar as previsões? .....                                     | 87         |
| 4.4      | Uma visão simples da "complexidade" da gestão de projetos .....       | 91         |
| <b>5</b> | <b>MEGAPROJETOS DE ENERGIA NO BRASIL .....</b>                        | <b>102</b> |
| 5.1      | O caso dos megaprojetos de energia hidráulica.....                    | 102        |
| 5.1.1    | A fragilidade dos megaprojetos .....                                  | 113        |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                      | <b>118</b> |
| <b>7</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>129</b> |
|          | <b>APÊNDICE A .....</b>   | <b>141</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1: Máximo e média da capacidade instalada de novas unidades, 1945-86. A potência das novas instalações de combustível fóssil e nuclear aumentou até o início da década de 1970..... | 13 |
| Figura 2.2: Instalação anual de turbinas eólicas, por classe de capacidade.....  | 14 |
| Figura 2.3: Crescimento da capacidade instalada ou up-scaling em tecnologias de energia em suas regiões centrais .....   | 15 |
| Figura 2.4: Efeito do licenciamento e atrasos nos lucros marginais de projetos de grande escala .....  | 19 |
| Figura 2.5: Efeito do licenciamento e atrasos nos lucros marginais de projetos de pequena escala.....  | 19 |
| Figura 2.6: Descrição da base de dados.....  | 27 |
| Figura 2.7 : Capacidade instalada, custo US\$/kW e composição dos investimentos por década .....   | 29 |
| Figura 2.8: Índice de custo de capital de energia elétrica nos EUA .....   | 30 |
| Figura 2.9: Índice de custo de capital de energia elétrica na Europa .....   | 30 |
| Figura 2.10: Custo estimado e real em milhões de US\$2016 por fonte .....  | 32 |
| Figura 2.11: Sobrecustos em termos médios percentuais por fonte .....  | 33 |
| Figura 2.12 : Boxplot dos sobrecustos e atrasos (%) por fonte .....  | 35 |
| Figura 2.13: Análise de frequência dos sobrecustos (%) e atrasos (%) do setor energia .....  | 37 |
| Figura 2.14: Plot do histograma e da CDF dos sobrecustos (%) e atrasos (%).....  | 38 |
| Figura 2.15: Gráfico de Cullen e Frey do sobrecusto (%) a esquerda e atrasos (%) a direita.....  | 39 |
| Figura 2.16: Ajuste dos sobrecustos (%) as distribuições selecionadas .....  | 40 |
| Figura 2.17: Análise de frequência dos sobrecustos (%) por fonte .....   | 44 |
| Figura 2.18: Análise de frequência dos atrasos (%) por fonte.....  | 46 |
| Figura 2.19: Influência da localização geográfica nos sobrecustos e atrasos médios (%).....  | 48 |
| Figura 2.20: Dispersão dos sobrecustos e atrasos (%) por região .....  | 50 |
| Figura 2.21: Influência do tamanho do projeto na média dos sobrecustos e atrasos (%).....  | 51 |
| Figura 2.22: Influência do tamanho do projeto nos sobrecustos em termos médios (%).....  | 52 |
| Figura 2.23: Distribuição dos investimentos pelo globo .....   | 54 |
| Figura 2.24: Investimento, número de projetos e custo médio dos projetos por segmento.....   | 54 |
| Figura 2.25: Percentagem de sobrecusto e atraso por localização do projeto .....   | 55 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 2.26: Proporção de projetos que sofreram sobrecusto e atraso por segmento da indústria .....            | 55  |
| Figura 3.1: Principais causas de sobrecustos e atrasos na indústria de O&G .....                               | 61  |
| Figura 4.1: Ciclo de vida do projeto .....   | 68  |
| Figura 4.2: Redução dos riscos do projeto durante o FEL e a fase de execução.....                              | 70  |
| Figura 4.3: Modelo básico de comunicação .....   | 71  |
| Figura 4.4: Gráfico para Análise do Valor Agregado .....   | 75  |
| Figura 4.5: Etapas do gerenciamento de riscos .....  | 79  |
| Figura 4.6: Caracterizando incertezas em projetos.....   | 82  |
| Figura 4.7: Distribuição de probabilidade de resultados .....  | 89  |
| Figura 4.8: Aumento do custo em percentagem .....  | 90  |
| Figura 4.9: Elevação dos custos para o setor de transporte (trilho).....                                       | 91  |
| Figura 4.10: Estrutura de rede .....   | 95  |
| Figura 5.1: Hidrelétricas planejadas no Brasil.....  | 104 |
| Figura 5.2: Frequência do resultado de custo na construção de usinas hidrelétricas ...                         | 106 |
| Figura 5.3: Frequência dos sobrecustos na construção de usinas hidrelétricas .....                             | 106 |
| Figura 5.4: Função de distribuição de probabilidades de sobrecustos para construção de mega hidrelétricas..... | 107 |
| Figura 5.5: Frequência dos atrasos na construção de usinas hidrelétricas.....                                  | 110 |
| Figura 5.6: Função de distribuição de probabilidades de atrasos para construção de mega-hidrelétricas .....    | 110 |
| Figura 5.7: Taxa de câmbio R\$/US\$ .....  | 112 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1: Custo dos componentes por kW .....  | 20  |
| Tabela 2.2: Resumo estatístico dos sobrecustos e atrasos (%) do setor energético.....                                 | 39  |
| Tabela 2.3: Estimativa empírica dos três testes de estatística de aderência<br>considerados para os sobrecustos ..... | 41  |
| Tabela 2.4: Resumo dos parâmetros de distribuição de probabilidade. ....  | 42  |
| Tabela 2.5: Resumo estatístico dos sobrecustos (%) por fonte .....  | 45  |
| Tabela 2.6: Resumo estatístico dos atrasos (%) por fonte .....  | 45  |
| Tabela 2.7: Vantagens e desvantagens da geração distribuída.....  | 53  |
| Tabela 5.1: Sobrecustos dos projetos segundo o método de previsão classe de<br>referência.....                        | 109 |
| Tabela 5.2: Atrasos (meses) dos projetos segundo o método de previsão classe de<br>referência.....                    | 111 |

# 1 INTRODUÇÃO

Para se compreender a abrangência deste trabalho é preciso conceituar, primeiramente, o termo projeto. No dicionário virtual de Cambridge encontra-se a seguinte definição: “*a piece of planned work or an activity that is finished over a period of time and intended to achieve a particular purpose*” (CAMBRIDGE, 2016). Em Kerzner (2009), um projeto pode ser considerado qualquer sequência de atividades e tarefas que: tenha um objetivo específico para ser completado dentro de certas especificações; tenha uma data de início e término; e, necessita de recursos humanos e não humanos, por exemplo: capital, pessoas e equipamentos.

Com uma filosofia bastante prática, o *Project Management Institute* (PMI, 2013) afirma que um projeto é um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço único. Já Casaroto Filho, Castro e Favero (1999) têm uma abordagem mais acadêmica, advinda do conceito de sistemas de INPE (1973). Casarotto, Castro e Fávero definem projeto como sendo um conjunto de atividades interdisciplinares, interdependentes, finitas, não repetitivas, visando um objetivo com cronograma e orçamento preestabelecidos. Nele a atividade é o conjunto mínimo de esforços para os quais é possível definir responsabilidades, alocar recursos e controlar custos, de forma a gerenciar sua execução. Assim, em linhas gerais, um projeto é definido como uma sequência de atividades que tenha um início, um fim e um propósito.

Projetos de infraestrutura são projetos de saneamento, edificações, transporte, planejamento urbano e regional, energia, comunicações, entre outros. Neste trabalho o enfoque será a indústria de infraestrutura de energia, mais especificamente de grandes projetos, com complexidade técnica e administrativa, podendo envolver diversos subprojetos de áreas diferentes, participantes internos e externos, com grandes necessidades de capital e ainda requerendo o uso intensivo de técnicas para serem bem geridos.

A expressão “mega” está relacionada a grandes montantes de investimento, longo período de construção e elevado nível de complexidade técnica. Ademais, megaprojetos vêm sendo definidos como os projetos que envolvem mais de um bilhão de dólares em investimentos (BACCARINI, 1996) (FLYVBJERG, BRUZELIUS e ROTHENGATTER, 2003) (KOPPENJAN, 2005) (MERROW, 2011). Eles são, geralmente, descritos como de alto risco, complexo, com alto grau de incerteza e

intensos em impactos sociais e ambientais, ao mesmo tempo que envolvem muitos *stakeholders* (CLEGG *et al.*, 2002).

Megaprojetos<sup>1</sup> no setor de energia podem incluir construção de plantas de geração nuclear, Exploração & Produção de óleo e gás, instalações de sítios eólicos e solares, entre outros. Com uma taxa de crescimento de consumo médio anual de 1,6% Btu, é estimado que a necessidade energética do mundo seja 48% maior em 2040, tendo como base 2012 (EIA, 2016). Com essa alta demanda por energia, a natureza dos projetos está crescendo em tamanho físico e em capital investido, tornando-a cada vez mais complexa. Pesquisas do *Independent Project Analysis Institute* (IPA) demonstram que muitos dos megaprojetos iniciados nos últimos 20 anos no setor de energia não obtiveram sucesso em atingir seus objetivos ou sofreram sobrecustos em níveis alarmantes (MERROW, 2011).

O desempenho<sup>2</sup> de um projeto, tema trabalhado nesta dissertação, pode variar do fracasso ao sucesso. Muitas são as faces que conduzem tanto ao fracasso quanto ao sucesso. Contudo, fica definido que todos os projetos que tiveram um desempenho positivo ou de sucesso conseguiram atingir os objetivos dentro do escopo, tempo, custo e qualidade estimados nas fases de planejamento, já inclusas as reservas de contingências (KERZNER, 2009). Os demais projetos, que não conseguiram superar os obstáculos de complexidade, mudanças de escopo, contrato, reestruturação organizacional, riscos, desafios tecnológicos e estimativas de preços dentro dos limites especificados no planejamento, são considerados insucessos.

No parágrafo anterior, definiu-se o sucesso do projeto como a conclusão de uma atividade dentro das restrições de tempo, custo e qualidade. Esta foi a definição utilizada nos últimos vinte anos ou mais. Hoje, a definição de sucesso do projeto foi modificada para incluir que o término deve estar: dentro do período de tempo alocado; dentro do custo orçado; ao nível de desempenho ou especificação adequada; com a aceitação do cliente/usuário; com mínimo de mudanças de escopo; sem perturbar o fluxo principal de trabalho da organização; sem mudar a cultura corporativa (KERZNER, 2009). Contudo, este trabalho fica limitado ao estudo dos fatores de

---

<sup>1</sup> Premissa: serão classificados como megaprojetos, os projetos que tiveram como valor de investimento um bilhão de dólares ou mais.

<sup>2</sup> Premissa: o desempenho positivo ou negativo é dependente das variáveis tempo e custo. O diferencial do tempo/custo estimado pelo realizado fornece o desempenho positivo ou negativo do projeto.

desempenho: tempo e custo. As demais variáveis não serão abordadas, pois necessitariam uma análise mais detalhada de cada projeto.

Ainda acerca do conceito de sucesso é importante distinguir o sucesso do projeto e do gerenciamento do projeto. O primeiro é medido com relação a quão bem o seu produto/serviço resultante satisfaz as expectativas do cliente e/ou produz efeito positivo na lucratividade e da organização que o realiza. Em contrapartida, o segundo foca no sucesso do processo de implantação do projeto, em particular nas medidas de custo, qualidade e prazo e, também, na maneira como o processo de implantação é conduzido (WIT, 1988) (MUNNS e BJEIRMI, 1996) (BACCARINI, 1999) (BRYDE, 2003).

Assim, embora o sucesso do gerenciamento do projeto tenha sido associado ao resultado final do projeto, os objetivos do gerenciamento e do projeto em si são diferentes. Portanto, o controle do tempo, custo e escopo, que são frequentemente objetivos do gerenciamento, não devem ser confundidos com a medição de sucesso do projeto (WIT, 1988) (MUNNS e BJEIRMI, 1996). Nesta afirmação está explícita a necessidade de se diferenciar o sucesso do projeto, ou seja, do sucesso do produto/serviço gerado pelo projeto, do sucesso do gerenciamento do projeto e, conseqüentemente, de se ter diferentes critérios de medição para cada um deles.

Por outro lado, também, há um nível elevado de concordância entre diversos autores de que um projeto pode ser considerado um sucesso, mesmo que o gerenciamento não tenha sido bom, e pelo contrário, pode ser considerado um fracasso, mesmo que bem gerenciado (WIT, 1988) (MUNNS e BJEIRMI, 1996). Por exemplo: um produto ruim, segundo a avaliação do mercado, não se tornará um sucesso por causa do bom gerenciamento do projeto que o desenvolveu. Esta pesquisa fica limitada ao estudo do sucesso do gerenciamento do projeto, não abordando os critérios de desempenho de sucesso do projeto.

Dentro deste quadro, um questionamento se torna inevitável. Como o estudo da hipótese de que o desempenho de megaprojetos é mais assimétrico do que de projetos de pequeno-médio porte, em termos estatísticos, pode contribuir para o desenvolvimento e/ou melhoria dos processos de planejamento e implantação de novos empreendimentos energéticos?

Para explorar as respostas do questionamento acima este trabalho estabeleceu o objetivo geral de investigar a hipótese de que a distribuição de probabilidade dos fatores

de desempenho de megaprojetos é mais assimétrica do que de projetos de pequeno-médio porte, através dos seguintes objetivos específicos:

1. Realizar análise internacional do desempenho de projetos do setor de energia;
2. Identificar principais causas, consequências e ações propostas para tratar os atrasos e sobrecustos;
3. Explorar as melhores práticas de gestão de projetos e riscos;
4. Estudar o processo de tomada de decisão de investimento sob incerteza;
5. Realizar análise do desempenho de projetos brasileiros do setor de energia.

Para o embasamento quantitativo desta pesquisa, foi necessário elaborar uma base de dados. Esta base de dados contém as variáveis<sup>3</sup> que foram julgadas relevantes para construção do modelo de desempenho dos projetos. Quanto ao custo, não foi realizada diferenciação na base de dados dos custos declarados como *overnight*<sup>4</sup>. A declaração de custo de cada projeto foi considerado como o custo real<sup>5</sup> de implantação. Esta base possui projetos públicos e privados, como megaprojetos são complexos por natureza eles são, geralmente, híbridos<sup>6</sup>. É importante ressaltar que o maior limitador dessa pesquisa é as informações referentes aos projetos – ou melhor – a falta de transparência a respeito dessas variáveis. Enfrentou-se dificuldade de obter os dados tanto no exterior como no Brasil, com destaque para o último.

Ainda, para se compreender a natureza da problemática do trabalho é necessário entender como os megaprojetos multibilionários de infraestrutura constituem incontestavelmente um novo cenário político e físico.

Na Europa tem-se o túnel da Mancha, um projeto de 50,5 quilômetros de ferrovia submarina que liga o Reino Unido à França através do estreito de Dover (POMPÉE, 2016). O programa Copernicus, é o maior programa isolado de observação da Terra dirigido pela Comissão Europeia em parceria com a Agência Espacial Europeia

---

<sup>3</sup> São elas: data, fonte, nome, localização, capacidade, orçamento inicial, orçamento real, tempo estimado e tempo realizado

<sup>4</sup> Custo de capital *overnight* é um termo normalmente usado na indústria de geração de energia para descrever o custo de construção de uma usina de energia ‘durante a noite’. O termo é útil para comparar a viabilidade econômica da construção de várias plantas. O custo de capital overnight não leva em conta os custos de financiamento, e, portanto, não é uma estimativa real do custo de construção

<sup>5</sup> Custos reais foram convertidos em dólares correntes e deflacionados.

<sup>6</sup> Projetos financiados pelo mix de capitais públicos e privados.

(COPERNICUS, 2016). O Large Hadron Collider (LHC) é o maior e mais poderoso colisor de partículas do mundo, a maior e mais complexa instalação experimental já construída pelo homem. Foi desenvolvido pela Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear entre 1998 e 2008, em colaboração com mais de 10.000 cientistas e engenheiros de mais de 100 países. Encontra-se em um túnel de 27 quilômetros de circunferência entre a fronteira da França com a Suíça (CERN, 2016). Nos Estados Unidos, o projeto Kemper, em Mississippi, é uma estação de geração de energia elétrica em construção que será a primeira de seu tipo a empregar tecnologias de gaseificação e captura de carbono em larga escala (MIT, 2016). Nas águas profundas do Golfo do México, dezenas de mega plataformas de produção de óleo e gás elevam hidrocarbonetos para a superfície da terra para atender o consumo diário de 90 milhões de barris (EIA, 2016).

A situação é semelhante em países em desenvolvimento, da Ásia à América Latina. Por exemplo, a hidrelétrica de Três Gargantas que atravessa o rio Yangtze, na China, é a maior unidade de geração de energia do mundo em termos de capacidade instalada (22.500 MW) (GLEICK, 2009). A segunda maior hidrelétrica fica localizada entre o Brasil e o Paraguai, no rio Paraná, e sua capacidade instalada é de 14.000 MW, com 20 unidades geradoras fornecendo 700 MW cada (ITAIPU, 2016). O projeto de expansão do Canal do Panamá exigiu 4,4 milhões de metros cúbicos de concreto para alargar e aprofundar o leito. O investimento foi necessário para acompanhar o crescimento dos navios ao longo do século passado e continuar suas operações (UFJF, 2016). O túnel Marmaray é um projeto de transporte ferroviário, composto por um túnel submarino sob o estreito de Bósforo mais a modernização das linhas ferroviárias suburbanas da região (RAILWAY-TECHNOLOGY, 2016). A cidade industrial de Jubail construída a partir da areia, na Arábia Saudita, passa por um projeto de expansão. Oito novos blocos de plantas industriais serão instalados, sendo quatro blocos de indústria petroquímica, três de indústria de suporte, além de outros quatro voltados para a produção de alumínio (BECHTEL, 2016).

Segundo o professor de Cambridge Bent Flyvbjerg, os megaprojetos fazem parte de uma história notavelmente coerente. Flyvbjerg, Bruzelius e Rothengatter (2003) citam o sociólogo Zygmunt Bauman para explicar essa história de dominação. Bauman a chamou de “A Grande Guerra de Independência do Espaço”, para o autor a mobilidade é o mais poderoso e desejado elemento de estratificação da sociedade



moderna. Bill Gates, fundador da Microsoft, colaborou ainda mais para o fenômeno do “fim da distância”, iniciando um novo estágio da evolução do capitalismo

Neste contexto, os projetos de infraestrutura se tornaram sinônimo de tecnologia. A infraestrutura se transformou de um elemento pré-condicionador da produção e do consumo, para o próprio centro das atividades econômicas. Infraestrutura é o grande encurtador do espaço, e o poder, a riqueza e o *status* aumentam cada vez mais entre aqueles que detêm o conhecimento de encurtar o espaço ou sabem se beneficiar do espaço sendo encurtado (FLYVBJERG, BRUZELIUS e ROTHENGATTER, 2003).

Para atender essa preferência da sociedade moderna é necessário a construção de novos empreendimentos nas áreas de transporte, comunicação e energia. Atualmente, para garantir toda a demanda anual por mobilidade e conectividade do mundo moderno é necessário 549 quatrilhões de Btu<sup>7</sup> (EIA, 2016)

Assim, os megaprojetos são ferramentas centrais dessa nova política de planejamento. Isso pode ser notado durante as últimas décadas, nas quais a magnitude e a frequência de grandes projetos de infraestrutura aumentou acentuadamente, financiados por governos nacionais, capital privado e bancos de desenvolvimento (FLYVBJERG, BRUZELIUS e ROTHENGATTER, 2003).

Porém, existe um paradoxo. Ao mesmo tempo que cada vez mais e maiores projetos de infraestrutura estão sendo propostos e construídos pelo mundo, está se tornando claro que muitos desses projetos têm contundente baixa performance em termos econômicos, ambientais e sociais (CHRISTOFFERSEN, FLYVBJERG e LINDGAARD, 1992) (COLLINGRIDGE, 1992) (MORRIS e HOUGH, 1987) (SZYLIOWICZ e GOETZ, 1995) (REUTERS, 2014). Sobrecustos e receitas abaixo do esperado, frequentemente, colocam a viabilidade do projeto em risco e redefinem projetos. Inicialmente promovidos como veículos efetivos para o crescimento econômico, tornam-se possíveis obstáculos para o mesmo.

A estimativa de custo de construção feita durante meados dos anos 90 para a hidrelétrica de Três Gargantas foi de 26 bilhões de dólares. O preço final da maior barragem do mundo ficou por volta de 38 bilhões de dólares (GLEICK, 2009). Além disso, o projeto bateu outros recordes numéricos: mais de 1,2 milhões de pessoas

---

<sup>7</sup> BTU é o acrônimo de British thermal unit ("unidade térmica britânica"), uma unidade de medida não-métrica utilizada principalmente nos Estados Unidos, bem como no Reino Unido. É uma unidade de energia que é equivalente a: 252,2 calorias. 1 055,05585 joules.

deslocadas e 13 cidades, 140 vilas, 1350 aldeias inundadas. Assolado pela corrupção, espiral de custos, impactos ambientais, violação de direitos humanos e dificuldades de reassentamento, a organização *International Rivers* classifica o projeto como um modelo para o desastre. No entanto, as empresas chinesas continuam a replicar esse modelo (ROSENBLATT, 2016).

A central elétrica de carvão pulverizado Kemper, localizada nos Estados Unidos, também tem sido assolada com atrasos e sobre custos. Segundo o *Massachusetts Institute of Technology*, o preço atual da planta é de 6,7 bilhões de dólares. A unidade de geração foi inicialmente estimada para custar 2,2 bilhões de dólares em 2004, mas os custos começaram a aumentar quase que imediatamente após o início da construção em 2010 e a empresa descobriu que muitos dos desenhos originais necessitariam de grandes mudanças. Uma das falhas de projeto incluí erro de cálculo da espessura, comprimento, quantidade e metalurgia dos tubos. Após realizar as alterações dos tubos foi necessário reforçar as estruturas de apoio. A empresa anunciou que cada mês de atraso custaria cerca de US\$ 25 a US\$ 35 milhões. O projeto está agora com quase três anos de atraso (MIT, 2016).

Apesar destes exemplos, este tipo de gasto é raramente levado em consideração na fase de planejamento dos megaprojetos. Segundo Flyvbjerg, Bruzelius e Rothengatter (2003), a *Major Projects Association*, uma organização formada por construtoras, consultoras, bancos e outros interessados no desenvolvimento de megaprojetos, também confirma “a história calamitosa dos sobrecustos em grandes projetos”.

Para Szklo nem os megaprojetos nem os sobrecustos são uma novidade:

O que são os megaprojetos? Não é verdade que eles são uma novidade. A verdade é que eles se destacaram muito no setor energético na década passada, quando o mundo também precisaria ter entrado numa fase de transição para fontes alternativas e novos padrões de usos de energia. É verdade que eles criam “trancamentos” tecnológicos, pelo seu tempo de maturação. É verdade que têm indicado atrasos e sobrecustos (Informação verbal)<sup>8</sup>.

Em relação aos efeitos sociais e ambientais dos projetos, uma similariedade encontrada é que tais efeitos, frequentemente, não são levados em consideração durante o desenvolvimento do projeto ou eles são severamente subestimados (BUCKLEY,

---

<sup>8</sup> Informação fornecida por SZKLO, Alexandre [Agosto de 2016].

1993). Problemas ambientais que não são levados em conta durante a preparação do projeto tendem a surgir durante a fase de construção e operação; tais problemas geralmente afetam pessoas, comunidades e o próprio projeto se não tratado adequadamente. Além disso, os efeitos positivos do desenvolvimento regional, tipicamente divulgado pelos promotores do projeto para ganhar aceitação política para seus investimentos, repetidas vezes não são mensurados, são insignificantes ou até mesmo negativos.

Em consequência, a análise de custo/benefício, a análise financeira e os impactos socioambientais que fazem parte da preparação dos megaprojetos são questionados, criticados e denunciados mais frequentemente e mais dramaticamente que as análises de qualquer outro profissional. Segundo Williams (1998), o desenvolvimento de megaprojetos historicamente não é uma área que vem sendo chamada de “números honestos”. Para Huszar (1998) esta é uma área onde se encontra um grupo de profissionais chamando o trabalho de outros profissionais de “enviesado”. Isto quando as coisas ainda não se tornaram hostis. Em uma situação mais antagônica as palavras usadas durante o acompanhamento de muitos megaprojetos são “decepção”, “manipulação” e até mesmo “mentiras”. Gostando ou não, o desenvolvimento de megaprojetos é um campo no qual pouco se pode confiar, especialmente – mas não sempre – nos números produzidos pelos analistas.

Finalmente, os promotores do projeto frequentemente evitam e violam práticas de boa governança, transparência e participação em decisões políticas e administrativas (FLYVBJERG, BRUZELIUS e ROTHENGATTER, 2003). A sociedade civil não tem muito poder de decisão sobre estas áreas como em outras; os cidadãos, geralmente, são mantidos a uma certa distância das decisões a cerca dos megaprojetos. Em alguns países talvez essa distância esteja diminuindo, mas, no geral, as decisões a cerca de grandes projetos são determinadas nas esferas políticas. Segundo Bohman (1996), algumas pessoas temem que a desigualdade de acesso a informação no processo de tomada de decisão conduza a uma distribuição desigual de riscos, encargos e benefícios do projeto. Esse processo pode levar a um termo cunhado pelos escandinavos de “deficiência da democracia” (BOHMAN, 1996). O fato de que um termo específico tenha sido criado dentro de um cenário popular para descrever o que está acontecendo com os processos de decisão de megaprojetos é um indicativo de que grandes grupos vêem o estado atual de negócios como insatisfatório.

Esta dissertação é baseada em pesquisa bibliográfica que orienta e sustenta os fundamentos da investigação científica. A metodologia utilizada nesta pesquisa é positivista de caráter quantitativo, uma vez que está orientada a descoberta de princípios da realidade e utiliza dados mensuráveis empiricamente para tanto (DEMO, 1995). Os estudos orientados pela doutrina positivista postulam a existência de uma realidade externa que pode ser examinada com objetividade, pelo estabelecimento de relações causa-efeito, a partir da aplicação de métodos quantitativos de investigação, que permitem chegar a verdades universais (HAYATI, KARAMI e SLEE, 2006). Sob esta ótica os resultados da pesquisa seriam reproduzíveis e generalizáveis.

Também faz-se uso de técnica incrementalista, na medida em que buscam-se relações entre variáveis com o intuito de conhecer a dinâmica do sistema real. Ainda, é uma pesquisa exploratória, pois sustentada pela literatura visa descobrir novas abordagens e dar um novo enfoque para o assunto pesquisado. Tem como finalidade definir os objetivos de um trabalho, facilitar a delimitação de um tema, além de constituir uma fase preparatória para outro tipo de pesquisa (ANDRADE, 2005).

Em relação a estrutura, esta dissertação está dividida em 6 seções.

A primeira seção traz a introdução do trabalho, em que se contextualiza a problemática, relata as principais premissas e limitações do trabalho, realiza a formulação da hipótese do trabalho, traça o objetivo geral e os específicos para alcançar os resultados da pesquisa, justifica a importância e relevância do tema, caracteriza a natureza da pesquisa científica e, também, descreve a sua estrutura.

A segunda seção realiza o diagnóstico internacional do desempenho da construção dos projetos do setor de energia, investiga o que vem impulsionando os megaprojetos, expõe as análises de frequência de sobrecustos e atrasos, a influência geográfica e do tamanho (MW) no desempenho dos projetos de geração de energia elétrica, bem como realiza a avaliação dos megaprojetos do setor de óleo e gás.

A terceira seção descreve as razões atreladas as falhas em estimativas futuras e mapeia as principais causas de sobrecustos e atrasos na elaboração e execução de megaprojetos e propõe ações para mitigar os efeitos ou as probabilidades de ocorrência desses eventos.

A quarta seção aborda os conceitos essenciais de gestão de projetos, as causas do sucesso e fracasso na gestão de projetos, os métodos de gerenciamento do desempenho

de custo, cronograma e escopo e de gestão de risco em projetos. Também explora os principais tipos de incertezas encontradas nos processos de tomada de decisão em projetos. Ainda, descreve método que contribui para a melhora das estimativas de custo e prazo de entrega e, por último, fornece uma visão científica e de revisão das principais premissas que fundamentam a teoria tradicional de gestão de projetos.

A quinta seção realiza o diagnóstico do desempenho do setor de infraestrutura energética brasileira. Descreve os parâmetros da função de distribuição de probabilidade de sobrecustos e atrasos na construção de projetos de geração hidráulica, realiza comparação com os últimos megaprojetos desenvolvidos no Brasil e avalia a fragilidade de grandes investimentos.

A sexta e última seção traz as considerações finais do trabalho e as recomendações para pesquisas futuras.

## 2 O DESEMPENHO DOS PROJETOS DE ENERGIA

O objetivo deste capítulo é realizar uma análise internacional do desempenho de megaprojetos de energia. Primeiramente, será dado enfoque para as múltiplas escalas de governança energética e, posteriormente, será apresentada uma análise quantitativa do desempenho da construção dos projetos do setor energético.

A governança energética será tratada aqui não somente em termos de gerenciamento - como os projetos são concebidos, operacionalizados e mantidos-, mas, também, com a forma de geopolítica associada à construção e operação dos megaprojetos. Dessa forma, este capítulo foca não somente na operação e governabilidade, mas também nas corporações e no interesse dos demais investidores, incluindo organizações não governamentais, sociedade civil e comunidades locais.

### 2.1 O que vem impulsionando megaprojetos de energia?

Alguns autores argumentam que megaprojetos oferecem grandes oportunidades para os investidores, difusão da tecnologia e a melhora da eficiência da utilização dos recursos (TASSEY, 1991) (UNDP, 2011). Outros argumentam que o surgimento desses projetos permite aos países criar infraestrutura, aumentar a sinergia e melhorar a eficiência do mercado (HIPPEL, GULIDOV e KALASHNIKOV, 2011).

O fato concreto é que a frequência e o escopo dos megaprojetos de infraestrutura vêm aumentando rapidamente - em 2012, aproximadamente, 40% dos projetos de infraestrutura ao redor do mundo tinha capital de investimento igual ou superior a US\$10 bilhões – os projetos de energia representam uma grande e crescente participação de todos estes megaprojetos (AECOM, 2012)

Para os autores Sovacool, Gilbert e Nugent (2014), sete fatores-chaves vêm impulsionando o crescimento do tamanho e do número de megaprojetos, são eles: (1) Economia de escala; (2) Aglomeração industrial; (3) Crescimento na regulação; (4) Idade do pessoal especializado; (5) Competição com as companhias nacionais de energia; (6) Padronização, e (7) O *allure*<sup>9</sup> do modernismo.

Uma razão óbvia para as empresas investirem em megaprojetos – apesar da alta probabilidade de insucesso – é a percepção que projetos grandes irão produzir

---

<sup>9</sup> Termo de origem francesa, que significa o modo de olhar de uma pessoa. No texto é empregado para representar a preferência do mundo moderno por projetos que sejam sofisticados, complexos, elegantes.

economias de escala. Em microeconomia, a economia de escala se refere à redução de custos resultante do aumento do tamanho e taxa de uso de um empreendimento (SHEFFRIN, 2003). Além disso, em tese, as economias de escala em projetos também colaboram para a redução dos custos de transição<sup>10</sup>.

Formalmente, um aumento do volume de produção pode implicar um aumento dos custos de produção numa proporção maior ou menor. O conceito de economias de escala traduz a relação entre o aumento de produção, e o correspondente aumento dos custos. Matematicamente, temos que:

$$CT(q, Q_i) = c \cdot CT(Q_i) \quad (1)$$

Se um determinado aumento do volume de produção implicar um aumento menos do que proporcional dos custos ( $c < q$ ), tem-se a presença de economias de escala. Caso contrário, isto é, se o aumento dos custos for mais do que proporcional ao aumento do volume de produção ( $c > q$ ), tem-se deseconomias de escala (SILVA, 2015).

A economia de escala é o impeto por trás de críticas inovações de produção em massa, como as linhas de produção arquitetadas por Henry Ford, que permitiram a redução de preços dos automóveis para níveis em que famílias de classe média pudessem adquirir (SOVACOOOL e COOPER, 2013). Ganhos de economia de escala não se limitam aos setores de transporte e de serviços. Este conhecimento convencional também é aplicado na indústria de energia almejando ganhos de eficiência, através da implementação de grandes e centralizadas unidades de produção.

Parte da motivação da centralização e construção de maciças unidades de geração de eletricidade está conectada também com as contingências históricas. Durante a Grande Depressão de 29 nos Estados Unidos, a eletricidade barata foi um dos fatores de reanimar a economia. Planejadores e políticos acreditavam que o desenvolvimento de fontes de energia o quanto maior possível levariam imediatamente ao aumento dos ganhos de escala, reduzindo os custos de produção que poderiam ser transmitidos para os consumidores. Alguns exemplos de grandes projetos de geração de energia elétrica centralizados desse período são: a hidrelétrica Hoover, a autorização da construção de

---

<sup>10</sup>Os custos de transação são aqueles com os quais os agentes se defrontam toda vez que necessitam recorrer ao mercado, e estes custos seriam, do modo mais formal, os custos de negociar, redigir e garantir que um contrato será cumprido.

uma rede de 29 hidrelétricas no Vale do Tennessee e, mais tarde, o reator nuclear de Shippingport (SOVACOOOL, GILBERT e NUGENT, 2014).

Tais construções, baseadas na concepção de um sistema centralizado e denso, pareciam funcionar excepcionalmente bem até a década de 1970. A Figura 2.1 mostra que a capacidade instalada das plantas de geração dobraram a cada 6,5 anos desde a década de 1945 até 1970, nos Estados Unidos. Ao mesmo tempo, os preços nominais da eletricidade caíram de quase US\$ 1,00 por kWh para menos de 7 centavos por kWh (HIRSH, 1989).

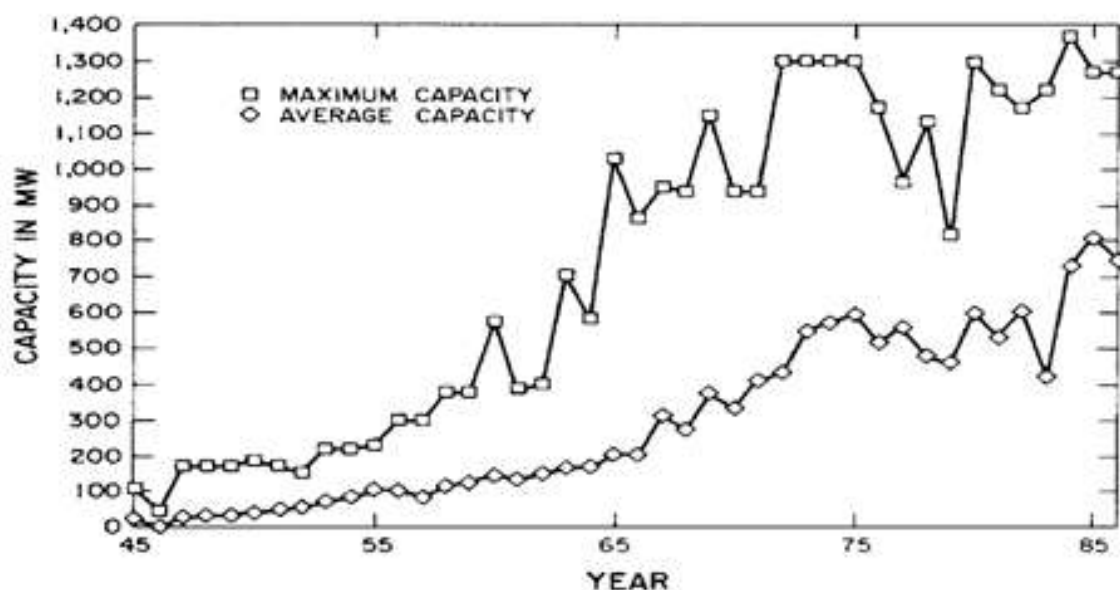


Figura 2.1: Máximo e média da capacidade instalada de novas unidades, 1945-86. A potência das novas instalações de combustível fóssil e nuclear aumentou até o início da década de 1970  
Fonte: dados do Departamento de Energia dos EUA.

O sucesso desse sistema se tornou associado a algumas premissas. Os planejadores acreditavam que os sistemas de energia deveriam ser compostos por poucas, porém grandes unidades de fornecimento e distribuição, e que estas unidades deveriam ser compostas por grandes aparatos monolíticos em vez de pequenos modelos redundantes (HIRSH, 1989).

Nos últimos anos, em um padrão similar, o tamanho das unidades de liquefação e purificação de gás natural aumentaram de 1 milhão de metros cúbicos por ano para 5 milhões de metros cúbicos por ano, impulsionado em grande parte pelo desejo de se reduzir o custo do capital (CHART ENERGY & CHEMICALS GROUP, 2012). O crescimento da preocupação sobre os impactos das mudanças climáticas tem renovado o interesse em projetos de grandes hidrelétricas, especialmente nos países em



desenvolvimento, onde grandes hidrelétricas não só atraem o interesse de políticos, mas também são vistas como uma forma de gerar eletricidade a um custo mais baixo do que pequenas hidrelétricas (EVARISTO, 2012).

A indústria eólica também obtém significativas reduções de custo com turbinas maiores e pela expansão de fazendas eólicas (WINDUSTRY, 2012). De acordo com a *Windustry*, uma das maiores promotoras da indústria, turbinas eólicas residenciais e de pequenas fazendas custam menos no total, porém o custo do kilowatt-hora da energia produzida é mais cara. Como um resultado da percepção de ganhos de escala, a Figura 2.2 ilustra como a média do tamanho dos projetos eólicos aumentou conforme mais unidades foram adicionadas aos portfólios de geração (EWEA, 2012). Até 2004, a maioria do desenvolvimento de fazendas eólicas na Europa era de menos de 2 MW. Em 2016, estes projetos representam menos de 20% da capacidade anual adicionada, enquanto projetos maiores que 5 MW aumentaram para quase 50% da parcela do mercado.

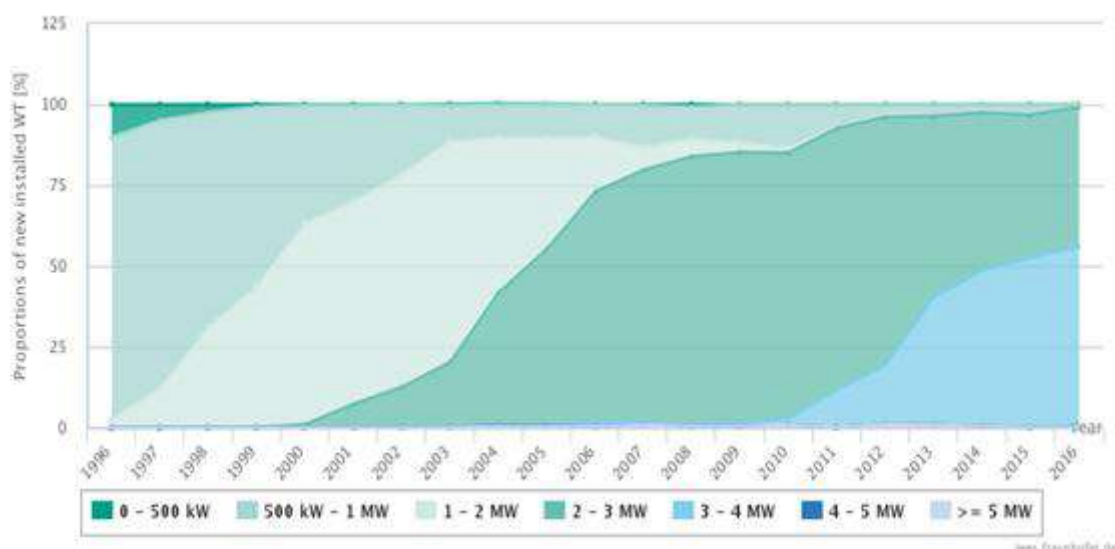


Figura 2.2: Instalação anual de turbinas eólicas, por classe de capacidade  
 Fonte: EWEA, 2012

Conforme pode ser observado na Figura 2.3, muitas das tecnologias de energia aumentaram seu tamanho e capacidade de conversão de energia durante os últimos 100 anos. Após a fase de aprendizado, ganhos em escala é outro fator de difusão da tecnologia no sistema de energia.

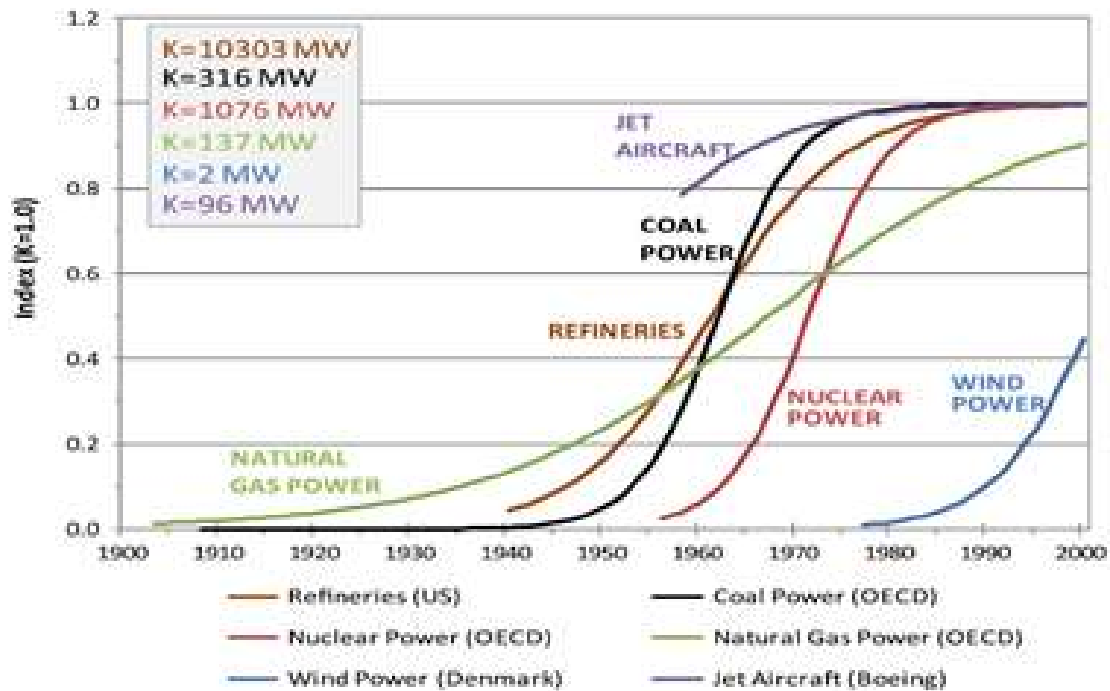


Figura 2.3: Crescimento da capacidade instalada ou *up-scaling* em tecnologias de energia em suas regiões centrais  
 Fonte: Wilson, 2012

A indústria de energia elétrica também tentou capturar economias de escala após a fase de consolidação nos anos 70. Desde 1995, mais de 40 fusões de empresas de energia elétrica nos EUA foram anunciadas, prometendo bilhões de dólares esperados em redução de custos (FEIBEL e BRITT, 2011). Contudo, poucas conseguiram atingir os benefícios de economia de escala. Dificuldades em capturar ganhos de eficiência da operação de grandes estruturas corporativas, barreiras para a consolidação de funções corporativas juridicamente e desafios de conformidade com os regimes regulatórios inconsistentes se combinam para minar as vantagens de grandes aglomerados de produção (FEIBEL e BRITT, 2011).

Apesar desses insucessos, analistas da indústria continuam a atribuir estes problemas a falhas estratégicas de gerenciamento, ao invés de deficiências estruturais da economia de escala de grandes projetos. Ainda, as falhas de projetos apresentadas são justificativas para investimento em novos projetos. Afinal, é melhor provar que o projeto teria sido bem sucedido, se tivesse sido apenas gerenciado corretamente, do que resolver subjacentes deficiências sistêmicas inerentes aos megaprojetos (FEIBEL e BRITT, 2011).

Outra explicação para a continuação dos interesses em megaprojetos de energia está relacionada com a percepção de que projetos maiores, com a produção mais

concentrada, tendem a criar uma maior eficiência no trabalho e no processo de inovação, mesmo que não tenham conseguido produzir as clássicas economias de escala.

No início dos anos 1990, o economista americano Paul Krugman apresentou uma série de estudos que deram origem ao movimento econômico conhecido como “*New Economic Geography*” ou Nova Geografia Econômica, uma tentativa de aplicar um raciocínio espacial na teoria econômica internacional (KAUL *et al.*, 2003). Este movimento, postulou que o suporte do setor público em *clusters* industriais poderia gerar benefícios de “*agglomeration externalities*”, ou economias de aglomeração. Uma economia de aglomeração ocorre quando uma atividade produtiva gera conhecimento público local ou outra externalidade positiva decorrente da concentração da atividade produtiva em uma mesma vizinhança (AURA, 2011).

O clássico exemplo de externalidade de aglomeração em ação é o intercâmbio informal de informações entre trabalhadores do Google e da Apple, devido a estes profissionais viverem e trabalharem no Vale do Silício. De acordo com esta teoria, trocas formais e informais entre estes trabalhadores os tornam mais produtivos em suas empresas, criando processos de inovação mais eficientes, que não teriam ocorrido em outras situações (AURA, 2011).

Economias emergentes têm provado algumas evidências que a “clusterização” de atividades industriais podem gerar eficiências produtivas (KRUGMAN, 2010). Como resultado, alguns países em desenvolvimento têm promovido esforços organizacionais para fortalecer a competitividade de certos setores industriais através do investimento em “iniciativas de aglomeração” ou “corredores de desenvolvimento”, através de parcerias entre o setor público-privado que projetam a concentração do fluxo físico de entrada e saída da produção em uma área. Para Ketels, Lindqvist e Sövel (2008), estes *clusters* e corredores também promovem o intercâmbio de negócios e conhecimento tecnológico e alavancam as economias de escala. A China, por exemplo, é o lar de centenas de *clusters* industriais, incluindo Wenzhou (que produz 95% dos isqueiros do mundo), Yanbu (capital do mundo em calcinhas) e Pengjiang (um *cluster* industrial de motocicletas e acessórios) (KETELS, LINDQVIST e SÖVEL, 2008).

Contudo, somente recentemente os economistas realizaram testes rigorosos para validar se os aglomerados realmente produzem benefícios de eficiência para as empresas participantes e benefícios públicos para os países. Os resultados são

heterogêneos. O economista Mercedes Delgado e seus colegas utilizaram dados disponíveis pelo *U.S Cluster Mapping Project* e descobriram que a aglomeração tem um efeito positivo no crescimento da taxa de salários e aumento do número de patentes (DELGADO, PORTER e STERN, 2012). O resultado de seus estudos sugere que, ao menos para economias industrializadas, a aglomeração talvez não só reduza o custo de produção mas também o custo de transação, reforçando as relações de trocas e transparência entre os mercados locais (DELGADO, PORTER e STERN, 2012).

No entanto, estas conclusões foram colocadas em contestação pelos economistas S.S. Rosenthal e W.C Strange. Eles utilizaram dados de negócios prominentes das empresas Dun e Bradstreet para calcular que a atividade econômica de pequenos estabelecimentos tem efeitos maiores sobre a inovação e a expansão da atividade econômica do que os grandes estabelecimentos (ROSENTHAL e STRANGE, 2010). De fato, de acordo com Rosenthal e Strange, a adição de uma unidade de emprego em grandes estabelecimentos tem um efeito insignificante ou até mesmo negativo na expansão do setor comparado com empresas de pequeno-médio porte.

Qualquer que seja o real impacto da economia de aglomeração, a popularidade da teoria geográfica econômica (Krugman ganhou o prêmio Nobel de economia em 2008), sem dúvida, tem impulsionado a continuação dos investimentos em megaprojetos, apesar de seus desempenhos pífios em termos de sobrecustos e atrasos de entrega.

Outro fator substancial impulsionando a tendência de megaprojetos é a expansão das restrições ambientais e licenciamentos requeridos. Pequenos ou grandes negócios têm se queixado sobre o crescimento das regulações governamentais, afirmando que os benefícios marginais para a saúde humana e segurança ambiental não justificam o massivo custo das novas restrições.

Em 2011, a câmara do congresso dos EUA realizou um estudo sobre os desafios econômicos que os projetos de energia enfrentavam (POCIASK e FUHR, 2011). O congresso concluiu que investidores privados estavam preparados para financiar, construir e operar projetos de energia que poderiam aumentar o PIB e gerar um número significativo de empregos. Contudo, ineficiências regulatórias frequentemente frustravam estes investimentos devido aos processos torturantes de licenciamento (POCIASK e FUHR, 2011). Em depoimento à câmara dos EUA, o representante da organização *American Fuel & Petrochemical Manufacturers* (AFPM) declarou que seus

membros gastavam uma excessiva quantidade de tempo e recursos cumprindo regulamentos que geram pouco ou nenhum benefício para o meio ambiente, enquanto desviavam capital de investimento essencial para o fortalecimento da infraestrutura de refino de combustível no país (AFPM, 2012).

Mesmo quando os projetos estão sujeitos aos mesmos regulamentos, a escala do projeto pode determinar substancialmente o impacto da regulação. Uma vez que os custos regulatórios geralmente não aumentam linearmente com o tamanho do projeto, o crescimento da regulação governamental pode inadequadamente estar encorajando maiores investimentos em megaprojetos.

A *National Small Business Association* (NBSA) lamentou que a regulação, reiteradas vezes, estabelece encargos desproporcionais para pequenos negócios, pois os encargos aplicados para os grandes projetos, de acordo com as exigências federais, não têm um impacto tão grande no custo unitário como têm nos projetos de pequena escala (NSBA, 2012). Ou seja, todas as burocracias devem ser cumpridas tanto pelo pequeno quanto pelo grande projeto, contudo o custo desses processos acabam pesando mais no orçamento de pequenos projetos e, muitas vezes, os inviabilizam.

A Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos EUA (*U.S. Environmental Protection Agency's - EPA's*), em estudos próprios, parece apoiar a afirmação de que os regulamentos têm um impacto maior no custo por unidade em projetos menores do que em outros maiores. A Figura 2.4 e a Figura 2.5 ilustram como a EPA demonstra que os custos de licenciamento quase não afetam a curva de fluxo de caixa de grandes projetos, que se mantêm lucrativos. Em contraste, os custos de licenciamento são suficientes para tornar projetos de pequena escala inviáveis (EPA, 2011).

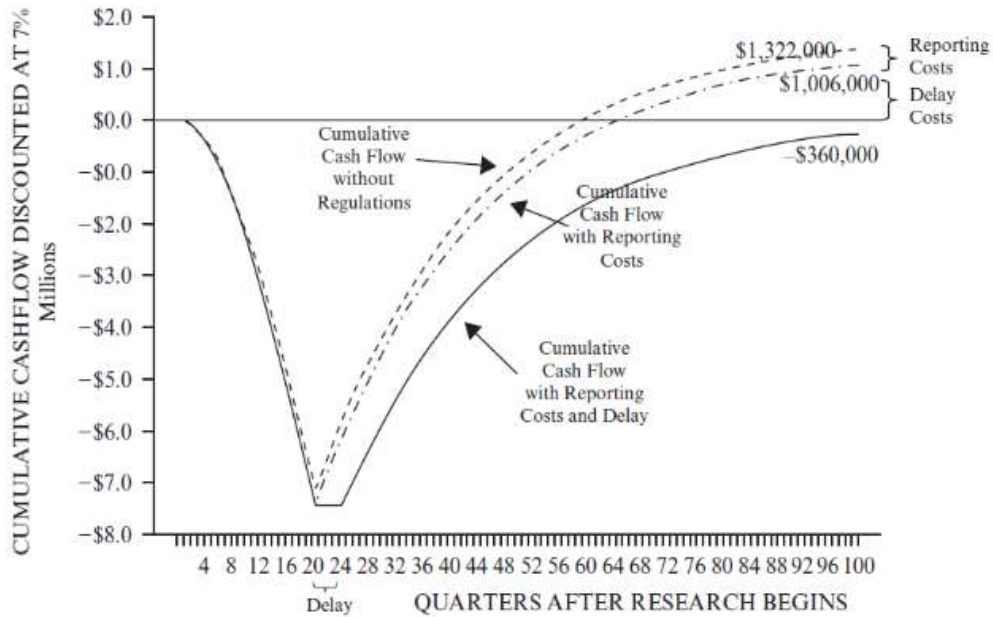


Figura 2.4: Efeito do licenciamento e atrasos nos lucros marginais de projetos de grande escala  
 Fonte: EPA, 2011

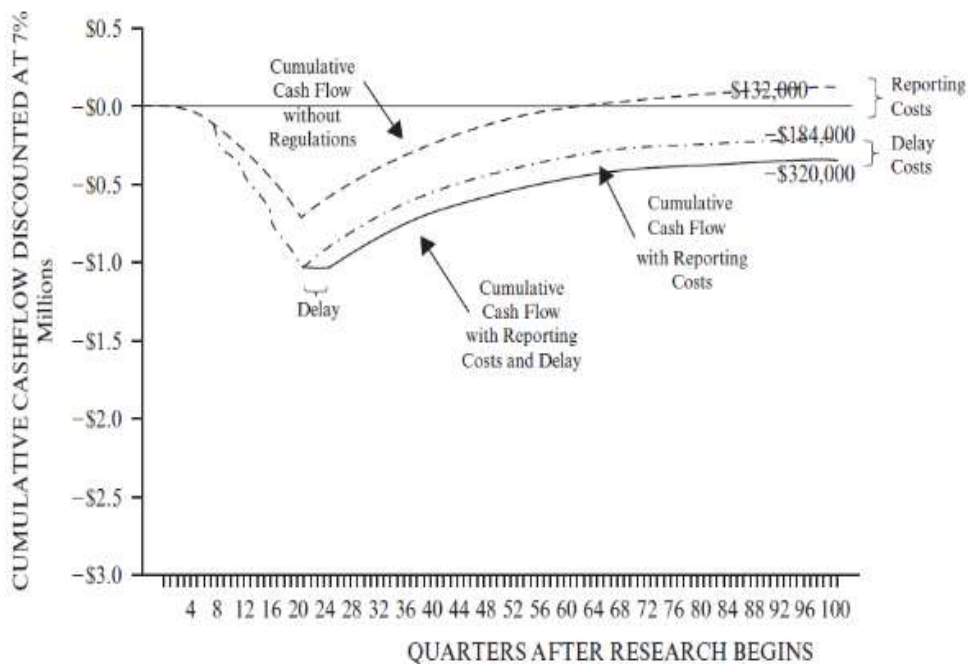


Figura 2.5: Efeito do licenciamento e atrasos nos lucros marginais de projetos de pequena escala  
 Fonte: EPA, 2011

No contexto brasileiro, este mesmo padrão parece também estar presente (BANCO MUNDIAL, 2008). A Tabela 2.1 mostra os valores dos custos médios e dos desvios padrões das plantas menores quando comparadas com as maiores. O custo médio por kW agregado é de US\$ 113/kW, mas nas menores chega a US\$ 142/kW, 60% maior que o estimado para as maiores que está em torno de US\$ 90/kW. A tabela

sugere que os custos de mitigação<sup>11</sup> socioambientais por kW ficam em US\$ 22/kW, ou seja, menos de 10% dos custos totais; no caso das maiores esse gasto tipicamente ambiental é quase nulo, apenas US\$ 0,02/kW.

É claro que muitas empresas procuram minimizar o custo unitário de licenciamento através do investimento em projetos maiores capazes de diluir estes custos entre os grandes montantes de produção. Da mesma forma, quando os empreendimentos são taxados com um número crescente de regulação, não faz sentido econômico reduzir o número de projetos para produzir o mesmo resultado (BANCO MUNDIAL, 2008). Assim, a tendência é investir em grandes projetos com processos e resultados centralizados do que em projetos menores, uma vez que estes são mais escalonáveis e não exigem duplicação de custos regulatórios.

Tabela 2.1: Custo dos componentes por kW

| Custo do componente (US\$/kW)   | Número de observações | Média  | Desvio Padrão |
|---------------------------------|-----------------------|--------|---------------|
| Custos sociambientais por kW    | 34                    | 133,21 | 106,72        |
| Usinas < 130 MW                 | 15                    | 141,78 | 148,41        |
| Usinas > 130 MW                 | 18                    | 90,44  | 51,77         |
| Custos de propriedades por kW   | 34                    | 58,19  | 76,4          |
| Usinas < 130 MW                 | 15                    | 78,92  | 106,7         |
| Usinas > 130 MW                 | 18                    | 42,83  | 35,45         |
| Custos de reassentamento por kW | 31                    | 30,41  | 34,28         |
| Usinas < 130 MW                 | 12                    | 25,58  | 28,44         |
| Usinas > 130 MW                 | 18                    | 31,39  | 37,92         |
| Custos de gestão por kW         | 21                    | 6,42   | 8,91          |
| Usinas < 130 MW                 | 12                    | 7,95   | 10,5          |
| Usinas > 130 MW                 | 9                     | 4,39   | 6,21          |
| Custo Social por kW             | 23                    | 10     | 7,55          |
| Usinas < 130 MW                 | 13                    | 11,15  | 8,81          |
| Usinas > 130 MW                 | 10                    | 8,5    | 5,6           |
| Custos de mitigação por kW      | 26                    | 21,65  | 20,33         |
| Usinas < 130 MW                 | 14                    | 28,26  | 24,52         |
| Usinas > 130 MW                 | 12                    | 0,02   | 0,01          |

Fonte: Banco Mundial, 2008

Um outro fator que está atraindo a atenção para os megaprojetos de energia é as companhias nacionais de energia e as pressões competitivas que elas colocam em empresas multinacionais privadas.

<sup>11</sup> Gastos do projeto associados aos impactos ambientais que são exigidos por lei, resultantes das condicionantes da avaliação ambiental ou decorrentes de decisões ou acordos judiciais

De acordo com Mitchell e Mitchell (2013), a OPEC e as *National Oil Companies* (NOCs) produzem juntas 39% dos hidrocarbonetos do globo. Depois de atender a demanda doméstica dos seus países sedes, as NOCs fornecem 18 milhões de barris por dia ou aproximadamente 20% do óleo comercializado diariamente no mundo.

A emergência de empresas nacionais de energia como principais produtoras influencia o desenvolvimento de megaprojetos de duas maneiras. Em primeiro lugar, porque as empresas nacionais de energia têm acesso barato a capital de investimento e suas motivações vão além do lucro. Estes investimentos exercem pressão econômica sobre as empresas privadas para realizarem investimentos maiores, mais capitais intensivos.

Um estudo concluiu que, sem exceções, as companhias nacionais de energia têm metas que vão além da maximização dos retornos para os investidores (OLCOTT, 2007). De fato, companhias nacionais de energia são, frequentemente, ferramenta de políticas estratégicas e externas de um país, que devem garantir no mínimo a segurança de abastecimento de combustíveis no território nacional.

Por exemplo, o rápido “apetite” da Índia por energia, explica porque a *Oil and Natural Gas Corporation* (ONGC) da Índia, cujo principal acionista é o governo indiano – controla aproximadamente 85% das ações da empresa - continua a investir em uma ampla gama de projetos controversos, incluindo um gasoduto que conecta o Irã ao território indiano, contra o qual os Estados Unidos se coloca veementemente (OLCOTT, 2007).

As companhias nacionais de energia também possuem uma considerável vantagem de mercado devido aos subsídios públicos para os consumidores domésticos. No Irã, por exemplo, motoristas de táxi semi-privados se beneficiam de subsídios para o preço do gás, pagando cerca de 10 centavos de dólar o litro (OLCOTT, 2007).

Em segundo lugar, as companhias nacionais de energia têm acesso a vastos recursos públicos sem as exigências políticas e regulatórias que tornariam a exploração não lucrativa para investidores privados. Contudo, muitas dessas companhias não possuem todo a *expertise* técnica ou receita financeira para realizar a exploração dos recursos eficientemente. Para desenvolver os megaprojetos essas empresas geralmente fazem *joint-venture* com empresas multinacionais, onde as empresas nacionais controlam a taxa de retorno. Conforme Koppenjan (2008), este tipo de parceria é



percebida com uma oferta de “*marriage in heaven*”, em que o governo ganha capital e *expertise* técnica e as empresas privadas barganham vantagens regulatórias e acesso a recursos públicos.

Uma outra explicação de porque as empresas continuam a investir em megaprojetos de energia, apesar dos desapontamentos, é a premissa otimista de que as tentativas e erros poderão eventualmente resultar em um modelo de gestão de megaprojetos e novas técnicas de construção (SOVACOOOL e COOPER, 2013).

Empresas que trabalham com megaprojetos acreditam que irão descobrir a padronização correta de megaprojetos, que poderá ser replicada de maneira efetiva em outros projetos. Em outras palavras, essa teoria sugere que os erros cometidos nos megaprojetos são um pré-requisito para torná-los corretos. Em um primeiro momento, essa teoria parece contra-intuitiva. Mas, a padronização tem sido o *Santo Graal* da gestão de megaprojetos de energia por décadas (SOVACOOOL e COOPER, 2013).

Considere a padronização do *design* e licenças dos reatores nucleares. Após várias sugestões da indústria de energia nuclear relativas ao aumento da agilidade dos métodos de regulamentação de plantas nucleares, em março de 1973, a Comissão de Energia Atômica (AEC) dos EUA anunciou que estava preparada para considerar pedidos de revisão e de licenciamento padronizado de *design* de reatores nucleares e de importantes usinas do sistema (TROSTEN e MOORE, 1974). Notavelmente, a AEC apontou a segurança dos reatores como um dos benefícios mais importante do aumento da padronização (AEC, 1974).

Contudo, pouco depois da normalização da AEC, ocorreu o quase colapso da planta de *Three Mile Island*, seguido do colapso real em Chernobyl, que destruiu a lógica de segurança por trás da padronização do *design*. *Three Mile Island* e Chernobyl tragicamente demonstraram que o maior perigo da energia nuclear não vem de falhas em procedimentos de projeto, mas a partir de falhas em implementação devido ao erro humano (HOLDREN, 2003).

Embora os defensores da próxima geração de reatores nucleares continuem a argumentar que a padronização do *design* irá agilizar o licenciamento, a velocidade de construção e reduzir os custos de capital (THORNTON, 2011), uma equipe interdisciplinar do MIT usou algumas ferramentas mais avançadas para avaliar o risco de erro humano na indústria nuclear e concluiu que “*the potential impact to the public*

*from safety or waste management failure . . . make it impossible today to make a credible case for the immediate expanded use of nuclear power” (HOLDREN, 2003).*

Em termos simples, a lição que pode ser retirada da indústria nuclear é que projetos padronizados não podem eliminar a interação humana e a padronização de procedimentos só é bem sucedida na medida em que é seguida. O erro humano será sempre a chave de problemas das melhores padronizações de sistemas.

Apesar destas lições históricas, as empresas continuam a almejar padronização de *design* de projetos e protocolos de gerenciamento, convencidas de que alavancar semelhanças de escopo irá reduzir os custos de capital e melhorar a operação (MCKENNA, WILCZYNSKI e VANDERSCHIEE, 2006). Alguns líderes da indústria de óleo & gás estão aplicando o conceito de padronização de *design* e gestão de procedimentos para superar as falhas ocorridas em megaprojetos no passado. Por exemplo, o CEO da ExxonMobil, recentemente promoveu o conceito “*design one, build many*”, como a chave de execução de megaprojetos efetivamente (MCKENNA, WILCZYNSKI e VANDERSCHIEE, 2006).

Padronização, no entanto, não se limita ao escopo e materiais utilizados. Muitos líderes da indústria acreditam que a padronização do desenvolvimento do projeto e gestão dos processos irá agilizar a tomada de decisão, reduzir atrasos entre tarefas e definir métodos mais eficientes de reuniões e objetivos. Por exemplo, um vice-presidente sênior da Statoil comentou que a padronização da exploração e a descoberta de protocolos poderia reduzir dramaticamente os processos internos de validação da Statoil e permitir que as equipes dos megaprojetos tomem decisões mais rápidas e efetivas (MCKENNA, WILCZYNSKI e VANDERSCHIEE, 2006).

O desenvolvimento desta concepção de projeto replicável e de um modelo de gestão pode ser a explicação mais saliente para a continuação de investimento em megaprojetos, apesar dos consistentes baixos registros de gerenciamento efetivo de projetos (SOVACOOOL e COOPER, 2013).

Na década de 1920, o arquiteto Alemão Herman Sörgel propôs um plano ambicioso para cortar o mar do Mediterrâneo, do oceano Atlântico e do Mar Negro, através da construção de barragens em Gilbratar e Gallipoli (LAAK, 2009). No projeto de Sörgel enormes hidrelétricas construídas na foz dos rios gerariam eletricidade para garantir o futuro do abastecimento de toda Europa. Este projeto, que criaria um

continente europeu expandido pela construção de uma barragem gigante no Estreito de Gibraltar, ficou conhecido como Atlantropa (LAAK, 2009).

Apesar de que o continente Euro-Africano de Sörgel nunca tenha se concretizado, seu sonho representa um tipo de romantismo técnico-social que alguns historiadores e sociólogos sugerem continuar a impulsionar forças intangíveis por trás dos megaprojetos, especialmente, megaprojetos em países em desenvolvimento.

De acordo com essa teoria, os megaprojetos possuem uma função não apenas técnica, mas também servem como um símbolo da estrutura racional humana perante a existência caótica. Assim como a Muralha da China e, mais recentemente, a hidrelétrica de Três Gargantas e Burj Khalifa são representações artísticas das maiores realizações culturais da humanidade (LAAK, 2009).

Ainda, para alguns historiadores-sociólogos, o fato de esses projetos tenderem a estar espacialmente situados em países em desenvolvimento não é um acidente, uma vez que muitos líderes políticos e culturais promovem os megaprojetos como um indicador do estilo de vida ocidental e seus excedentes. As grandes quantidades de aço e concreto provam a capacidade de desenvolvimento e modernização que permitem os países a prosperar após um legado de dominação colonial (LAAK, 2009). Jawaharlal Nehru, o primeiro Primeiro-Ministro da Índia independente do domínio britânico, foi tão longe que chamou as novas barragens hidroelétricas do país de "os novos templos da Índia" (MORRISON, 2010).

Contudo, ironicamente, algumas teorias afirmam que alguns desses megaprojetos também funcionam como instrumento de manipulação de interesse de poderosos grupos neo-colonizadores para acumulação de capital para instituições financeiras e os interesses de empresas multinacionais de construção civil e de corporações globalizadas (GELLERT e LYNCH, 2003).

O sociólogo Paul Gellert e Barbara Lynch da Universidade Cornell, por exemplo, argumentam que a ideologia que promove o desenvolvimento de megaprojetos são obra de "comunidades epistêmicas", grupos de elite providas de órgãos estaduais, instituições internacionais de crédito e o setor privado globalizado. Estas comunidades compartilham de uma cultura otimista de tomada de decisão que favorecem massivas, rápidas mudanças e racionalização da exclusão e deslocamento das

populações afetadas como uma evolução natural em direção à modernidade (GELLERT e LYNCH, 2003).

A fé na tecnologia e a crença na capacidade de superar a natureza conduz instituições internacionais de crédito, empresas de construção e Estados a serem tendenciosos em favor a projetos de maior escala, criando o que Gellert e Lynch descrevem como o ciclo “*Big is Beautiful*” (GELLERT e LYNCH, 2003)

Contudo, frequentemente, os estudos de viabilidade, planos de engenharia e projeções econômicas expandem a fase de gestação dos megaprojetos, os custos de transação acumulados acabam por: “alimentar o crescimento de grandes empresas, as quais solicitam ao Estado e bancos internacionais investimentos para que elas possam manter seu massivo e especializado inventário de equipamentos trabalhando e se movendo com garantia, de um projeto para o próximo” (GELLERT e LYNCH, 2003). De acordo com essa explicação, a concepção de megaprojetos a partir de uma visão modernista se tornou concreta para alimentar um vasto e crescente complexo industrial-financeiro mundial.

## **2.2 Análise internacional dos sobrecustos e atrasos**

A análise quantitativa do desempenho dos megaprojetos do setor de energia será fundamentada em bases de dados internacionais elaboradas por especialistas da área.

A primeira base de dados analisada foi retirada de Sovacool, Gilbert e Nugent (2014). Os autores coletaram dados confiáveis do custo e do tempo de construção para todos os tipos de plantas de geração maiores que 1 MW de capacidade instalada e projetos de linhas de transmissão maiores que 10 km. A amostra contém 6 tipos de projetos: termelétricas, plantas de geração que dependem de combustíveis como carvão, óleo, gás natural e biomassa; reatores nucleares; hidrelétricas; parques eólicos; parques solares fotovoltaicos (PV) e heliotérmicos (CSP); e, linhas de transmissão de alta tensão.

A elaboração da base de dados foi construída através de dois processos. Primeiramente, foi realizado contato com 49 especialistas da área de energia, listados no Apêndice I da pesquisa de Sovacool, Gilbert e Nugent (2014). O segundo processo consistiu na pesquisa de centenas de documentos de projetos, comunicados de imprensa e relatórios, listados no Apêndice II da pesquisa de Sovacool, Gilbert e Nugent (2014).

Foram incluídos na base de dados somente os projetos em que foram encontrados todos os dados relativos a: ano em que o projeto entrou em serviço; localização geográfica; nome do projeto; capacidade instalada (MW); custo de construção estimado; custo de construção real; e se disponível, o tempo estimado e real de construção dos projetos (SOVACOOOL, GILBERT e NUGENT, 2014). O Apêndice A deste trabalho apresenta os dados dos 401 projetos analisados. Todos os valores foram ajustados de acordo com a inflação acumulada do período de 2012 a 2016, o valor da taxa foi retirado do *Web site US Inflation Calculator*, acessado em setembro de 2016 (US INFLATION CALCULATOR, 2016).

Ao trabalhar com dados dessa maneira, algumas ressalvas e limitações precisam ser elaboradas. Primeiro, a coleta de dados terminou em janeiro de 2014, os projetos que não iniciaram os serviços até essa data foram eliminados, ou seja, muitas das piores observações não estão contempladas na amostra. Segundo, devido a obscuridade e complexidade desse tipo de projeto, as informações são dispersas, não confiáveis e muitas vezes não divulgadas pelos promotores dos empreendimentos. Assim, ao trabalhar com uma amostra reduzida de 401 observações, admite-se a limitação de representatividade da população. Ademais, como observa-se na Figura 2.6, dos 401 projetos analisados, 180 são projetos de reatores nucleares, o que enviesava a amostra e a análise setorial.

## Descrição da base de dados

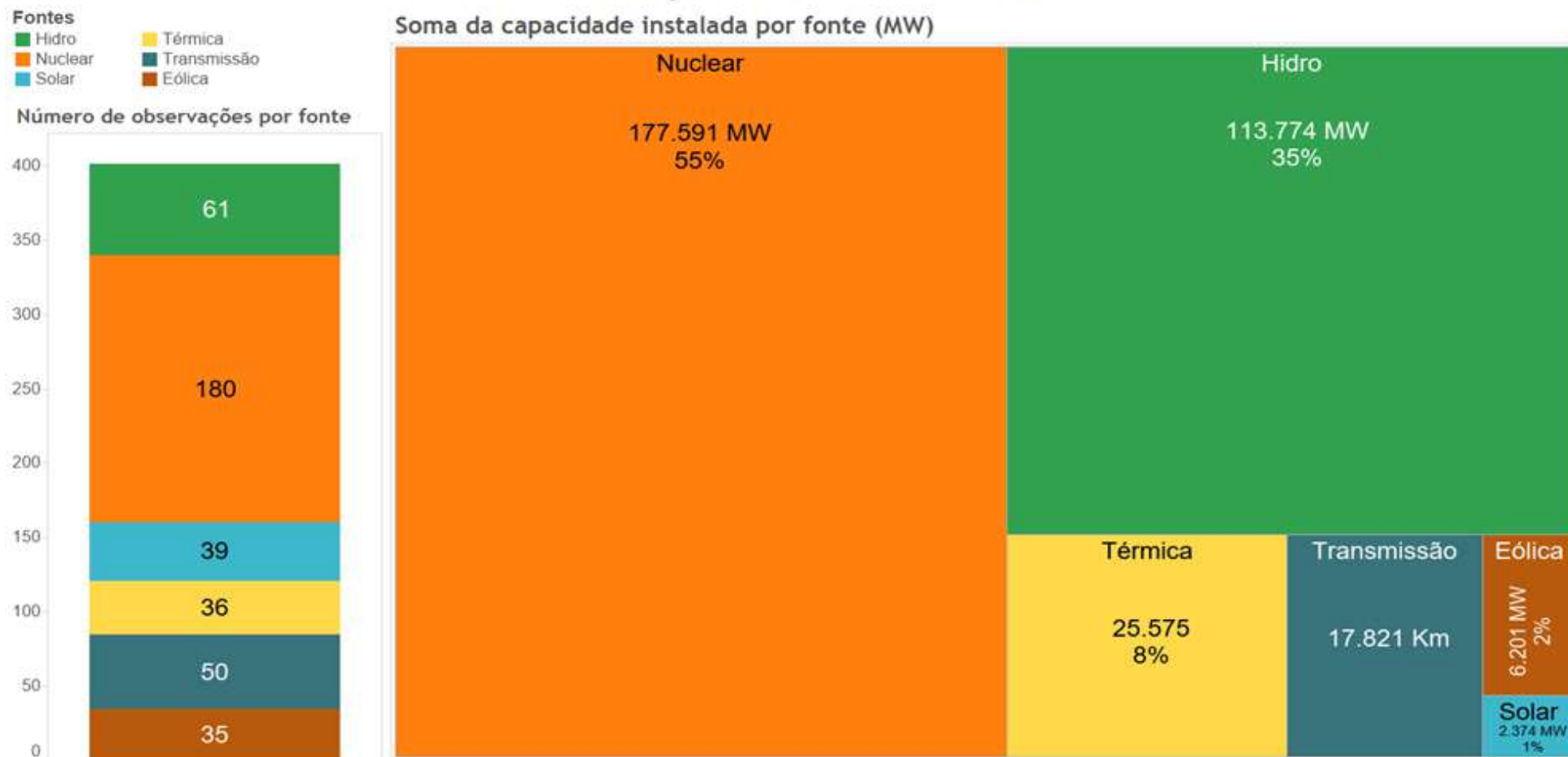


Figura 2.6: Descrição da base de dados  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o *hiperlink* da imagem)  
 Fonte: Autor (2016).

A definição de tempo de início e término do projeto não está clara, uma vez que, alguns estudos costumam medi-los em termos do primeiro derramamento de concreto, outros usam o tempo de mobilização e outros, ainda, utilizando o tempo de pré-construção incluindo o processo de licenciamento e pedido de equipamentos. Foi, simplesmente, aceita a definição de início e término declarada nas documentações (RAMANA, 2009). Quanto à definição de custo de construção, foi tratada como “o processo de montagem dos componentes de instalação, a realização das obras civis e a instalação de componentes antes do início da entrada em operação comercial” (BENOIT e NOEL, 2011). Esta definição, embora concisa, nem sempre pode levar a números precisos, uma vez que informações detalhadas de custo são, frequentemente, uma propriedade, o que cria uma discrepância potencial entre os relatórios públicos e privados (CARTER, 2010).

Postas as limitações do estudo, foi feita a análise de sobrecustos e atrasos incorridos na construção de 401 projetos de eletricidade desenvolvidos entre 1936 e 2014 em 57 países. Em suma, estes projetos necessitaram de US\$ 858 bilhões de investimento e somaram 325.515 MW de capacidade instalada, além de 8.495 km de linhas de transmissão.

Observa-se na Figura 2.7 a capacidade instalada durante as décadas, o custo médio final em US\$/kW e a composição dos investimentos por fonte em cada década. Nota-se a crescente evolução do custo médio do kW durante os anos, ficando claro que o custo da construção de plantas de geração de energia elétrica ficou mais alto e não mais baixo com o passar do tempo. Isto sugere um efeito negativo na curva de aprendizado dos custos e tempos de construção dos empreendimentos energéticos.

## Análise temporal da base de dados

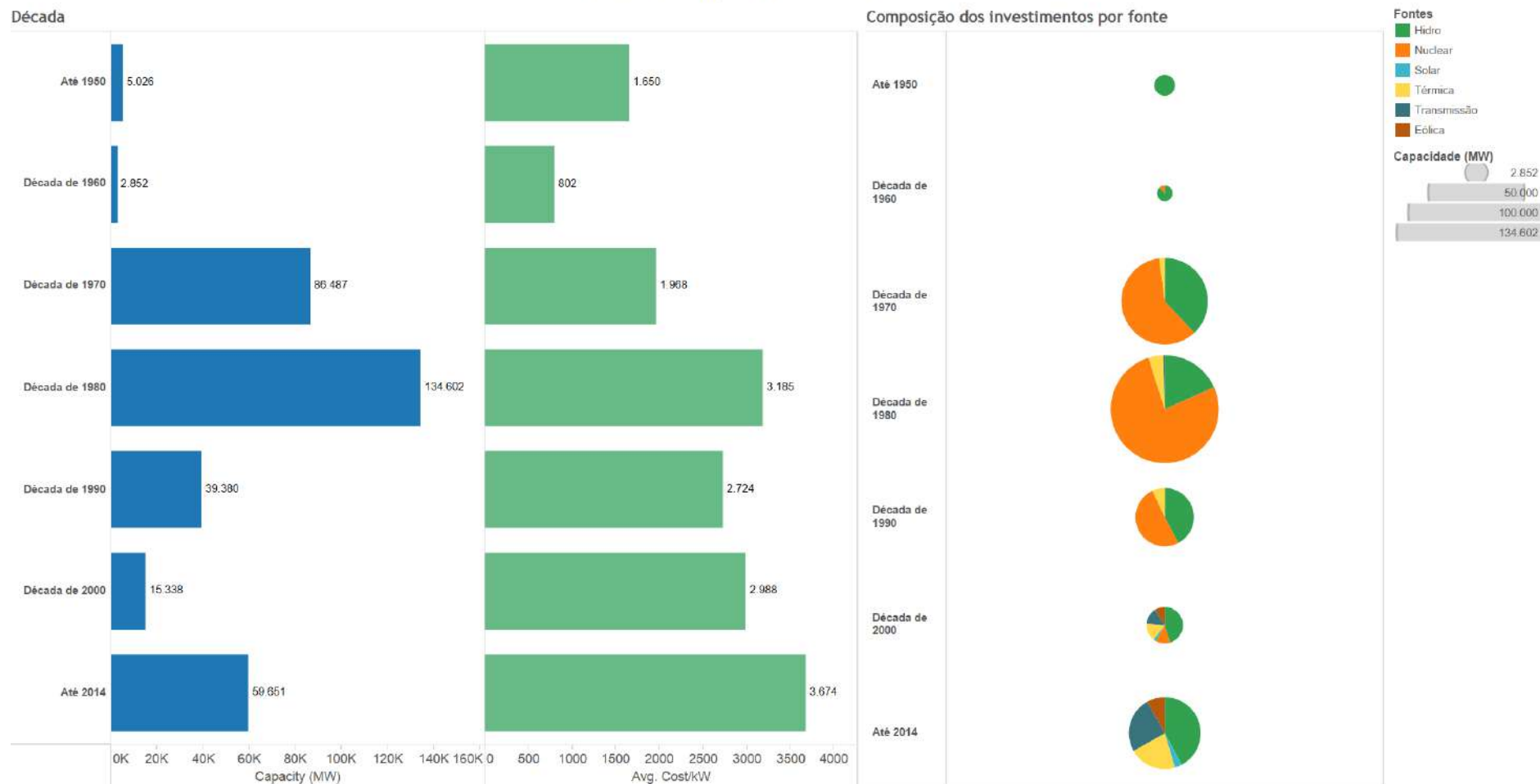


Figura 2.7 : Capacidade instalada, custo US\$/kW e composição dos investimentos por década  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o [hiperlink](#) da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016



O index elaborado pela IHS (2016) também confirma essa tendência nos preços de geração, Figura 2.8 e Figura 2.9. Um fator que pode estar induzindo essa tendência geral são as políticas nacionais e as novas exigências dos marcos regulatórios (IHS, 2016).

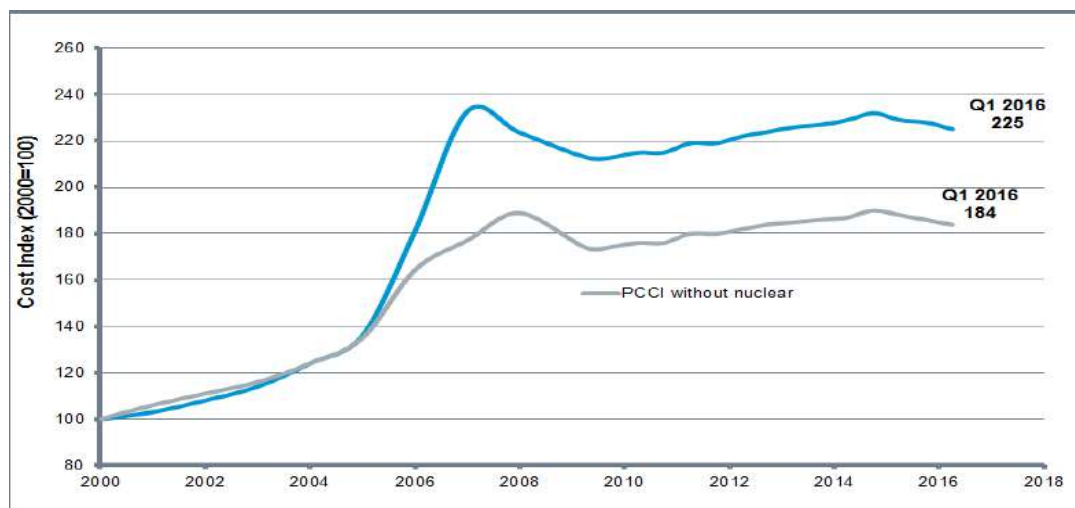


Figura 2.8: Índice de custo de capital de energia elétrica nos EUA  
 Fonte: IHS North American Power Capital Costs Service

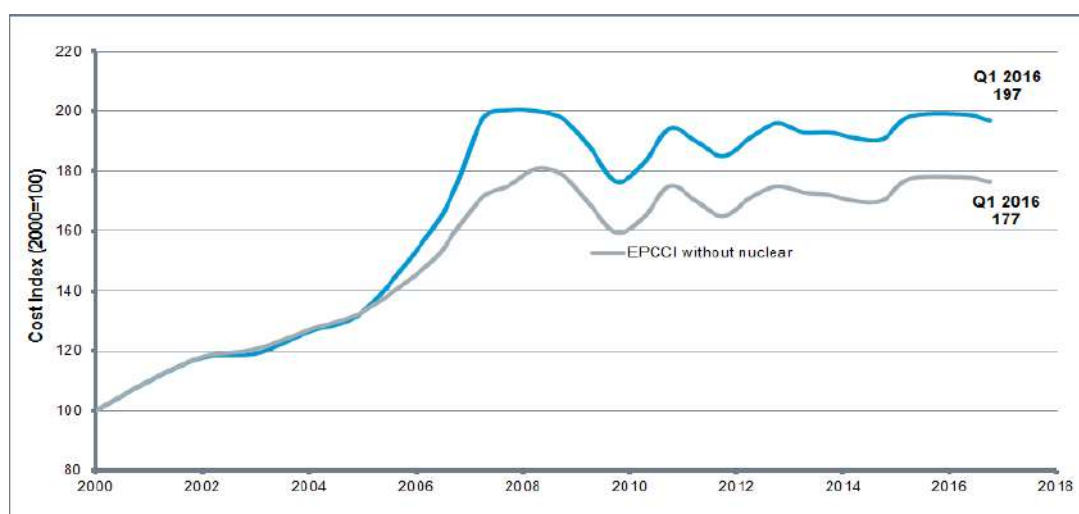


Figura 2.9: Índice de custo de capital de energia elétrica na Europa  
 Fonte: IHS European Power Capital Costs Service

Outro fator que se pode notar é a alteração dos investimentos; a década de 80 foi marcada por investimentos em fontes de energia de origem nuclear. Um dos fatores que explica esse aumento seriam os choques do petróleo na década de 70, que fizeram muitos países apostarem na energia nuclear como alternativa de abastecimento energético, uma vez que o custo das térmicas a óleo combustíveis havia se tornado inviável (SOVACOOOL, GILBERT e NUGENT, 2014). Os reatores nucleares reduziram

sua participar no portfólio de investimento após os acidentes de Three Mile Island, Chernobyl e mais recentemente, Fukushima (SOVACOOOL, GILBERT e NUGENT, 2014).

Paralelamente, percebe-se o aumento das tecnologias que aproveitam fontes renováveis, particularmente a eólica e a solar, que tiveram uma maior contribuição para a expansão mundial da capacidade geradora de energia elétrica a partir da década de 2000. Esse crescimento decorre da necessidade de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) e da redução dos custos de investimento, graças ao desenvolvimento tecnológico, ganhos de escala, incentivos de natureza fiscal, financeira e tarifária que beneficiam tais aproveitamentos.

Considerando toda a amostra, o tempo médio de atraso foi de 73,4 meses e o custo médio dos sobrecustos foi na ordem de US\$ 1 bilhão ou 66% em média do valor inicialmente estimado. Mais de três quarto dos projetos da amostra sofreram sobrecusto, com diferença significativa para cada classe de referência. Nota-se na Figura 2.10 os custos acumulados estimados e realizados por fonte.

Observa-se na Figura 2.11 a variação, em termos percentuais, do custo estimado e realizado para cada classe. Nota-se que a fonte nuclear e a hídrica são as que apresentam um delta em termos absolutos mais elevado, que evidencia a natureza mais arriscada desses investimentos. Em seguida, as fontes de geração térmica apresentam um desvio mais acentuado, enquanto as demais indicam um erro tolerável.

Custo estimado e realizado (milhões de US\$2016) por fonte

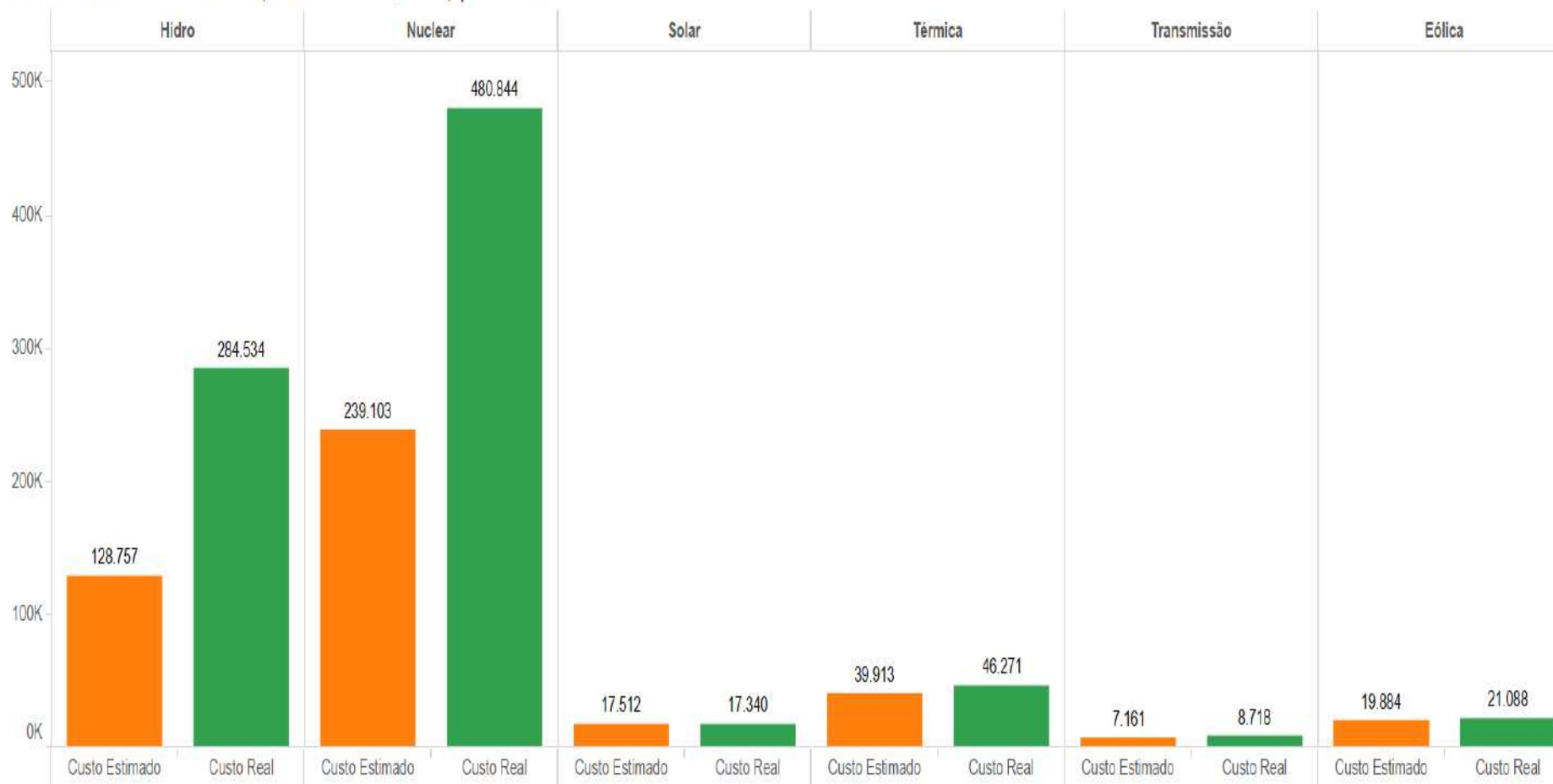


Figura 2.10: Custo estimado e real em milhões de US\$2016 por fonte  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o *hiperlink* da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016.

Em termos percentuais, torna-se claro o risco associado aos investimentos nucleares e hidrelétricos, o primeiro apresenta uma variação de 117,3% enquanto o segundo 70,6%. Estas duas tecnologias, ditas como fontes baratas de energia, acabam por encorajar seus promotores a subestimar os custos e sobre-estimar os benefícios. Para Flyvbjerg, Bruzelius e Rothengatter (2003), os projetos que são feitos para parecerem melhores no papel são os projetos que apresentam os maiores sobrecustos e déficits de benefícios na realidade.

**Sobrecustos em termos percentuais por fonte**

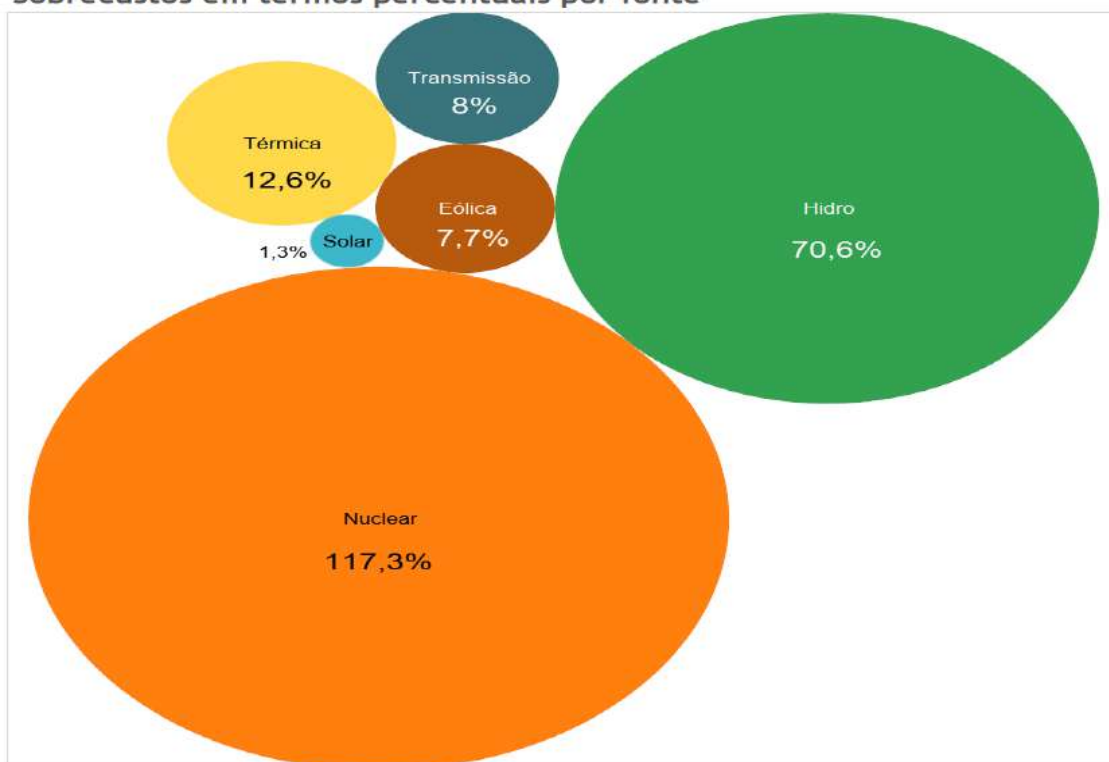


Figura 2.11: Sobrecustos em termos médios percentuais por fonte  
 Fonte: Autor, 2016

Ao comparar o resumo estatístico em base percentual dos sobrecustos e atrasos por fonte, Figura 2.12, nota-se as dispersões das observações da amostra. Em relação aos atrasos, a energia nuclear, seguida pela hídrica, continuam a apresentar as maiores dispersões. É interessante observar que a geração térmica apresenta uma média de sobrecusto de 12,6% e atrasos de 10,36%, contudo sua distribuição de tempo de atraso é mais assimétrica. O mesmo é válido para a geração eólica e as linhas de transmissão que apresentam uma média de atraso de 9,54% e 7,47%, respectivamente. Em termos médios estes valores são próximos aos sobrecustos das fontes, porém a dispersão dos tempos de construção são maiores. Este pode ser um indicativo de que os atrasos

incurridos na construção dessas fontes de geração não implicam diretamente em sobrecustos.

Outro fator importante que pode ser observado na Figura 2.12 é a presença de *outliers*<sup>12</sup>, com destaque para geração nuclear nos sobrecustos e para a geração hidrelétrica no tempo de atraso. A usina nuclear Shoreham, nos Estados Unidos, custou 1.279,7% a mais do que foi inicialmente estimada, saindo por um total de 7.504,2 milhões de dólares. O projeto hidrelétrico Bakun foi o que apresentou o valor mais discrepante de tempo de construção – 401,7% - planejado para terminar em 241 meses só foi concluído após 301 meses, o que representa um desvio de 5 anos.

---

<sup>12</sup> As observações que apresentam um grande afastamento das restantes ou são inconsistentes com elas são habitualmente designadas por *outliers*. Estas observações são também designadas por observações “anormais”, contaminantes, estranhas, extremas ou aberrantes.

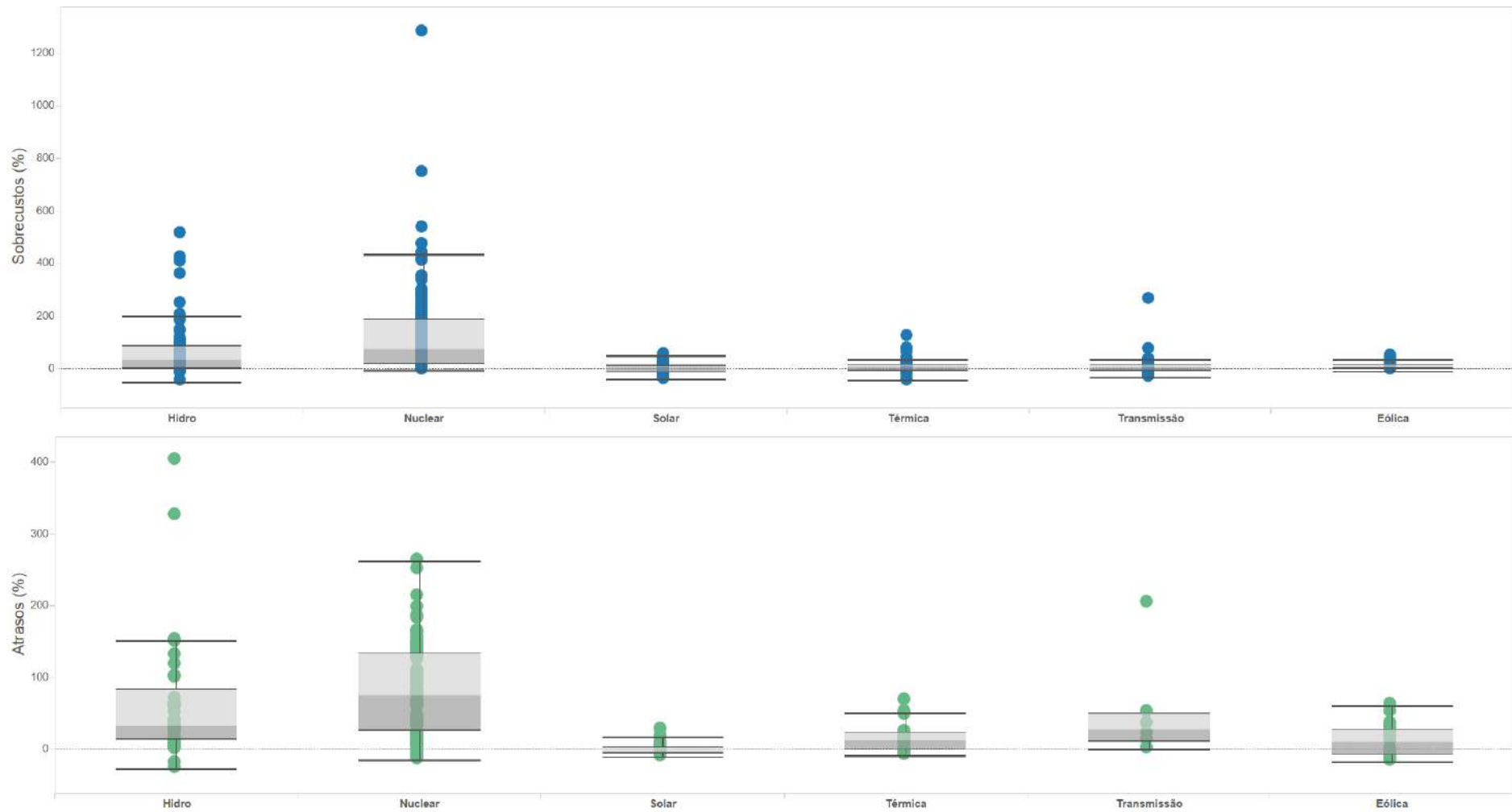


Figura 2.12 : Boxplot dos sobrecustos e atrasos (%) por fonte  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o [hiperlink](#) da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016

Também foi realizada a análise de frequência para se obter as curvas de distribuição de probabilidade dos sobrecustos e atrasos. A análise de frequência chamada neste trabalho de “setor energético” foi elaborada utilizando todas as observações da amostra. O objetivo é conhecer o desempenho do setor como um todo. Em seguida, o mesmo procedimento foi realizado para cada fonte.

A Figura 2.13 ilustra o histograma dos sobrecustos e dos atrasos do setor energia. Visualmente, a análise indica uma distribuição de probabilidade de cauda longa, o que caracteriza o setor de construção de projetos voltados para a geração de energia elétrica como um setor de riscos elevados.

A partir dessa análise podemos conhecer a probabilidade de se obter um custo de até 10% do custo original, para essa amostra, é de 23,4%. Sobrecustos de 10 a 20% do valor inicial é de 12,7% e sobrecustos de 20 a 30% é de 4,4%. A probabilidade da ocorrência de custos inferiores ao valor orçado em até 10% é de 8,7%. Para os atrasos, faixas de variabilidade são semelhantes. A probabilidade de um atraso de até 10% do tempo estimado é de 28,1%. Atrasos de 10 a 20% do planejado é de 7% e de 20 a 30 % também de 7%. A probabilidade do término da construção finalizar antes do esperado em até 10% é de 6%.

### Análise de frequência

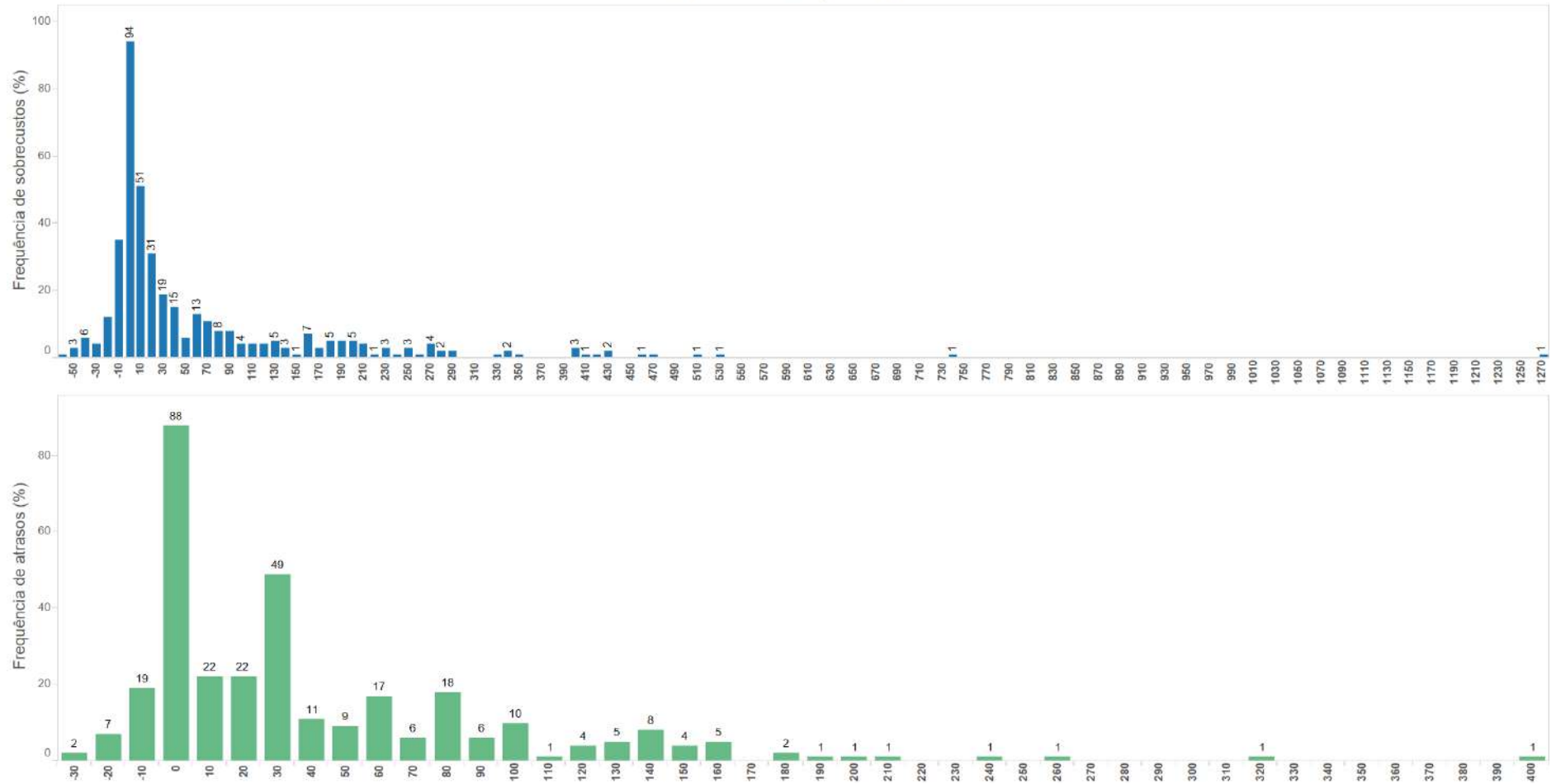


Figura 2.13: Análise de frequência dos sobrecustos (%) e atrasos (%) do setor energia  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o [hiperlink](#) da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016



Antes de ajustar uma ou mais distribuições para um conjunto de dados é, geralmente, necessário escolher bons candidatos entre um conjunto pré-selecionado de distribuições. Esta escolha pode ser guiada pelo conhecimento dos processos estocásticos, que rege a variável modelada ou, na ausência de conhecimento sobre o processo subjacente, pela observação de sua distribuição empírica (MULLER e DUTANG, 2015).

Os gráficos e a caracterização da distribuição empírica dos sobrecustos e atrasos estão representadas na Figura 2.14. A esquerda temos o histograma em uma escala de densidade (PDF), de acordo com os valores dos argumentos do histograma - foram considerados blocos de tamanho 10 (%) - e, à direita, tem-se a função de distribuição cumulativa empírica (CDF).

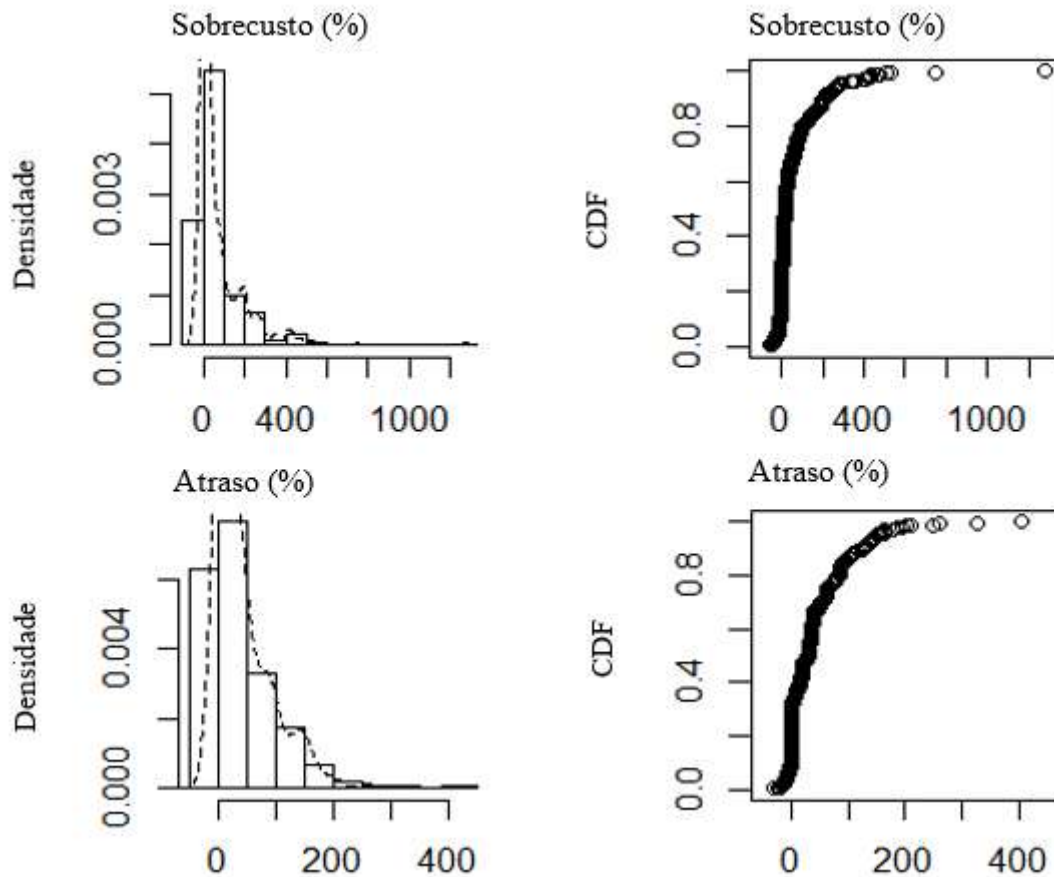


Figura 2.14: Plot do histograma e da CDF dos sobrecustos (%) e atrasos (%)  
 Fonte: Autor, 2016

Além dos gráficos empíricos, a estatística descritiva pode ajudar a escolher os candidatos para descrever uma distribuição entre um conjunto de distribuições paramétricas. Especialmente a assimetria e curtose são úteis para este fim. Uma

assimetria não nula revela uma falta de simetria da distribuição empírica, enquanto o valor da curtose quantifica o peso das caudas em comparação com a distribuição normal, cujo o valor da curtose é igual 3 (MULLER e DUTANG, 2015). A Tabela 2.2 apresenta os valores da estatística descritiva para os sobrecustos e atrasos do setor.

Tabela 2.2: Resumo estatístico dos sobrecustos e atrasos (%) do setor energético

| Sobrecusto (%)         | Atraso (%)            |
|------------------------|-----------------------|
| min: -50,6 max: 1279,7 | min: -28.6 max: 401.7 |
| mediana: 17,7          | mediana: 30.45        |
| média: 66,3            | média: 43,7           |
| desvio padrão: 123,0   | desvio padrão: 57,2   |
| assimetria: 3,969709   | assimetria: 2,082562  |
| curtose: 29,79844      | curtose: 9,718617     |

Fonte: Autor, 2016

Na Figura 2.15, os valores das distribuições mais comuns são apresentadas a fim de ajudar na escolha das distribuições para representar os dados. Para algumas distribuições (normal, uniforme, logística, exponencial), há apenas um valor possível para a assimetria e a curtose. Deste modo, a distribuição é representada por um único ponto no gráfico. Para outras distribuições, as áreas de possíveis valores são representadas por linhas (como para a gama e lognormal), ou áreas maiores (como para o distribuição beta) (MULLER e DUTANG, 2015).

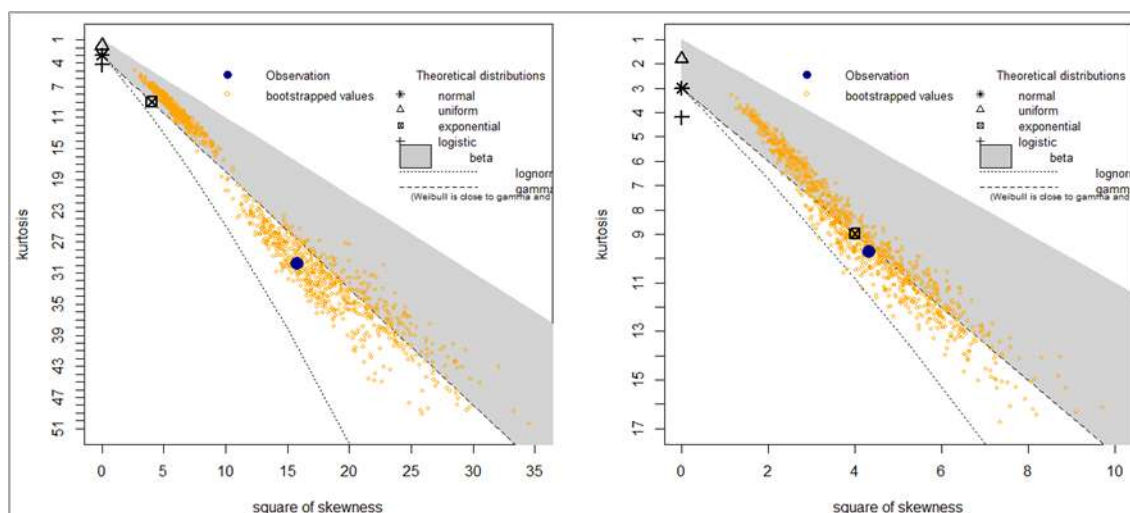


Figura 2.15: Gráfico de Cullen e Frey do sobrecusto (%) a esquerda e atrasos (%) a direita  
Fonte: Autor, 2016

Foram selecionadas três distribuições paramétricas que podem melhor se ajustar ao conjunto de dados, a distribuição Normal<sup>13</sup>, a distribuição Lognormal e a distribuição Gamma. Os parâmetros da distribuição empírica foram estimados pela maximização da função de verossemelhança, definida como:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta) \quad (2)$$

Onde  $x_i$  representa as  $n$  observações da variável  $X$  e  $f(.|\theta)$  é a função de densidade da distribuição paramétrica (MULLER e DUTANG, 2015).

O gráfico da densidade e da CDF são considerados os gráficos clássicos de teste de aderência. Os outros gráficos são complementares e podem ser muito informativos em alguns casos, Figura 2.16. O Q-Q plot enfatiza a falta de ajuste da distribuição das caudas enquanto o P-P plot enfatiza a falta de ajuste do centro da distribuição (MULLER e DUTANG, 2015).

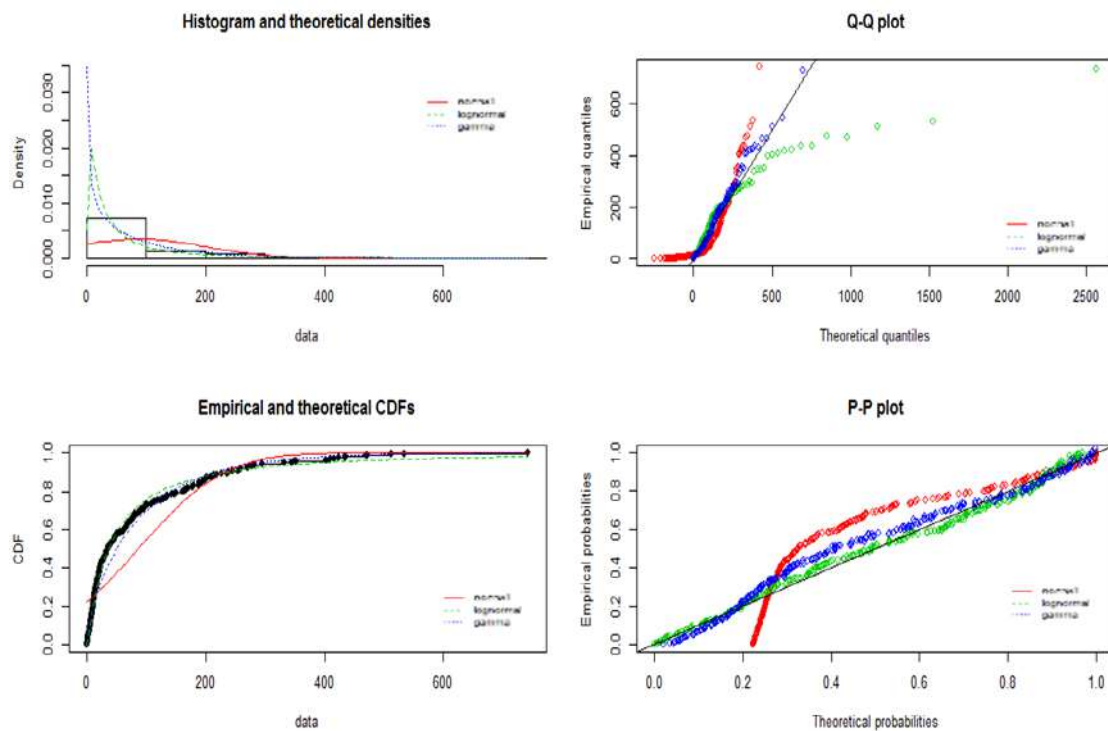


Figura 2.16: Ajuste dos sobrecustos (%) as distribuições selecionadas  
Fonte: Autor, 2016

<sup>13</sup> Foi selecionada a distribuição normal, pois muitos analistas a utilizam para descrever os processos estocásticos e elaborar cronogramas físicos-financeiros

Para o caso dos sobrecustos, Figura 2.16, nenhuma das três distribuições descreve precisamente o conjunto de dados, contudo as distribuições lognormal e gama poderiam ser selecionadas para melhor descrever a cauda longa da distribuição empírica. A descrição da distribuição das caudas é especialmente importante nos casos de avaliação de risco.

O objetivo da estatística de teste de aderência é mensurar a distância entre os valores de referência da distribuição paramétrica e da distribuição empírica. Existem três testes clássicos de aderência na literatura que serão utilizados nesse estudo: Cramer-von Mises, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling (D'AGOSTINO e STEPHENS, 1986).

Devido a atribuir maior peso a distribuição de caudas longas, a estatística de Anderson-Darling é especialmente interessante quando é importante enfatizar a cauda, bem como caracterizar o corpo principal de uma distribuição (CULLEN e FREY, 1999). Por esta razão, esta estatística é frequentemente utilizada para selecionar a melhor distribuição em avaliações de risco. Neste estudo, ela será usada como critério de escolha para definir a distribuição de melhor ajuste ao conjunto de dados. Observa-se na Tabela 2.3 os resultados obtidos no estudo.

Tabela 2.3: Estimativa empírica dos três testes de estatística de aderência considerados para os sobrecustos

|                                | normal     | lnorm      | gama       |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| Kolmogorov-Smirnov statistic   | 0.2227811  | 0.05427038 | 0.09894339 |
| Cramer-von Mises statistic     | 4.9250210  | 0.18314243 | 0.71841025 |
| Anderson-Darling statistic     | 26.5231179 | 1.22352722 | 3.79644236 |
| Goodness-of-fit criteria       |            |            |            |
|                                | normal     | lnorm      | gama       |
| Aikake's Information Criterion | 3695.593   | 3238.303   | 3255.097   |
| Bayesian Information Criterion | 3703.000   | 3245.711   | 3262.504   |

Fonte: Autor, 2016

Para este caso, todos os testes estatísticos de aderência baseados na distância da CDF estão a favor da distribuição lognormal, caracterizada por dois parâmetros (localização e escala), os valores AIC e BIC<sup>14</sup> também dão preferência para a

<sup>14</sup> O Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério Bayesiano de Schwarz (BIC) são critérios para seleção de modelos baseados na razão de verossimilhança. O teste da razão de verossimilhança é apropriado para testar dois modelos, o modelo com menor valor de AIC e BIC é considerado o modelo de melhor ajuste (ANDRÉ e REGAZZI, 2008).

distribuição lognormal. Os valores dos parâmetros da distribuição dos sobrecustos (lognormal) e dos atrasos (Gama)<sup>15</sup> estão descritos na tabela abaixo, Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Resumo dos parâmetros de distribuição de probabilidade.

| Variável   |   |
|------------|---|
| Sobrecusto | Distribuição: Lognormal<br>$\alpha = 3,83$ e $\mu = 0,95$ |
| Atraso     | Distribuição: Gama<br>$\kappa = 1,45$ e $\theta = 50$     |

Fonte: Autor, 2016

Nota-se na Figura 2.17 abaixo a análise de frequência dos sobrecustos de cada fonte de geração de energia. É interessante notar a diferente distribuição de frequência dos sobrecustos entre as diferentes fontes; destacam-se dois grupos: o primeiro composto pela tecnologia nuclear e hídrica, e o segundo composto pelas fontes renováveis e térmicas.

Um aprendizado positivo era esperado para todas as fontes: uma vez que gestores, construtores e operadores ganham experiência, seria de se esperar que os tempos de construção e custos reais diminuíssem e melhorias na tecnologia deveriam reduzir ainda mais os custos. Estes ganhos são possíveis devido a melhorias nas avaliações dos recursos, *softwares* de modelagem, melhoras nas práticas de engenharia e nos processos de construção (ARWAS, 2012). Contudo, reduções significativas nos custos finais dos projetos têm sido atribuídas a rápida “aprendizagem”, principalmente, nas usinas térmicas, solares e eólicas, como pode ser observado.

A Tabela 2.5 apresenta o resumo estatístico dos sobrecustos (%) de cada fonte. O mesmo procedimento estatístico adotado acima foi utilizado para ajustar uma distribuição paramétrica ao conjunto de dados. O resultado<sup>16</sup> está apresentado abaixo.

<sup>15</sup> Os mesmos procedimentos foram adotados para estimar os parâmetros da distribuição empírica dos atrasos.

<sup>16</sup> É importante ressaltar que a distribuição de probabilidade de sobrecusto foi elaborada apenas com os valores maiores que zero, uma vez que, o objetivo é avaliar a distribuição de sobrecustos e atrasos. Além disso, para as classes de referência que tiveram um número de observações positivas menores que 30 não foi realizado o ajuste a uma distribuição paramétrica, pois a robustez dessa estimativa é contestável. Nestes casos, sugere-se trabalhar com uma distribuição triangular adotando os valores mínimos, medianos e máximos, descritos na Tabela 2.5.



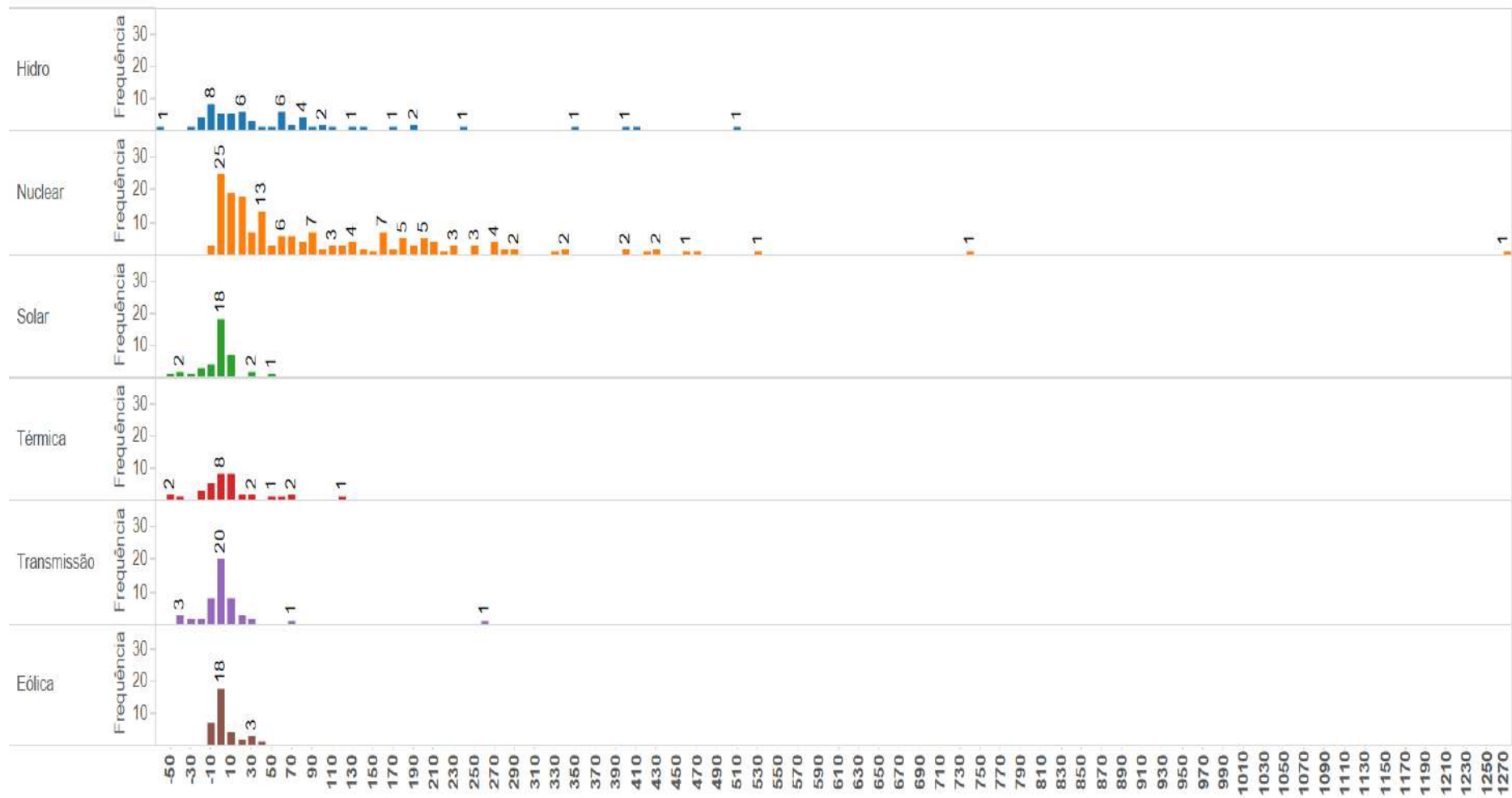


Figura 2.17: Análise de frequência dos sobrecustos (%) por fonte  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o *hiperlink* da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016

Tabela 2.5: Resumo estatístico dos sobrecustos (%) por fonte

| Variável                              | Hidrelétrica                      | Nuclear                           | Térmica        | Eólica         | Solar      | Transmissão    |            |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|------------|----------------|------------|
| Número de projetos                    | 61                                | 180                               | 36             | 35             | 39         | 50             |            |
| Número de projetos com sobrecusto (%) | 47                                | 175                               | 24             | 20             | 16         | 20             |            |
| Sobrecusto (%)                        | Média                             | 70,6                              | 117,3          | 12,6           | 7,7        | 1,3            | 8          |
|                                       | Min                               | 0,9                               | 1,3            | 1,2            | 0,4        | 2              | 2,3        |
|                                       | Max                               | 512,7                             | 1279,7         | 120            | 44,4       | 50             | 260        |
|                                       | Mediana                           | 65,6                              | 67             | 14,3           | 8,6        | 12,85          | 15,4       |
|                                       | Desvio Padrão                     | 116,5                             | 152,8          | 29,9           | 13,6       | 12,9           | 56,1       |
|                                       | Assimetria                        | 2,12                              | 3,41           | 1,78           | 0,94       | 1,65           | 3,98       |
|                                       | Curtose                           | 7,28                              | 22,61          | 5,84           | 2,55       | 5,43           | 19,74      |
|                                       | Distribuição                      | gama                              | gama           | triangular     | triangular | triangular     | triangular |
| parâmetros                            | $\kappa = 0,876$ e $\theta = 125$ | $\kappa = 0,769$ e $\theta = 166$ | 1,2; 14,3; 120 | 0,4; 8,6; 44,4 | 2; 4,8; 50 | 2,3; 15,4; 260 |            |

Fonte: Autor, 2016

A Figura 2.18 apresenta a análise de frequência por fonte e a Tabela 2.6 o resumo estatístico do atraso também por classe de referência. O número reduzido de observações dificulta a inferência estatística. Contudo, pode-se notar que as fontes solares e eólicas, devido à rápida curva de aprendizagem, apresentam um tempo de entrega inferior ao estimado inicialmente.

Tabela 2.6: Resumo estatístico dos atrasos (%) por fonte

| Variável                          | Hidrelétrica                      | Nuclear                         | Térmica         | Eólica       | Solar        | Transmissão       |            |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|------------|
| Número de projetos                | 61                                | 180                             | 36              | 35           | 39           | 50                |            |
| Número de projetos com atraso (%) | 29                                | 165                             | 11              | 8            | 5            | 6                 |            |
| Atraso (%)                        | Média                             | 63,7                            | 64              | 10,4         | 9,5          | -0,2              | 7,5        |
|                                   | Min                               | 2,9                             | 1,7             | 4,3          | 10           | 2,5               | 10,4       |
|                                   | Max                               | 401,7                           | 261,9           | 66,7         | 60           | 25                | 202,5      |
|                                   | Mediana                           | 38                              | 56,7            | 16,7         | 26,8         | 8,3               | 41,6       |
|                                   | Desvio Padrão                     | 90,8                            | 51,3            | 20,2         | 17,1         | 9,3               | 71         |
|                                   | Assimetria                        | 2,53                            | 1,15            | 1,21         | 0,79         | 0,91              | 2,17       |
|                                   | Curtose                           | 9,82                            | 4,17            | 3,29         | 2,7          | 2,66              | 7,99       |
|                                   | Distribuição                      | log-normal                      | gama            | triangular   | triangular   | triangular        | triangular |
| parâmetros                        | $\kappa = 3,74$ e $\theta = 1,10$ | $\kappa = 1,70$ e $\theta = 50$ | 4,3; 66,7; 16,7 | 10; 26,8; 60 | 2,5; 8,3; 25 | 10,4; 41,6; 202,5 |            |

Fonte: Autor, 2016

Apesar das limitações impostas pelo tamanho da amostra, fica claro que os sobrecustos e atrasos são comuns para todas as fontes de geração de energia elétrica, com algumas fontes de geração apresentando desvios mais acentuados e, sendo assim, devem passar por análises de riscos mais detalhadas.





### 2.3 Influência geográfica

Uma outra análise desenvolvida foi a avaliação de que, independentemente da classe de referência, a localização dos projetos teria influência nos sobrecustos e atrasos. Países com uma governança mais robusta, melhores avaliações de impacto social e ambiental, prestação de contas e maior participação dos investidores poderiam ter uma maior transparência em seus processos e um menor risco de sobrecustos do que países com fraca governança regulatória. Um outro agravante nos países em desenvolvimento é a questão da volatilidade da inflação e da taxa de câmbio, uma vez que, variações nessas variáveis exógenas pode afetar severamente o desempenho dos projetos (SOVACOOOL, GILBERT e NUGENT, 2014).

Adicionalmente, economias em desenvolvimento são mais suscetíveis a ter falta de profissionais capacitados, maiores custos produtivos, necessidade de trabalhadores estrangeiros e atrasos em projetos. Por último, alguns projetos, cujo o principal foco deveria ser a ampliação da oferta de energia, acabam por ter outros fins, como a venda de armas e a promoção da democracia. Assim, quando os custos da infraestrutura suportam outros objetivos, os custos do projeto não são tratados como críticos (LANKESTER, 2013).

Talvez por essas razões complexas, Flyvberg, Mette e Soren (2002) constataram que, para os projetos de transporte, “a subestimação dos custos parece ser mais pronunciada nos países em desenvolvimento do que na Europa e na América do Norte”. A Comissão Mundial de Barragens (2000), também concluiu que as construções “de pior desempenho” ocorreram na “Ásia Central e no Sul da Ásia”, com excesso de custos em média de 108% e 138%, respectivamente (WCD, 2000).

A Figura 2.19 indica que de acordo com os dados utilizados essa hipótese não se confirma. Os países da OECD apresentam o maior sobrecusto médio (69,78%), contudo esse valor é certamente influenciado pelos reatores nucleares da amostra; excluindo os projetos nucleares o sobrecusto médio se reduz para 21,1%. A grande influência do desempenho das nucleares é um indicativo de quão frequente os sobrecustos e atrasos ocorrem na construção de reatores nucleares. Os países do BRICS<sup>17</sup> apresentam o

---

<sup>17</sup> BRICS é um acrônimo que se refere aos países membros do grupo BRICS: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

segundo maior sobrecusto (69,52%), influenciado fortemente pelo baixo desempenho das usinas hidrelétricas.

Em relação aos atrasos, os países da OCDE apresentam um atraso próximo da média (43,7%). O destaque fica para os países localizados no Centro-Ásia<sup>18</sup> (97,3%) e na América Latina (65,4%), seguidos pelos BRICS (52%). Para o desempenho de tempo e construção fica clara a baixa performance dos países em desenvolvimento. Muitos desses atrasos são motivados pela falta de uma pré-infraestrutura e outras razões já explicitadas acima.

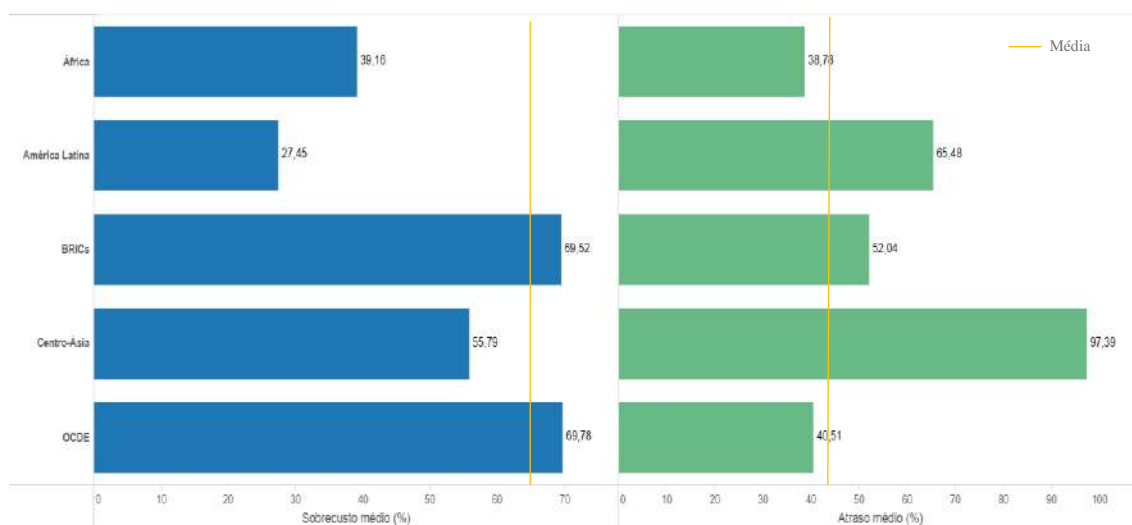


Figura 2.19: Influência da localização geográfica nos sobrecustos e atrasos médios (%)  
(Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o [hiperlink](#) da imagem)

Fonte: Autor, 2016

Além dos valores médios é importante analisar a dispersão da amostra, Figura 2.20. Novamente, nota-se que não se pode concluir que os países desenvolvidos apresentam um desempenho significativamente melhor do que das economias emergentes.

A explicação aqui pode estar no que Richard Hirsh chama de “êxtase tecnológico”. De acordo com Hirsh (1989), ocorreu um declínio nas melhoras tecnológicas na indústria elétrica nas décadas de 1960 e 1970. A eficiência nas plantas térmicas se estabilizaram, deseconomias de escala e novas barreiras introduzidas não foram superadas pelos engenheiros e operadores do sistema. A crença de que a tecnologia poderia superar esses problemas levou a desastrosas decisões de negócios baseadas em premissas de uma futura melhora tecnológica que nunca se materializou.

<sup>18</sup> Bangladesh, Fiji, Indonésia, Cazaquistão, Malásia, Paquistão, Tadjiquistão, Tailândia, Iêmen, Arábia Saudita.

Dessa forma, ocorreu uma generalização de sobrecustos e atrasos por todos os países estudados, independente da estrutura de governança. Com algumas diferenças significativas, porém não conclusivas sobre a influência geográfica no desempenho.

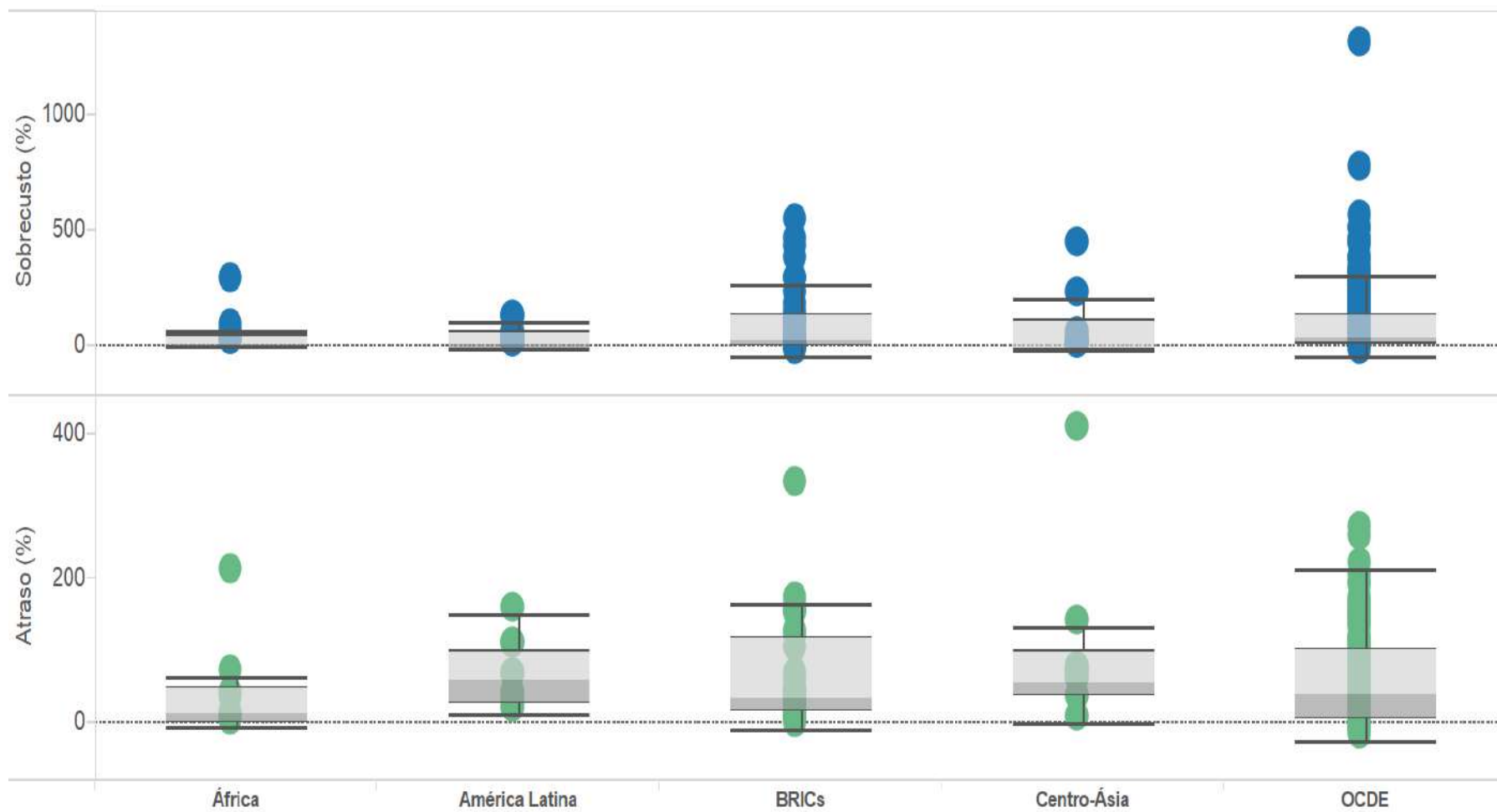


Figura 2.20: Dispersão dos sobrecustos e atrasos (%) por região  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o *hiperlink* da imagem)  
 Fonte: Autor, 2016

## 2.4 Influência do tamanho do projeto

Foi desenvolvida uma outra análise para avaliar se o tamanho dos projetos tinha influência nos atrasos e sobrecustos, em magnitude. Nota-se na Figura 2.21 e na Figura 2.22 que o aumento da capacidade instalada dos projetos tem efeito negativo sobre as variáveis estudadas. É interessante observar que projetos que são mais modulares, como o caso dos parques solares e eólicos, que podem ser construídos com materiais pré-fabricados, são menos sensíveis ao tamanho dos projetos.

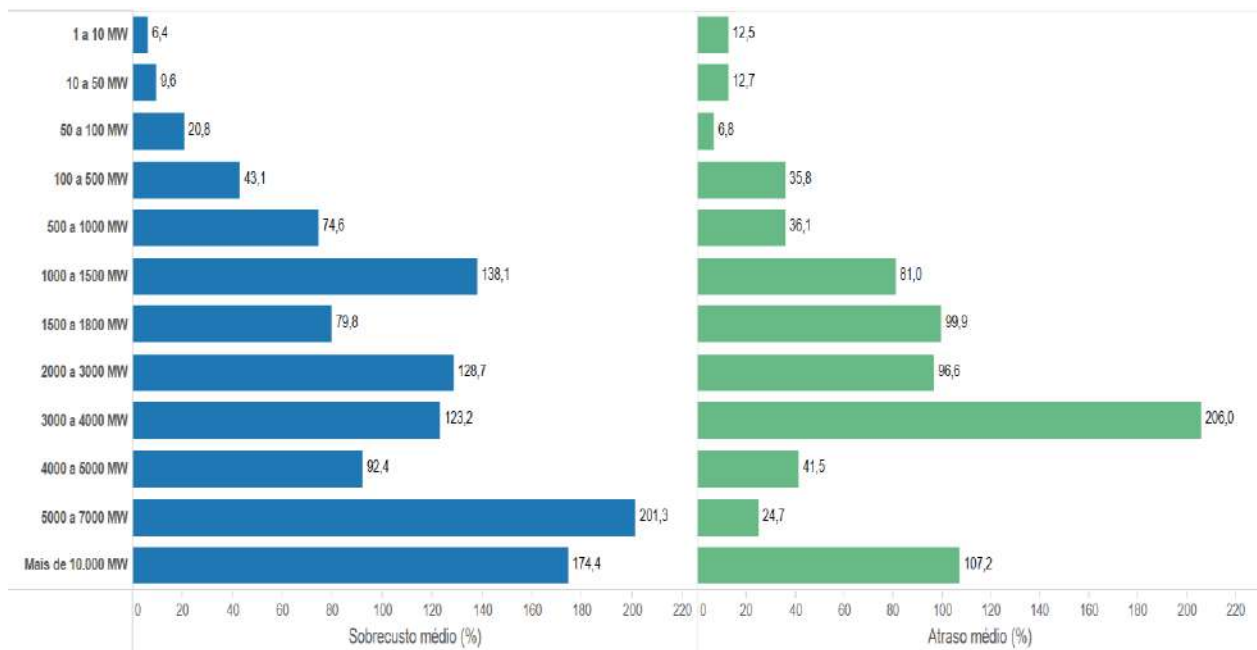


Figura 2.21: Influência do tamanho do projeto na média dos sobrecustos e atrasos (%)

(Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o [hiperlink](#) da imagem)

Fonte: Autor, 2016

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), os projetos pequenos e equipamentos modulares para o fornecimento de eletricidade e calor podem fornecer energia segura mais rápido do que grandes sistemas (OLZ e KIRCHNER, 2010). Os projetos modulares têm a vantagem de prover “diversas escalas de calor” dependendo do serviço energético demandado pelos consumidores residenciais e comerciais. Além disso, a IEA também concluiu que sistemas modulares possuem um menor risco técnico de falhas.

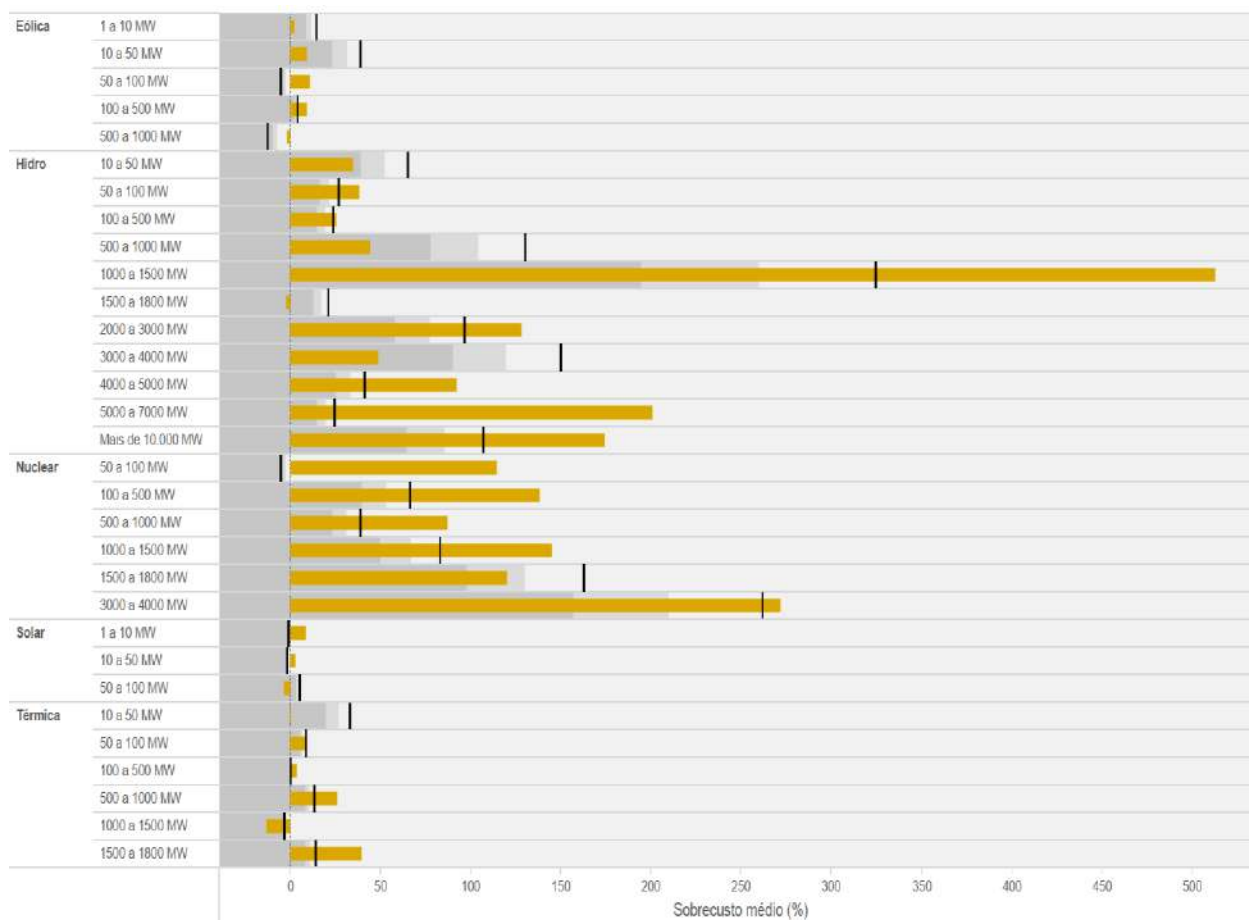


Figura 2.22: Influência do tamanho do projeto nos sobrecustos em termos médios (%)  
 (Para ter acesso ao gráfico e dados, abra o *hiperlink* da imagem)

Fonte: Autor, 2016

Diante destas constatações antagônicas fica a dúvida de qual o melhor modelo a ser adotado pelo sistema energético: um sistema com grandes unidades geradoras? Um sistema modular e disperso? Ou um sistema híbrido de tecnologias e modelos de negócios? Cada um desses modelos apresenta vantagens e desvantagens, que devem ser ponderadas e mensurados pelos planejadores e *policy makers* para tomada de decisão dos futuros investimentos energéticos, que muito provavelmente terão um novo *design dominante* nos próximos.

Observa-se na Tabela 2.7 abaixo as principais vantagens e desvantagens identificadas na literatura da utilização da geração distribuída em relação a centralizada (MATOS e CATALÃO, 2013):

Tabela 2.7: Vantagens e desvantagens da geração distribuída

|                     | Vantagens   | Desvantagens  |
|---------------------|---|---|
| Geração Distribuída | Redução das perdas energéticas e o aumento dos níveis de fiabilidade de todo o sistema, prazos de entrega curtos e de baixo risco de investimento, utilização de fontes renováveis, redução de emissão de gases de efeito estufa. | Fluxo de potência inverso, flutuações no perfil de tensão, aumento dos níveis de falhas, distorção harmónica e problemas de estabilidade. |

Fonte: Autor, 2016.

Os benefícios alcançados com a introdução da geração descentralizada na minimização das perdas, na melhoria do perfil de tensão, na fiabilidade do sistema de distribuição e na redução dos riscos de investimento no setor, fazem com que os estudos sobre a implementação desta tecnologia tenham uma elevada importância no contexto elétrico.

## 2.5 O setor de óleo e gás

Para o setor de óleo e gás a avaliação de desempenho da entrega dos projetos no tempo e custo estimados inicialmente também apresenta baixa performance. Segundo o estudo desenvolvido pela EY (2014), que avaliou o desempenho de 365 megaprojetos, constatou-se que uma elevada percentagem de projetos falharam em entregar os resultados dentro do tempo e do orçamento previamente aprovados.

No estudo citado acima foram identificados 365<sup>19</sup> projetos, cujo capital de investimento fosse superior a US\$ 1 bilhão, nos seguintes segmentos da indústria: *upstream*, GNL, gasodutos e refinarias (EY, 2014). Cumulativamente estes projetos somam cerca de US\$ 2,6 trilhões e são distribuídos globalmente e através dos quatro segmentos, como pode se notar na Figura 2.23 e na Figura 2.24.

<sup>19</sup> Dos 365 projetos analisados, 205 apresentavam os dados de custos, e 242 os dados de tempo estimado e realizado.



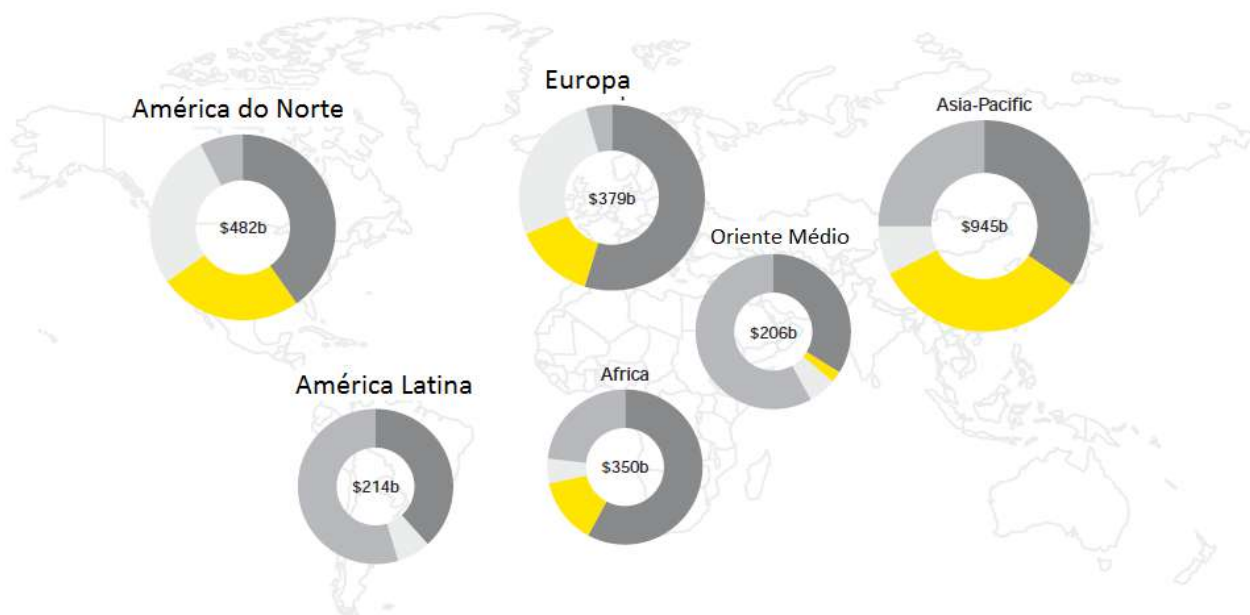


Figura 2.23: Distribuição dos investimentos pelo globo  
 Fonte: EY pesquisa e análise, 2014.

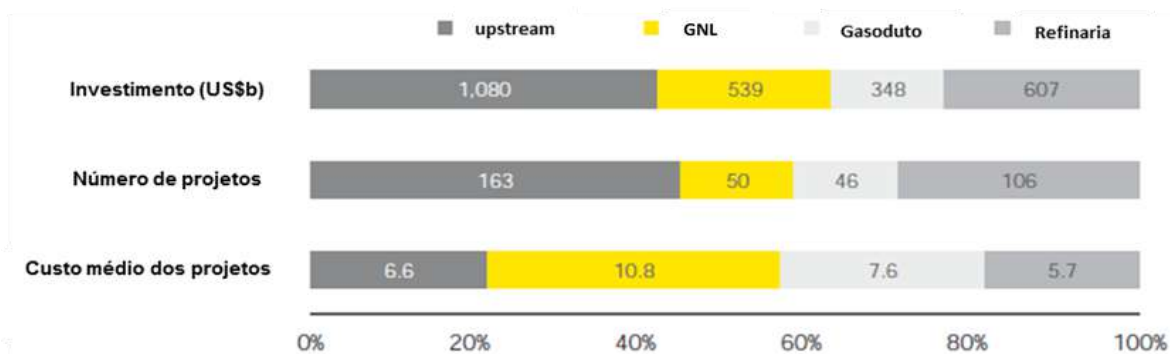


Figura 2.24: Investimento, número de projetos e custo médio dos projetos por segmento  
 Fonte: EY pesquisa e análise, 2014.

Os sobrecustos e atrasos no cronograma são comuns em todos os segmentos da indústria e em todas as regiões, como pode ser observado na Figura 2.25 e Figura 2.26 abaixo. Contudo, certos segmentos e localizações apresentam um desempenho pior que os demais.

Estes resultados estão alinhados com o estudo realizado pela *Independent Project Analysis* (IPA, 2011) apud (EY, 2014). De acordo com a agência, 78% dos megaprojetos enfrentaram excesso de custos ou atrasos, além de uma deteriorização do desempenho, se

comparado com o ano de 2003, quando 50% dos projetos tiveram seus orçamentos ultrapassados e os tempos de entrega não cumpridos.

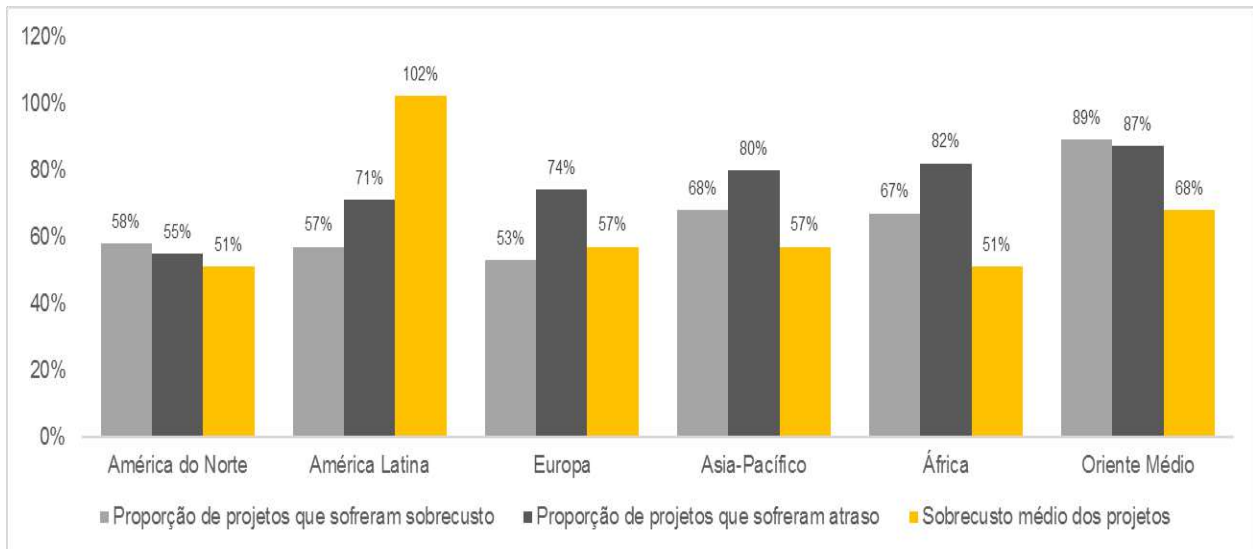


Figura 2.25: Percentagem de sobrecusto e atraso por localização do projeto  
 Fonte: EY pesquisa e análise, 2014.

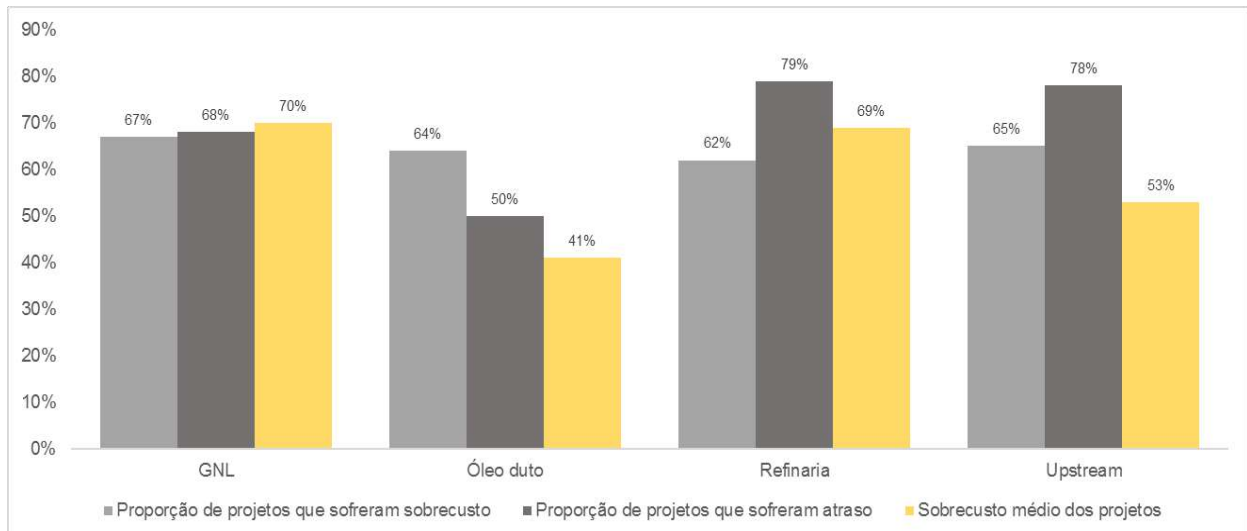


Figura 2.26: Proporção de projetos que sofreram sobrecusto e atraso por segmento da indústria  
 Fonte: EY pesquisa e análise, 2014.

Para os 205 projetos, cujos dados de custos estavam disponíveis, observa-se que o custo estimado estava, em média, 59% acima do custo real. Em termos absolutos, os custos cumulativos desses projetos somaram um total de US\$ 1,7 trilhões sendo que haviam sido estimados para custar US\$ 1,2 trilhões, o que representa um acréscimo de US\$ 500 bilhões.

Os resultados indicam que esse é um problema prevalente em todas os segmentos e regiões, contudo as causas que atingem tanto os segmentos quanto as regiões são diferentes, como regulação locais ou relações de trabalho (EY, 2014).

### **3 CAUSA DOS SOBRECUSTOS E ATRASOS EM MEGAPROJETOS**

O objetivo deste capítulo é realizar uma análise qualitativa dos sobrecustos e atrasos em megaprojetos. Para tanto é identificado as principais causas que provocam efeitos negativos nos custos e tempo de entrega. Baseado na literatura disponível sobre o assunto, foi feita, primeiramente, uma revisão sobre porque as previsões erram e posteriormente, foi elaborado um mapa com as principais causas que acarretam em sobrecusto e atrasos.

#### **3.1 Por que as previsões erram?**

Como já dito anteriormente, as análises de custo-benefício e avaliações de impactos socioambientais são os documentos centrais para a tomada de decisão na maioria dos projetos de infraestrutura e do setor de energia. Contudo, como mostrou a análise quantitativa desenvolvida no capítulo 2, os erros e os vieses são de tal magnitude que, com um elevado grau de certeza, essas análises e, por consequência, a tomada de decisão serão enganosas.

Sendo assim, do ponto de vista econômico muitos desses projetos não deveriam ter sido construídos, ao menos da forma que foram. Eles sobreviveram ou foram aprovados, porque as análises de custo-benefício apresentadas aos investidores e legisladores foram extremamente inflacionados, deliberadamente ou não (FLYVBJERG, 2009).

Isto não quer dizer que as análises de custo-benefício são inúteis. Mas, se o seu objetivo é gerar informação para a tomada de decisão, as análises convencionais de custo-benefício devem ser complementadas com análises de riscos focadas nas incertezas da documentação e das estimativas de custos e benefícios. Para grandes projetos, esta deveria ser uma prática diligente, algo que raramente ocorre nos dias de hoje.

Basicamente, existem três tipos principais de explicações para os erros de estimativas em megaprojetos: técnico, psicológico e político-econômico (FLYVBJERG, 2009).

Para (ASCHER, 1978) (MORRIS e HOUGH, 1987) (FLYVBJERG, 2009) as explicações técnicas ocorrem em termos de métodos imperfeitos de estimativas, dados inadequados, erro humano, problemas inerentes em se prever o futuro, falta de experiência dos analistas, etc. Estes são os principais tipos de explicações para as falhas técnicas. De acordo com essa interpretação,

erros técnicos poderiam ser reduzidos ou eliminados através do desenvolvimento de melhores modelos de estimativa, melhores dados de entrada e profissionais mais experientes.

As explicações psicológicas se dão em termos do que os psicólogos chamam de “*planning fallacy*” e viés otimista. Tal justificativa vem sendo desenvolvida por Kahneman e Locallo (1994). Para os autores, “*planning fallacy*” ocorrem quando os gerentes tomam decisões baseados no otimismo delirante, em vez de uma ponderação racional de ganhos, perdas e probabilidades. Eles superestimam os benefícios e subestimam os custos. Eles involuntariamente criam cenários de sucesso e ignoram os potenciais erros de cálculo. Como resultado, os gerentes assumem iniciativas que não são prováveis de acontecer dentro do tempo estimado ou do orçamento. Excesso de otimismo pode ser atribuído a vieses cognitivos, ou seja, erros na maneira como a mente processa a informação. Esse viés parece ser onipresente, mas seus efeitos podem ser minimizados através de controles simples, reduzindo assim as chances de que as pessoas e as organizações apressem cegamente investimentos não rentáveis.

Explicações político-econômicas veem os planejadores e promotores dos projetos como deliberadamente e estrategicamente superestimando os benefícios e subestimando os custos quando estimam os resultados dos projetos. Eles fazem isso para aumentar a probabilidade de que seus projetos, e não outros concorrentes, recebam a aprovação e financiamento. Essa hipótese foi definida por Wachs (1986), Wachs (1989) e Flyvbjerg (2009).

De acordo com esse argumento planejadores e promotores, propositadamente, geram cenários de sucesso e encobrem as potenciais falhas. Mais uma vez, isso resulta em empreendimentos que não são suscetíveis de caber no orçamento ou no tempo de entrega dos benefícios prometidos. Deturpações estratégicas podem ser atribuídas a problemas de pressões políticas e organizacionais, por exemplo, a concorrência por recursos escassos ou disputa por posições, que vista nesse sentido é racional.

De acordo com Bok (1979), Cliffe, Ramsey e Bartlett (2000), se definida uma forma convencional do que é a deturpação deliberada dos custos e benefícios, ela poderia ser chamada de mentira. Para esses autores uma das explicações mais básicas de porque mentir, é que a mentira gera lucro ou pelo menos os agentes políticos econômicos acreditam que elas o fazem.

Onde existe pressão política há deturpação e mentira, segundo essa explicação, contudo elas podem ser minimizadas por medidas de responsabilidade.

Flyvbjerg e Cowi (2004) entrevistaram funcionários públicos, planejadores e consultores que estavam envolvidos no desenvolvimento de grandes projetos de infraestrutura de transporte do Reino Unido. Um planejador entrevistado explicou o mecanismo básico de subestimação de custos:

*You will often as a planner know the real costs. You know that the budget is too low but it is difficult to pass such a message to the counsellors [politicians] and the private actors. They know that high costs reduce the chances of national funding.*

Profissionais experientes como o entrevistado sabem que os custos de execução serão maiores do que os custos estimados, mas, por causa da pressão política para assegurar o financiamento para os projetos de que eles são responsáveis, eles omitem este conhecimento, que é visto como prejudicial para se obter o financiamento. Da mesma forma, um entrevistado explicou o mecanismo básico de superestimação do benefício:

*The system encourages people to focus on the benefits—because until now there has not been much focus on the quality of risk analysis and the robustness [of projects]. It is therefore important for project promoters to demonstrate all the benefits, also because the project promoters know that their project is up against other projects and competing for scarce resources.*

Empresas de consultoria privada especializada são normalmente contratadas para ajudar a desenvolver a proposta de projeto. Em geral, os entrevistados acreditam que os consultores são profissionais de alta performance e integridade. Mas, os entrevistados também disseram que os consultores parecem se concentrar em justificar os projetos em vez de examiná-los criticamente. Os consultores entrevistados confirmaram que as avaliações muitas vezes focam mais nos benefícios do que em custos. Mas, disseram que isto é feito a pedido de clientes. Segundo Flyvbjerg e Cowi (2004):

*One typical interviewee saw project approval as ‘passing the test’ and precisely summed up the rules of the game like this: ‘It’s all about passing the test [of project approval]. You are in, when you are in. It means that there is so much focus on showing the project at its best at this stage.*

Em resumo, o estudo realizado no Reino Unido mostra que existem fortes interesses e incentivos na fase da aprovação do projeto. O objetivo é apresentar as análises de custo-benefício tão favoráveis quanto possível, isto é, enfatizando os benefícios e desenfaticando os custos e riscos do projeto. Todas as autoridades, colaboradores, proprietários de terra, sindicatos, políticos, deputados locais e consultores podem se beneficiar a partir de um projeto que parece favorável no papel, assim eles têm pouco incentivo para evitar viés nas estimativas de benefícios, custos e riscos.

### **3.2 Fatores responsáveis pelos sobrecustos e atrasos em megaprojetos**

Os dados de desempenho da indústria sugerem que os estouros orçamentais ou atrasos no cronograma são comuns nos projetos de todo segmento energético. No entanto, devido ao tamanho, complexidade e custo, o impacto é mais profundo sobre megaprojetos.

Segundo a pesquisa realizada pela Credit Suisse (2014) apud (EY, 2014), causas não-técnicas são responsáveis pela maioria dos desvios. De acordo com o estudo, 65% das falhas de projetos são devido a aspectos mais sutis, tais como pessoas, organização e governança. Outros 21% foram causados por processos e estratégias de gerenciamento, contratações e compras, os outros 14% das falhas foram motivadas por fatores externos, como intervenções governamentais e mandatos relacionados ao meio ambiente.

A Figura 3.1 abaixo foi elaborada baseada no estudo da EY (2014), eles identificaram os principais fatores internos e externos não-técnicos que comumente causam atrasos e sobrecustos nos projetos de óleo & gás.

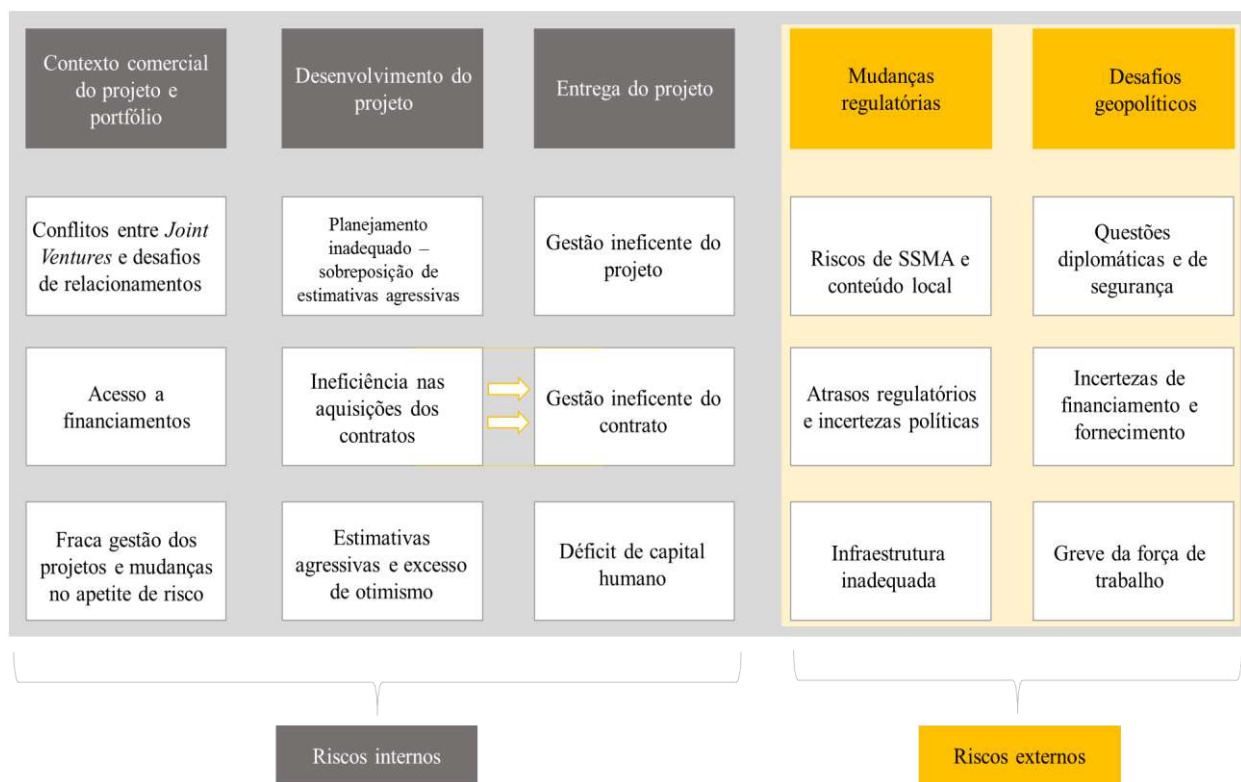


Figura 3.1: Principais causas de sobrecustos e atrasos na indústria de O&G  
 Fonte: EY pesquisa e análise, 2014.

O contexto comercial em que os projetos são desenvolvidos é fundamental para o sucesso do projeto, muitas vezes determinado pela: habilidade dos profissionais envolvidos e recursos disponíveis; custo de capital; parceiros envolvidos; e, risco total assumido por cada parte interessada. Os desafios chave identificados desse fator estão listados e descritos abaixo:

I - *Joint ventures (JVs)*: *joint ventures* estão se tornando cada vez mais comuns em toda a indústria, especialmente em projetos complexos em ambientes desafiadores, ou em mercados emergentes em que acordos de acesso a recursos entre o governo nacional e a empresa privada, muitas vezes, estipulam envolvimento da empresa nacional de energia. Estes acordos podem ser complexos, e problemas de entrega são, muitas vezes, exacerbados pela lógica de investimento divergentes, critérios de avaliação dos projectos e tolerância ao risco.

II - Acesso ao financiamento: a participação de cada investidor, o custo do capital e os mecanismos de partilha de riscos são fatores chaves a se considerar no desenvolvimento de um



megaprojeto, pois cada um desses componentes tem um potencial impacto na viabilidade econômica do projeto.

III - Gestão de portfólio e seleção de projetos: com frequência a falta de orientação estratégica clara e de critérios de seleção de projetos faz com que as organizações desenvolvam diversos e mal alinhados portfólios de projetos, que muitas vezes consomem recursos, aumentam o risco da carteira e diluem o valor potencial das conexões inter-projeto. Portanto, é fundamental selecionar e, posteriormente, aprovar projetos que sejam adequados e que se alinhem com a capacidade, experiência e estratégia da empresa.

Dessa forma, um dos primeiros desafios a serem enfrentados pelas organizações que participam de um megaprojeto é o desenvolvimento de uma carteira equilibrada de projetos, com acordos comerciais apropriados e com o apoio e risco de cada investidor bem definidos para que o projeto possa ser entregue com sucesso.

A respeito do desenvolvimento do projeto, a experiência mostra que a falta de adequado *front-end loading* (FEL<sup>20</sup>) e um foco insalubre na sanção do projeto, muitas vezes, resulta no estabelecimento de metas irrealistas, excessivamente agressivas que se tornam problemas graves de entrega. Isto está alinhado com o ditado: "Falhar em planejar é planejar a falha". Os principais desafios do planejamento do projeto estão listados e descritos abaixo:

I - Planejamento inadequado: falhas na consideração apropriada do *design*, construção, comissionamento e questões operacionais (incluindo fatores externos, como os ciclos do clima) durante a iniciação do projeto e estágios do FEL têm um efeito prejudicial nas fases subsequentes do projeto. Isto, frequentemente, leva a mudanças de escala ou de concepção do projeto e, normalmente, resulta em retrabalho significativo para a empresa e empreiteiros.

II – Aquisição de materiais e prestadores de serviços: a seleção dos empreiteiros e dos contratos através do qual a organização se relaciona com os seus tercerizados é fundamental para

---

<sup>20</sup> O processo FEL (*‘Front-End Loading’*) é uma importante ferramenta no gerenciamento de projeto de capital, que estrutura e sistematiza as fases de desenvolvimento de um projeto, pois estabelece os critérios para execução de cada etapa, dá suporte técnico à equipe melhorando sobremaneira o custo e a qualidade do projeto, porque utiliza as melhores práticas de gestão, auxiliando na potencialização de pontos fortes e na identificação de pontos que podem impactar o bom andamento do projeto. Permite à companhia desenvolver uma definição detalhada do escopo do projeto aliando-o plenamente ao objetivo do negócio e ajuda a avaliar a maturidade de um projeto com base em sua fase de desenvolvimento (RUTKOWSKI, 2016).

projetar com sucesso, porque falhas nas decisões de contratações têm consequências significativas. Normalmente, as decisões são tomadas baseadas fortemente no custo, com insuficiente ênfase na qualidade, apesar do reconhecido impacto da qualidade no custo, tempo de entrega e durante o ciclo de vida do projeto.

III – Estimativas agressivas e viés otimista: uma questão chave para avaliação da performance do projeto quanto aos objetivos de custo e marcos estabelecidos previamente nos FEL é a verificação se estes são precisos ou realizáveis. O mecanismo pelo qual os projetos são propostos e selecionados nas organizações, frequentemente, conta com o patrocínio de indivíduos que estavam intimamente envolvidos no desenvolvimento do projeto, dessa forma, os critérios de seleção estão abertos ao risco da influência do otimismo e subestimação dos risco e complexidade do projeto.

A entrega dos megaprojetos é uma tarefa complexa que implica na combinação de tecnologia de ponta, operação em novas áreas geográficas e governança multipartidária. O tamanho e escala desses projetos são um desafio para a equipe do projeto e para as organizações durante todo o ciclo de vida do projeto, especialmente na entrega, quando o tempo de entrega e as despesas estão em seu nível de exigência máxima. Os principais desafios relacionados a este fator estão descritos abaixo:

I – Gestão ineficaz dos projetos: os planejadores do projeto frequentemente não utilizam os elementos necessários para a gestão do cronograma, medidas de progresso, relatório de atividades e as suas interdependências com outras disciplinas do projeto, o que significa que as equipes do projeto não compreender totalmente as atividades críticas e o pleno efeito da mudança na programação e nos outros processos do trabalho. O desafio de trabalhar com vários empreiteiros separados, mas muitas vezes com escopos de trabalhos interligados, sem o acompanhamento em tempo real agrava o problema da coordenação do planejamento. Como resultado, o desempenho e o impacto da mudança são difíceis de modelar ou avaliar. Exemplo de melhores práticas, são processos efetivos da interconexão da estrutura de *work breakdown*<sup>21</sup> com

---

<sup>21</sup> Work Breakdown Structure (WBS), cuja expressão na língua portuguesa é Estrutura Analítica do Projeto (EAP) é definida pelo PMI (2008) apud Mauro (2009) como uma “decomposição hierárquica orientada às entregas do trabalho a ser executada pela equipe para atingir os objetivos do projeto e criar as entregas requisitadas, sendo que cada nível descendente da EAP representa uma definição gradualmente mais detalhada da definição do trabalho do

dados em tempo real, contudo, essas análises são normalmente vistas como uma resposta para o mal desempenho do projeto, em vez de funcionarem como uma medida preventiva.

II – Gestão ineficaz do contratos: capacidade inadequada dos equipamentos e má qualidade dos serviços são um grande desafio para os megaprojetos. A falta de fornecedores adequados que atendam as especificações, processos e sistemas exigidos criam gargalos em todas as fases do projeto. A inadequada supervisão do contratante em cada fase do ciclo de vida do projeto aumenta o risco da cadeia de abastecimento, expondo os projetos a variações excessivas dos contrantes, que muitas vezes não possuem os recursos ou conhecimento técnico necessário.

III – Déficit de capital humano: a elevada complexidade dos megaprojetos exerce pressão sobre recursos essenciais, como o trabalho. As rápidas mudanças tecnológicas e regulatórias, acabam por diminuir a quantidade de profissionais capacitados para executar as atividades e gerir eficazmente os desafios do projeto.

Desafios regulatórios: o aumento do foco no impacto ambiental dos projetos, regulações mais exigentes e incertezas políticas afetam o desempenho dos projetos. A tendência é de que estas demandas continuem a crescer. Os principais desafios relacionados a este tópico estão listados abaixo:

I - Saúde, segurança e meio ambiente (SSMA) e conteúdo local: no novo ambiente de "tolerância zero à acidentes", os megaprojetos aumentam muito as suas despesas com conformidades com os padrões de SSMA. Embora não haja dúvida de que esta é uma medida positiva, sem a administração correta, os custos podem aumentar rapidamente. Da mesma forma, o investimento em conformidade com os regulamentos de conteúdo local geram custos para tentar superar os desafios logísticos de curto e médio prazo de abastecimento de produtos e serviços em um mercado local.

II- Atraso de aprovação e incerteza política: empresas em todo o mundo têm enfrentado obstáculos na obtenção de aprovação para os seus megaprojetos, os problemas mais comuns que causam os atrasos são a necessidade de obtenção de licenças de vários organismos governamentais, as regulamentações pouco claras e processos excessivamente burocráticos.

---

projeto". Por meio de estrutura semelhante a um organograma, a EAP representa o que deverá ser entregue pelo projeto.

III - Infraestrutura inadequada: infraestrutura limitada faz com que em muitos mercados em desenvolvimento, as empresas sejam obrigadas a investir no desenvolvimento de projetos de abastecimento de água, energia, ferrovias, rodovias e alojamento para ter acesso aos recursos energéticos. Muitas vezes, estas atividades auxiliares são dispendiosas e demoradas e, ainda, agravadas pelo acesso remoto aos locais e condições climáticas severas.

Os desafios geopolíticos são forças externas que também influenciam o progresso dos megaprojetos. Dado o valor dos investimentos, o impacto de qualquer mudança importante dessa natureza pode gerar efeitos sobre a economia do projeto, o que pode levar muitas empresas a considerar adiar ou mesmo cancelar os projetos. Os principais desafios seguem abaixo:

I - Problemas diplomáticos e de segurança: as empresas de energia são geralmente forçadas a adiar o investimento em megaprojetos devido a situações políticas instáveis e preocupações de segurança. O fracasso em resolver conflitos pode resultar em atrasos ou mesmo adiamento dos projetos. Dessa forma, é importante avaliar o nível de tensões entre as autoridades e grupos civis locais. As empresas devem considerar cuidadosamente o custo potencial do investimento e o ambiente político e étnico, bem como o potencial impacto dos investimentos atuais em oportunidades futuras.

II – Incertezas financeiras e de fornecedores: alguns megaprojetos sofrem atrasos e sobrecustos devido a mudanças nos fundamentos do mercado, tais como: recessão econômica global, restrições de oferta de *commodities* e aumento dos preços, flutuações na taxa de câmbio e mudanças tecnológicas.

III – Greve da força de trabalho e civil: as comunidades locais, grupos ambientais e outras partes interessadas podem influenciar, ou mesmo, perturbar a sanção de megaprojetos. As empresas devem procurar ganhar o apoio de grupos locais e uma “licença social para operar”. As organizações que desenvolvem megaprojetos em regiões onde a força sindical é alta devem considerar o risco de interrupção da força de trabalho.

Neste capítulo foram apontadas as principais causas de sobrecustos em megaprojetos de infraestrutura energética do setor de óleo e gás, identificadas na literatura. O próximo capítulo irá

abordar as principais técnicas de planejamento e controle de projetos que podem contribuir para a melhoria dos processos de gestão, minimizando os fatores acima citados.

## 4 GESTÃO DE PROJETOS

O objetivo deste capítulo é realizar uma revisão bibliográfica acerca das principais questões atreladas a tomada de decisão na gestão de megaprojetos. Para tanto, realiza-se um levantamento das principais variáveis e processos da gestão de projetos, identificando-se as diferentes abordagens e as melhores práticas que possam contribuir para a redução dos sobrecustos e atrasos no setor de construção de empreendimentos energéticos.

A seção 4.1 identifica as definições clássicas de gestão de projeto, que incluem as melhores práticas de planejamento, as principais causas de sucesso e de fracasso, as variáveis e estatísticas de controle de projeto e a sistemática de gerenciamento de riscos. A seção 4.2 aborda os tipos de incertezas predominantes na gestão de projetos e as alternativas de tratamento e respostas a elas. A seção 4.3 propõe um método de avaliação dos documentos de análise de custo-benefício, com o objetivo de tornar as estimativas mais realistas. A última subseção aponta as premissas centrais por trás dos principais métodos de gestão e discute uma nova abordagem para o tratamento da concepção e controle dos projetos.

### 4.1 O que é gerenciamento de projetos?

Segundo PMI (2013), o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para a execução de projetos de forma efetiva e eficaz. Trata-se de uma competência estratégica para as organizações, permitindo que elas unam os resultados dos projetos com os objetivos do negócio – e, assim, possam melhor competir em seus mercados.

O PMBOK<sup>22</sup> identifica cinco grupos de processos de gerenciamento de projetos: início, planejamento, execução, monitoramento e controle, encerramento. Esta seção foca, principalmente, na fase de planejamento do projeto, também conhecida como fase de definição

---

<sup>22</sup> *Project Management Body of Knowledge* (ou guia para o conjunto de conhecimentos de gerenciamento de projetos), mais conhecido como PMBOK, é de autoria do *Project Management Institute* (PMI) ou, mais precisamente, do *PMI Standards Committee*, o comitê de padronização do PMI. A publicação *Guide to the Project Management Body of Knowledge* pode ser considerada como um divisor de águas na história da gestão de projetos. O PMBOK é uma padronização que identifica e conceitua processos, áreas de conhecimento, ferramentas e técnicas de gestão de projetos (PMI, 2013).

do projeto. Um dos métodos mais utilizadas nesta etapa de definições é o *Front-End Loading* (FEL).

Uma pesquisa feita pela *Independent Project Analysis* mostrou que o FEL é um dos fatores mais significativos do sucesso do projeto.

Projetos bem definidos custam menos, têm menos tempo de execução e operam melhor. O processo de definição do projeto estabelece um quadro para alinhar os objetivos do projeto com os objetivos do negócio e garante que os objetivos do negócio são traduzidos em objetivos do projeto (tradução livre) (KEMWORKS, 2016).

A Figura 4.1 abaixo ilustra as principais etapas do ciclo de vida dos projetos, os objetivos e as estimativas de custos e contingências em cada portão de aprovação (ABUSALAH, 2014):

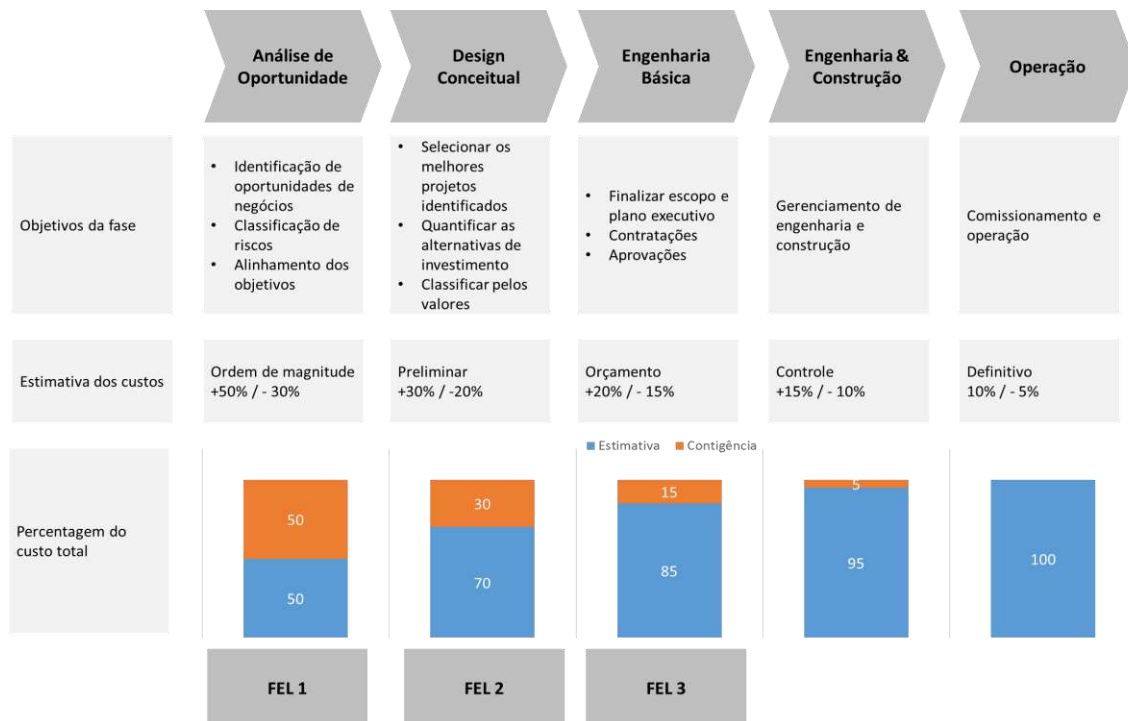


Figura 4.1: Ciclo de vida do projeto  
Fonte: elaboração própria baseado em Abusalah, 2016

Na etapa de Análise de Oportunidade – FEL 1 –, os resultados dos estudos de escopo devem trazer uma descrição do projeto, os processos básicos do projeto, diagrama de bloco dos fluxos de trabalho e ordem/magnitude das estimativas de custos (KEMWORKS, 2016).

O segundo portão de aprovação é o do Projeto Conceitual ou Estudo de Pré-Viabilidade – FEL 2. O projeto conceitual é um estudo preliminar que irá produzir as informações necessárias para um estudo de pré-viabilidade. As entregas dessa fase, normalmente, incluem: projeto básico com os principais parâmetros do processo definidos (requisitos globais de produção da planta, etc); diagramas com os fluxos dos processos; lista de equipamentos; *layout* da planta mostrando a área de construção; e, estimativas de custos preliminares (KEMWORKS, 2016).

Engenharia básica – FEL 3 - é um pacote de estudos que definem bem o escopo do projeto e que comprove a viabilidade e a estimativa de custo do projeto conceitual. Além disso, a engenharia básica serve de base para a fase de detalhamento do projeto. Em muitos casos, estes estudos também podem ser usados como propostas para concepção de contratos de construção. Entregas típicas dessa fase incluem: diagrama dos fluxos dos processos; P&D; simulações de processos, custos e contingências; estimativa do orçamento e do fluxo de caixa; listas de equipamentos e maquinários; plotagem da planta; especificação preliminar dos equipamentos e outros *layouts* e documentos que podem impactar nos processos e no escopo (KEMWORKS, 2016).

Além de ser uma fase preparatória e de definições, o processo *Front-end Loading* atua também na redução de riscos do projeto. Os riscos que podem ser mitigados são de: custo, cronograma, impactos ambientais, segurança e qualidade (ABUSALAH, 2014). Nota-se na Figura 4.2 este conceito.



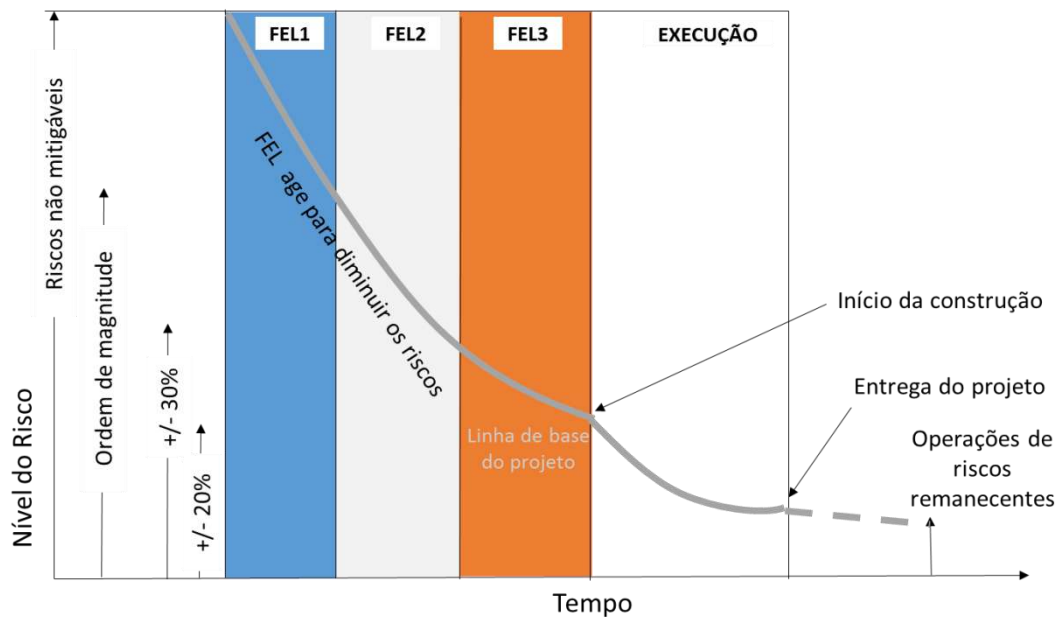


Figura 4.2: Redução dos riscos do projeto durante o FEL e a fase de execução  
 Fonte: elaboração própria baseado em Abusalah, 2016

Conforme o projeto avança, a viabilidade vai sendo testada, as informações produzidas melhoradas e as dimensões e escopo do projeto melhor compreendidas. O nível de incerteza é reduzido e as contingências podem ser reduzidas. Ao longo das fases do projeto o conhecimento e certeza aumentam até que o desenvolvedor esteja confiante o suficiente para sancionar as despesas totais (ABUSALAH, 2014).

Nota-se que, se o trabalho é bem realizado, o “custo da linha de base” e de contingência do projeto permanecem os mesmos, e as incógnitas são trocadas por certeza e conhecimento. Pode observar também na Figura 4.2 acima como o processo de FEL e de execução se encaixam na redução dos riscos. Claro que, para todo projeto, um risco residual de funcionamento ainda existe. Contudo, se o processo foi corretamente seguido, este deveria ser mínimo (ABUSALAH, 2014).

#### 4.1.1 Causas do sucesso e do fracasso

Para Lopes (2009), as causas clássicas que contribuem para o sucesso do projeto são: definição de objetivos, política de riscos, antecipação de problemas, qualidade das decisões

iniciais, apoio às decisões, liderança, comprometimento da equipe, estratégia de contratação, adaptação a mudanças externas, treinamento e desenvolvimento da equipe.

Já as causas do fracasso estão atreladas a: má comunicação, planejamento inadequado, controle excessivo, delegação de responsabilidades descontrolada, instruções não confirmadas, mudanças apressadas de responsabilidade, escopo e planos não gerenciados adequadamente, falta de acordo sobre as decisões tomadas no projeto e falha ao analisar e comparar conclusões (LOPES, 2009).

De acordo com PMI (2013), uma das causas centrais da falha de projetos é a falha na comunicação ou do ruído, que afeta a eficácia da comunicação, definido como: “tudo o que interfere na transmissão e no entendimento da mensagem”. Observa-se na Figura 4.3 abaixo essa problemática.

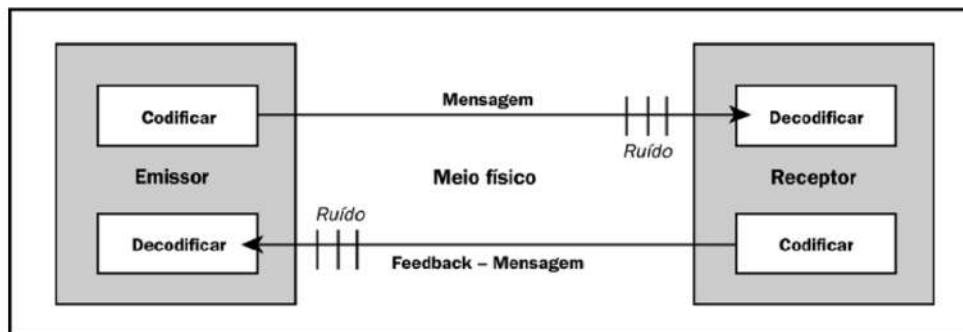


Figura 4.3: Modelo básico de comunicação  
Fonte: PMI, 2013

Uma frase interessante pode ser usada para resumir a discussão a respeito dessa dificuldade de garantir que a mensagem emitida seja entendida e absorvida corretamente pelo receptor, e assim produza o efeito desejado:

Eu sei que você acredita que entendeu o que você pensa que eu disse, mas eu não estou certo de que você compreendeu que o que você ouviu não é o que eu quis lhe dizer (AUTOR ANÔNIMO).

No caso dos megaprojetos este fator se torna ainda mais crítico, pois esses projetos envolvem milhares de pessoas, o que dificulta muito a comunicação. Além disso, as diversas linhas de contratação agravam esta questão. Segundo Lopes (2009), uma forma de mitigar este

problema, que pode afetar diretamente o sucesso do projeto, é o desenvolvimento de sistemas efetivos de transmissão de informações tanto verticais como horizontais, para que se possa atingir os objetivos do projeto dentro do tempo, custo e qualidade especificados inicialmente.

O capítulo 3 elaborou um “Pareto”<sup>23</sup> para as principais causas de sobrecustos e atrasos não-técnicos do setor de óleo e gás. A questão do contexto comercial do projeto e do portfólio, do desenvolvimento do projeto e a entrega do projeto são as causas internas que mais afetam as variáveis de desempenho do projeto. Os fatores externos são as mudanças regulatórias e os desafios geopolíticos. Estas causas poderiam ser atreladas aos demais megaprojetos de infraestrutura de energia, uma vez que estes projetos compartilham das mesmas macro características.

Tabish e Jha (2011), na tentativa de encontrar os fatores que conduzem ao sucesso dos megaprojetos, realizaram uma pesquisa e identificaram quatro fatores de sucesso para megaprojetos de construção pública na Índia. São eles: conscientização e o cumprimento das regras e regulamentos; planejamento do pré-projeto e clareza de escopo; parceria eficaz entre os participantes do projeto; e, monitorização e controle externo.

A pesquisa de Magnusen e Samset (2005) descobriu que os fatores de sucesso comuns nos megaprojetos são: uma visão clara das atividades e vontade política; uma equipe independente da organização promotora nas fases de planejamento; um diretor de projeto altamente profissional e carismático; uma sólida configuração financeira desde o início do projeto; *stakeholders* compreensivos e sistemáticos com uma comunicação aberta; e, um processo de gestão da mudança rigoroso.

Outra pesquisa apresentada pelo Banco Mundial (1996) relaciona o sucesso do megaprojeto com os fatores críticos de sucesso do megaprojeto (monitoramento, coordenação, projeto, treinamento e ambiente institucional). A conclusão do estudo é que o controle e a gestão do projeto são, naturalmente, determinantes para o sucesso do projeto. Contudo, o foco nas fases iniciais é fundamental para o bom desempenho do controle e gestão do projeto.

---

<sup>23</sup> Diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado para estabelecer uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas. Este esquema foi criado por um economista e sociólogo italiano, Vilfredo Pareto, que nasceu em Paris, e morreu em 1923, em Genebra. O Diagrama de Pareto tem o objetivo de compreender a relação ação - benefício, ou seja, prioriza a ação que trará o melhor resultado.

Ao revisar as referências bibliográficas sobre o tema pode-se notar alguns fatores transversais de sucesso: a questão do planejamento do projeto ser desenvolvido por uma equipe externa, não atrelada aos promotores do projeto diminui o viés das estimativas; a definição clara do escopo e objetivo do megaprojeto contribui para o alinhamento dos esforços da equipe; a boa comunicação interna e externa ao projeto auxilia na transferência de novas informações e *feedbacks*; e, processos de gestão e controle efetivos identificam desvios de forma mais rápida, permitindo que ações corretivas sejam tomadas.

Contudo, apesar dos elementos enumerados acima, megaprojetos são geralmente projetos longos, portanto, há tempo suficiente para que os fatores que afetam os resultados e a governança do projeto mudem. Segundo pesquisa realizado por Brooks (2015), as características que melhor definem um megaprojeto são: colossal, cativante, caro, controverso e complexo. Sendo assim, apesar das muitas pesquisas realizadas sobre a problemática dos sobrecustos e atrasos, ainda não está claro quais são as causas de sucesso e falha do megaprojeto (MISIC e RADUJKOIC, 2015). Em outras palavras, ainda não foi identificada nenhuma relação causal padrão que pode determinar o sucesso ou o fracasso de um megaprojeto, apenas algumas evidências.

#### **4.1.2 Desempenho de custo, cronograma e escopo**

A função de gerenciamento de projetos, segundo a definição do PMI (2013), inclui definir os requisitos de trabalho, estabelecer a extensão do trabalho, alocar recursos conforme a necessidade, planejar a execução do trabalho, monitorar o progresso, e ajustar os desvios do plano. Além disso, é orientado para o planejamento e controle, o que está relacionado a entrega no prazo, dentro do orçamento, com padrões de desempenho apropriados, representando, então, um contexto de curto prazo, dentro do período de desenvolvimento e entrega do projeto.

Kerzner (2009) acrescenta que o gerenciamento do projeto é desenvolvido para gerenciar ou controlar os recursos da organização em uma dada atividade, dentro do prazo, dentro do custo e dentro do nível de desempenho estabelecidos. Assim, tempo, custo e desempenho são as restrições clássicas do projeto.

As variáveis custo, escopo e tempo compõem o que os gerentes de projetos chamam de “restrição tripla” do gerenciamento das necessidades conflitantes do projeto (PMI, 2013) e, tempo e custo são, também, parte do “triângulo de ferro” de critério de medição de desempenho. Nessas caracterizações, as variáveis custo e tempo são classificadas entre as três medidas de sucesso do gerenciamento de projetos, que na maior parte dos casos deverão receber atenção especial.

A respeito dessa atribuição de importância, uma interessante conclusão é dada por Avots (1984) apud De Wit (1988), segundo o qual a importância relativa dos critérios de desempenho varia ao longo do ciclo de vida do projeto; durante sua fase inicial, cronograma possui importância primordial, enquanto custo fica em segundo lugar e qualidade em terceiro. Em uma fase mais avançada do projeto, custo se torna o principal interesse, enquanto cronograma fica em segundo lugar e qualidade em terceiro. Após a finalização do projeto, os resultados de prazo e custo são facilmente esquecidos, enquanto qualidade se torna o elemento chave da satisfação.

Segundo Fernandes (2004), para o gerenciamento é necessário que haja elaboração de informações. São elas que dão respaldo à tomada de decisão. Portanto, estabelecer parâmetros para a produção de informações e facilitar o fluxo destas para os diversos públicos interessados passam a ser elementos importantes para a sobrevivência do projeto, pois, constituir uma base de informações é construir uma base para a tomada de decisão. A seguir serão descritos os principais indicadores utilizados na gestão de projetos que auxiliam na tomada de decisão.

O desempenho de custos diz respeito ao cumprimento, durante a execução do projeto, daqueles objetivos e metas de desembolsos planejados para o projeto. O Indicador de Desempenho de Custos (IDC) é útil para mostrar se o progresso físico está sendo alcançado a um custo maior, menor ou igual àquele previsto na fase de planejamento do projeto (KERZNER, 2009).

Um indicador bastante comum atualmente para a medição do desempenho de custo de um projeto é o índice de desempenho de custo da técnica análise de valor agregado, calculado pela divisão do custo orçado do trabalho realizado, isto é, o quanto deveria custar o trabalho realizado até o momento da medição, pelo custo real do trabalho, ou seja, quanto realmente foi gasto para realizar o trabalho feito até o momento da medição (KERZNER, 2009). Este indicador está,

também, relacionado à medição do avanço físico do projeto e com a medição da evolução do escopo. Observa-se na Figura 4.4 como a análise do valor agregado pode ser utilizada no monitoramento e controle do projeto.

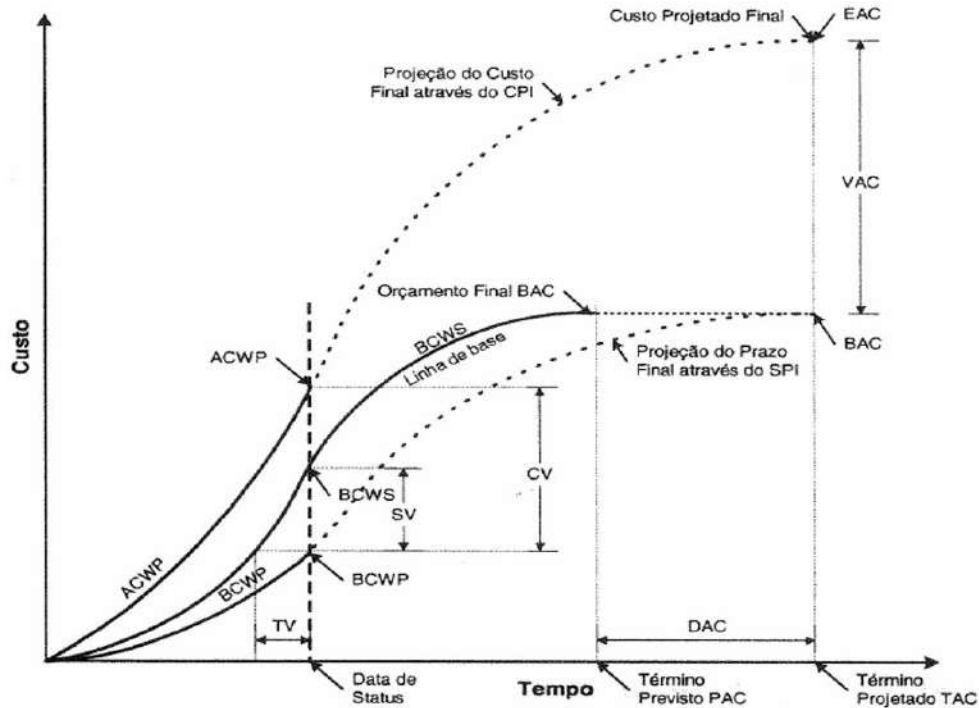


Figura 4.4: Gráfico para Análise do Valor Agregado  
Fonte: Vargas, 2002

O desempenho de prazo diz respeito ao cumprimento, durante a execução do projeto, daqueles objetivos e metas do cronograma de entregas planejado para o projeto. Kerzner (2009) descreve o Índice de Desempenho de Prazo (IDP) como o indicador que servirá para mostrar se o progresso físico está sendo alcançado de forma mais rápida ou mais lenta do que o previsto no cronograma do projeto.

Resumidamente, tem-se que a análise dos casos dos índices de desempenho permite conhecer se:

- IDC < 1 ⇒ Projeto está com custo maior que o previsto no orçamento.
- IDC > 1 ⇒ Projeto está com custo menor que o previsto no orçamento.
- IDC = 1 ⇒ Projeto está com os custos iguais aos previstos no orçamento.
- IDP < 1 ⇒ Projeto está com o cronograma atrasado em relação ao previsto.

$IDP > 1 \Rightarrow$  Projeto está com o cronograma adiantado em relação ao previsto.

$IDP = 1 \Rightarrow$  Projeto está com o cronograma em dia em relação ao previsto.

Os índices de desempenho de custo e de prazo podem servir para avaliar a situação atual do projeto, bem como ser aplicado em análises de tendências e previsão de quando o projeto deverá terminar, se o desempenho de cronograma permanecer o mesmo, e de quanto irá custar, se o desempenho de custo permanecer o mesmo (KERZNER, 2009). Com isso, o gerente do projeto poderá tomar decisões no momento de cada medição para que os objetivos do projeto sejam alcançados, superados, ou mesmo para reduzir as potenciais perdas.

A pesquisa desenvolvida pela CIOB (2007) mostrou que os projetos mais complexos, ou megaprojetos, não conseguiram controlar adequadamente o tempo e custo de conclusão, apesar do uso de índices de desempenhos e, curiosamente, o grau de falha parece ser o mesmo, independentemente do setor da indústria, do tamanho das sanções impostas para conclusão tardia e independentemente da forma do contrato utilizado.

O que a pesquisa também revelou foi a diferença significativa no desempenho entre projetos complexos e simples, que utilizam uma gestão eficaz do tempo e daqueles que não. A pesquisa encontrou que: o resultado em projetos simples não foi influenciado pelo uso ou não-uso da gestão do tempo e do custo, as taxas de sucesso e falha permaneceram as mesmas. Já o resultado em projetos complexos foi diretamente influenciado pelo uso efetivo do gerenciamento de tempo e custo. Outra conclusão interessante do estudo é de que tempo não é dinheiro e a gestão eficaz do uso do tempo não pode ser alcançada através da medição do desempenho dos custos ou imposição de penalidades de custos devido a atrasos ocorridos no passado (CIOB, 2007).

Para Weaver (2010), apesar da sabedoria convencional e convenções de nomenclaturas atuais, nenhuma das chamadas ferramentas de controle de projeto realmente controlam qualquer coisa. Da mesma forma, alterar a duração de uma atividade agendada não tem absolutamente nenhum efeito sobre o tempo que o trabalho realmente leva para ser executado. A maioria dessas ferramentas de controle de projeto pode influenciar o pensamento dos trabalhadores de uma forma que pode mudar suas ações futuras. Este fato talvez justifique porque em projetos simples

não é necessário o controle de tempo e custo, pois as pessoas envolvidas nas atividades possuem o controle das ações a serem tomadas, o que não ocorre em megaprojetos.

Além disso, de uma perspectiva de controles, há uma grande diferença entre tempo e dinheiro. De acordo com Weaver (2010), se a empresa não gastar o dinheiro hoje, ele permanece na conta bancária da organização para ser gasto amanhã. Se a organização não usar o tempo eficientemente hoje, ele se foi para sempre - o tempo se move do presente para o passado a um ritmo de 60 segundos por minuto, a cada minuto do dia e nada pode controlar isso. Consequentemente, o valor do cronograma do projeto está numa direção completamente diferente, como discutido abaixo.

Conforme a ideia do cronograma como ferramenta de controle é abandonada, paradoxalmente, ela pode se tornar uma ferramenta de gestão extremamente útil. No "mundo complexo" de um megaprojeto o cronograma pode ser usado como: uma ferramenta de planejamento eficaz para ajudar as pessoas a se envolverem em conversas focadas nas ações futuras; como motivador para inspirar o desempenho dos membros da equipe; como uma ferramenta de comunicação eficaz para coordenar ações e auxiliar a colaboração proativa. Para ter sucesso nessa função, o cronograma precisa ser flexível, dinâmico, responsivo e fácil para os membros da equipe e o programador precisa ser um grande comunicador, questionador, ouvinte e, acima de tudo, *a team player* (WEAVER, 2010).

Para o melhor controle dos custos nos megaprojetos Egan (1998) estabeleceu o conceito de cadeias de abastecimento integradas. O principal objetivo dos acordos de trabalho coletivos e equipes de suprimento integradas é envolver o cliente, consultores de design, contratados, subcontratados e fornecedores em uma equipe, com incentivos e estrutura que garanta que todos trabalhem juntos para alcançar as metas compartilhadas acordadas. A equipe unificada cria um ambiente onde os resultados podem ser alcançados e os incentivados são desenvolvidos em um acordo de divisão dos ganhos e das perdas, sendo o cronograma uma ferramentas de arranjos. Se o projeto for bem sucedido haverá participação nos ganhos, se não for, então haverá compartilhamento das perdas.



### 4.1.3 Gestão de riscos

Embora algumas das perdas e desvios não possam ser previstos, outros, se identificados a tempo, podem ser controlados através de ações de prevenção sobre a sua atuação. O gerenciamento de riscos adiciona ao gerenciamento de projetos uma abordagem estruturada para identificação e análise de riscos no início do planejamento do projeto e no decorrer das fases de desenvolvimento (GUSMÃO, MOURA e LINS, 2007).

A palavra riscos deriva do latim antigo “resicare” que significa ousar. Neste sentido, risco é uma opção e não um destino. Correr riscos faz parte da história antiga (BERNSTEIN, 1997). No que tange o gerenciamento de projetos, a sua aplicação se volta para os seus impactos no sucesso da execução dos projetos, como podemos ver nas definições seguintes, dadas pelas maiores instituições de gerenciamento de projetos do mundo:

Risco é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem um efeito positivo ou negativo sobre ao menos um dos objetivos do projeto. (PMI, 2013).

Risco é a combinação da probabilidade ou frequência de ocorrência de uma ameaça ou oportunidade definida e a magnitude das consequências de sua ocorrência (KERZNER, 2009).

Analisando as definições acima, podemos concluir que os riscos são condições ou circunstâncias futuras que poderão proporcionar um impacto favorável ou desfavorável ao empreendimento.

Já o gerenciamento de riscos, segundo (PMI, 2013), é um processo sistemático que tem por objetivo identificar, analisar e responder aos riscos de um projeto. Seu objetivo é o de diminuir ou até eliminar a probabilidade e/ou o impacto de um evento negativo, ou seja, adverso ao projeto de acontecer. Por outro lado, ele também se preocupa em aumentar a probabilidade e/ou impacto de um evento positivo, ou seja, benéfico para o projeto, acontecer. Observa-se na Figura 4.5 abaixo as etapas do gerenciamento dos riscos.

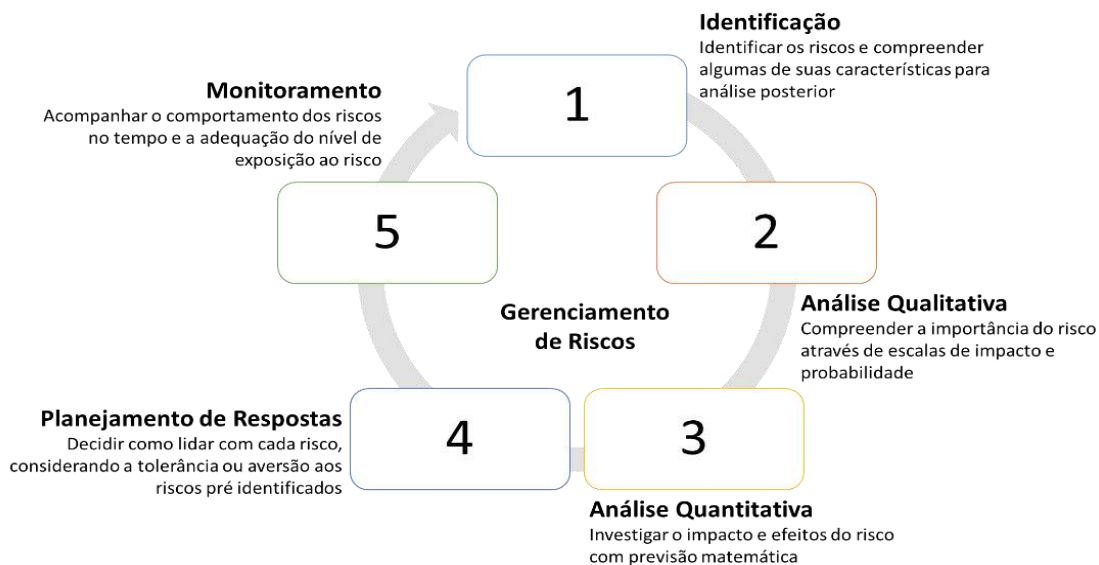


Figura 4.5: Etapas do gerenciamento de riscos  
 Fonte: elaboração própria baseado em (KERZNER, 2009)

Em termos simples, o gerenciamento de riscos é justamente um conjunto de processos proativos que são acionados para identificar e analisar riscos e executar ações para eliminar ou minimizar os problemas que ocorram e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de sucesso dos projetos. Por isto é importante que exista uma metodologia que organize estes procedimentos com o objetivo de se alcançar um efetivo controle dos riscos inerentes a um projeto (MAXWELL, 2007).

Mesmo a mais simples decisão gerencial ou de negócio envolve riscos em suas ações. Pelo fato de os projetos necessitarem de tomadas de decisão durante praticamente todo o seu ciclo de vida, gerenciar riscos torna-se um fator crítico de sucesso deste tipo de empreendimento (PRITCHARD, 2001). A próxima seção fará uma análise mais detalhada dos principais tipos de incertezas que se enfrentam durante o desenvolvimento de um projeto.

## 4.2 Gerenciando incertezas em um projeto

A incerteza é um aspecto inevitável da maioria dos projetos, mas mesmo os tomadores de decisão mais proficientes têm dificuldade de lidar com elas. Para lidar com a incerteza é comum utilizar marcos de decisão para antecipar os resultados, gestão de riscos para evitar desastres e iteração sequencial para certificar-se que todos estão fazendo o desejado, no entanto, muitos

projetos não cumprem o cronograma, ultrapassam o orçamento e comprometem as especificações (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

A pesquisa desenvolvida por Meyer, Loch e Pich (2002) mostrou que existem diferentes tipos de incerteza, e cada qual exige uma abordagem de gestão diferente. A falta de conhecimento sobre estas variações é compreensível, dado que a definição comumente aceita de um projeto é "um conjunto inter-relacionado de tarefas com um começo, um fim e um resultado bem definido", assume como premissa que todos podem identificar as tarefas no início, fornecer contingências alternativas e manter a mesma visão global do projeto.

Estas premissas são válidas para projetos rotineiros ou projetos bem compreendidos por todos, mas não para iniciativas inovadoras, que exigem as empresas a repensar a tradicional definição de um projeto - e as maneiras de gerenciá-lo – como é o caso dos megaprojetos. Uma abordagem mais voltada para esta questão é a gestão baseada em incerteza, que deriva de planejamento, monitoramento e estilo de gestão de perfis de incerteza, que compreende quatro tipos de incerteza - variação, incerteza prevista, incerteza imprevista e caos (MEREDITH e MANTEL, 1995).

Da variação ao caos, os tomadores de decisão passam progressivamente das abordagens mais tradicionais, que se baseiam numa sequência fixa de tarefas, à abordagens que permitem mais flexibilidade e alterações da visão, para que se possa atingir o objetivo do projeto (MEYER, LOCH e PICH, 2002). Ou seja, para lidar com a incerteza extrema que rondam os megaprojetos os tomadores de decisão precisam ir além da tradicional gestão de riscos, adotando papéis e técnicas orientadas menos para planejamento e mais em direção a flexibilidade e aprendizagem.

#### **4.2.1 Tipos de Incerteza**

Alguns projetos têm poucas incertezas - somente a complexidade das tarefas e relacionamentos são importantes - mas a maioria são caracterizados por vários tipos de incerteza. A prática mais aceita é a de classificar eventos incertos por sua origem (por questões técnicas, de mercado, pessoas, custo, prazo e qualidade) ou por potencial de impacto (CHAPMAN, 1990). No entanto, as categorias apresentadas a seguir salientam a incerteza no que se refere as técnicas de gerenciamento de projeto. Embora cada tipo de incerteza seja distinta, um único projeto

normalmente encontra uma combinação de todos os quatro tipos de incerteza (MEYER, LOCH e PICH, 2002):

I – Variação: vem de muitas pequenas influências e produz uma gama de valores numa determinada atividade - atividade X pode ter entre 32 e 34 semanas, por exemplo. No início dos projetos caracterizadas por variação, os tomadores de decisão sabem a sequência e natureza das atividades e tem objetivos claramente definidos. O plano do projeto é detalhado e estável, mas cronogramas e orçamentos variam de seus valores inicialmente estimados. Um deslocamento na programação faz com que o caminho crítico se mova, forçando os gerentes de projeto a monitorar variações em toda a linha de base, e não apenas nas atividades críticas.

II - Incerteza prevista: incertezas previstas são identificáveis e suas influências entendidas pela equipe, porém não se tem a certeza se irá ocorrer. Ao contrário da variação, que vem de pequenas influências combinadas, incerteza prevista é diferente e pode exigir uma gestão de risco com vários planos alternativos. Os planos de contingências podem nunca serem utilizados, caso o evento não ocorra, porém se ocorrer o tempo de resposta é minimizado.

III - Incerteza imprevista: como o próprio nome sugere, não pode ser identificada durante o planejamento do projeto. Não há Plano B. A equipe desconhece a possibilidade do evento ou considera improvável e não se incomoda criando contingências. Estes eventos tornam as decisões desconfortáveis, porque as ferramentas existentes não conseguem resolver os efeitos do evento. No entanto, a incerteza imprevista nem sempre é causada por eventos raros, podem resultar da interação inesperada de muitos eventos, cada um dos quais pode, em princípio, ser previsível. Incerteza imprevista ocorre em qualquer projeto que desenvolve uma nova tecnologia ou um novo empreendimento com características parcialmente conhecidas.

IV – Caos: considera os projetos sujeitos a um início incerto com premissas e objetivos razoavelmente estáveis. Mesmo a estrutura básica do plano de projeto é incerta, como é o caso quando a tecnologia está em evolução ou quando a pesquisa, não o desenvolvimento, é o objetivo principal. Muitas vezes, o projeto acaba com os resultados finais completamente diferentes da intenção original do projeto.

Observa-se na Figura 4.6 os principais tipos de incertezas e as abordagens de gerenciamento desses perfis de incerteza.

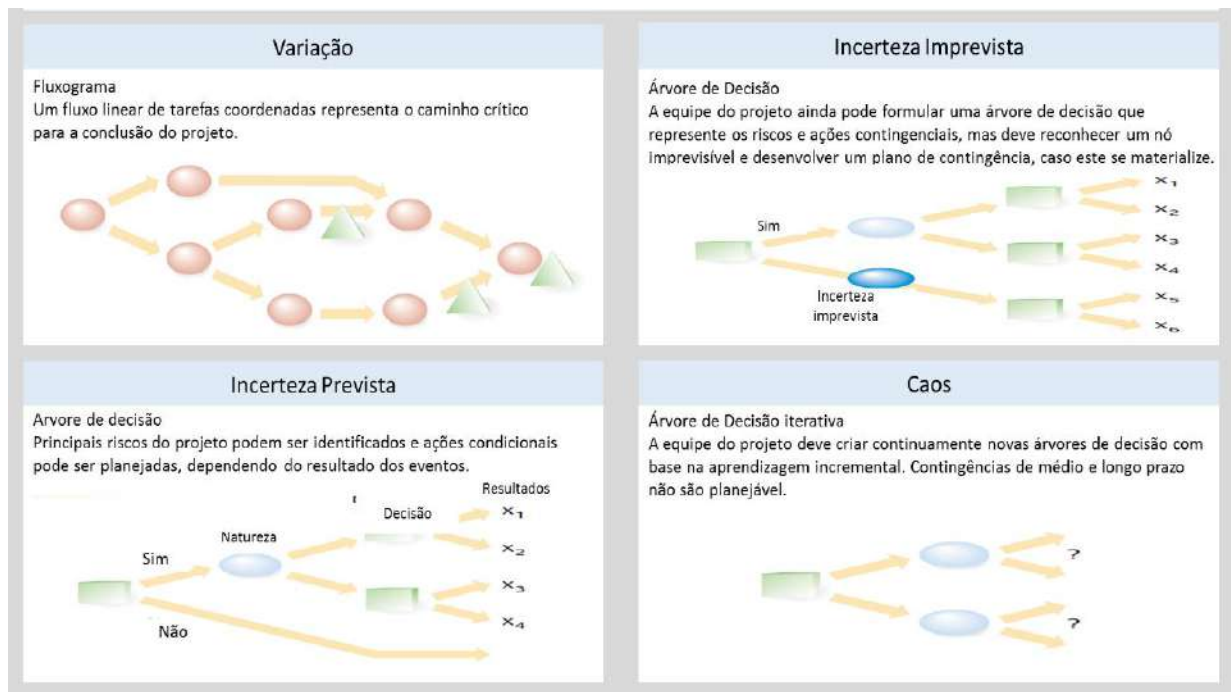


Figura 4.6: Caracterizando incertezas em projetos  
 Fonte: elaboração própria baseado em (MEYER, LOCH e PICH, 2002)

Nos raros projetos que têm pouca incerteza, o gerente de projeto é principalmente um coordenador e planejador - planeja tarefas de acordo com a experiência e utiliza estruturas hierárquicas de atividades e métodos de caminho crítico<sup>24</sup>. A gestão de relacionamento consiste em identificação de conflitos, alocação de responsabilidades e definição de entregas. O monitoramento consiste na comparação de orçamento, cronograma e as prestações em relação ao plano do projeto, coordenando partes interessadas, fornecedores e execução das entregas (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

Contudo, quanto maior a incerteza inerente a um projeto mais a equipe pode ter que redefinir as tarefas - ou mesmo a estrutura do plano de projeto. É muito mais fácil fazer isso se todos começam o projeto com as mesmas premissas sobre como as mudanças serão gerenciadas.

<sup>24</sup> O Método do caminho crítico identifica a sequência de atividades na qual, caso uma delas atrase, todo o projeto estará atrasado, em outras palavras, a sequência das atividades que não tem folga. Desta forma, o caminho crítico aponta quais atividades e responsáveis devem ter atenção redobrada (MONTES, 2016)

O mecanismo que garante este acordo é o perfil de incerteza - uma caracterização qualitativa do grau de incerteza que pode afetar as atividades do projeto (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

O perfil de incerteza é a estimativa subjetiva da equipe e indica quais os tipos de incerteza são potencialmente as mais importantes. Para ajudar a identificar os tipos de incerteza dominantes, as equipes podem usar sugestões baseadas em projetos anteriores ou podem adotar abordagens mais formais, tais como análises estatísticas, previsões de mercado, planejamento de cenários ou outras técnicas. Uma vez criado um perfil, o planejamento e monitoramento das atividades irão mudar conforme o perfil de incerteza evolui. Assim, flexibilidade – e a capacidade de comunicar alterações - é fundamental (LOCH, 1998).

Na gestão de projetos, sujeitos principalmente a variação, o tomador de decisão é antes de tudo um solucionador de problemas, que pode identificar desvios e avançar com soluções para recolocar o projeto de volta à linha de base. Mudanças radicais no plano não são a principal preocupação. O mais importante é controlar o orçamento, cronograma e os resultados. Se a equipe não se planejou para a variação, o tomador de decisão deve recorrer a medidas para colocar o projeto de volta ao planejado – desperdiçando recursos e diminuindo o retorno das partes interessadas (GOLDRATT, 1997).

Uma vez que o caminho crítico é estabelecido e as contingências apropriadas são definidas, os tomadores de decisão precisam de procedimentos para monitorar o progresso e autorizar mudanças no plano de projeto, tais como acelerar certas atividades. Gráficos de controle estatístico permitem que os gerentes monitorem variações, sem identificar as pequenas causas subjacentes. Pode-se acompanhar variáveis de desempenho - tais como dias à frente ou atrás do cronograma, ou diferenças entre o custo do projeto orçado e atual. Contanto que a variável esteja dentro de uma faixa aceitável, nenhuma ação é necessária. Mas, uma vez que sai fora do intervalo, os gestores devem identificar as causas e tomar ações. A equipe do projeto deve ter a capacidade e autoridade para reagir, por exemplo, deslocando fornecedores, subcontratos e datas de entrega intermediárias. Reagir a desvios significativos é mais eficaz do que monitorar cada pequena variação do caminho crítico, numa batalha sem fim para manter o curso do projeto (TERWIESCH e LOCH, 1999).

Para gerir projetos, sujeitos principalmente a fontes de incertezas previstas, o tomador de decisão deve primeiro identificar eventos que poderiam afetar o projeto. A tarefa poderia ser tão simples como fazer uma lista de riscos ou oportunidades e identificar diferentes cursos de ação para lidar com os eventos, como eles se materializassem. Embora os métodos de caminho crítico ainda sejam bons para manipular a complexidade, também deve haver alguma forma para representar a potencial influência das incertezas previstas (LOCH, 1999).

A árvore de decisão – um gráfico que ajuda os tomadores de decisão a considerar e comunicar os efeitos das decisões iniciais sobre as incertezas e, portanto, das decisões futuras - é uma abordagem útil. Cada ramo da árvore representa um plano de contingência para uma incerteza prevista. Para acompanhar projetos que se caracterizam pela incerteza imprevista, equipes devem monitorar não só quais atividades estão completas, mas também qual o ramo da árvore de decisão se concretizou. O papel do gerente muda de programador principal e solucionador de problemas para consolidador do que a equipe tem conseguido executar até o momento. Os tomadores de decisão devem garantir que todas as partes conheçam as contingências e, a partir início do projeto, comparem os planos e resultados alternativos. Durante o projeto, a equipe deve monitorar constantemente todos os riscos e comunicá-los para as partes interessadas (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

Gerir a incerteza imprevisível requer planos de contingência mais complexos. Uma vez que é impossível criar um plano de contingência completo, o plano deve evoluir à medida que o projeto progride. As equipes devem ir além da mera gestão de crises e anotação contínua das influências emergentes - ameaças ou oportunidades. Quando uma nova informação surge, a equipe deve estar disposta a aprender e, então, formular novas soluções. Para lidar com a incerteza imprevista, os tomadores de decisão do projeto devem passar de solucionadores de problemas para orquestradores de oportunidades e *networking* (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

Com a incerteza imprevisível, uma grande quantidade de tempo e esforço deve ir para gerir as relações com as partes interessadas e obter aceitação para mudanças não planejadas. O trabalho do gerente é antecipar e suavizar a resistência, criando contratos flexíveis e mantendo as partes interessadas bem informadas. Técnicas de gestão, de negociação e carisma do gerente de projeto podem ajudar a resolver conflitos de interesses (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

O relacionamento é caracterizado pela confiança e alivia tanto a equipe de gestão quanto os subcontratados de ter de antecipar cada pequeno evento. Sem essa confiança, subcontratados não iriam cooperar até que a equipe do projeto elaborasse um contrato formal - uma barreira para a manipulação de eventos imprevistos. Um elevado grau de flexibilidade é difícil de se obter e, muitas vezes, é recebido sem entusiasmo. Isso é compreensível, dado que a maior parte dos gestores têm se preocupado mais com o estabelecimento dos alvos do que em fazer o melhor trabalho possível, em geral. Mas, flexibilidade é a chave para promover projetos, que tem como característica a incerteza imprevisível (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

Gerenciar projetos sujeitos ao caos requer uma flexibilidade ainda maior dos tomadores de decisão. A equipe de gestão deve trabalhar com modelos conceituais que podem ser redefinidos repetidamente com os *feedback* estimulando a aprendizagem. Os planos de emergência são insuficientes, porque o aprendizado pode causar uma mudança fundamental na estrutura do projeto, que por sua vez requer a redefinição de todo o projeto. Para manter as chances de sucesso altas o suficiente, as equipes devem estar dispostas a tentar diferentes abordagens, em série ou em paralelo. O mais importante é conhecer o estado atual da aprendizagem sobre os pressupostos básicos do projeto (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

A necessidade de flexibilidade e interação obriga os gerentes de projeto a lidar com a mudança constante. Eles se tornam empreendedores - desenvolvimento e manutenção de contatos estreitos, mas soltos com clientes e formadores de opinião. Em projetos caracterizados por caos, chefes de equipe devem ter um alto grau de autonomia. Eles devem continuamente verificar a ideia original do projeto, executar experimentos de forma rápida, coletar *feedback* sobre novas ideias e consolidar o que aprenderam. A prototipagem rápida<sup>25</sup> é uma forma de apoiar tais experimentos (MEYER, LOCH e PICH, 2002).

No entanto, a autonomia deve estar em equilíbrio com a disciplina organizacional. As empresas devem ser implacáveis no corte de projetos quando a chance de sucesso se torna muito pequena. Alterar o conceito básico do projeto requer o envolvimento dos líderes da organização e pode forçá-los a fazer decisões que não comprometam os recursos e as metas. Para projetos em

---

<sup>25</sup> A prototipagem rápida (*RP – Rapid Prototyping*) permite a fabricação rápida de modelos físicos usando dados tridimensionais de CAD (*Computer Aided Design*).



ambientes caóticos, redefinições dolorosas são inevitáveis. Parceiros de sucesso são tipicamente aqueles que compartilham uma visão de longo prazo da missão do projeto (BENSAOU, 2000).

Embora muitos projetos sejam caracterizados por um tipo dominante de incerteza, muitas vezes eles vão exibir uma mistura dos tipos. Os tomadores de decisão devem ser flexíveis o suficiente para adotar as abordagens certas no tempo certo. O desafio na gestão de incerteza, para qualquer grau, é encontrar o equilíbrio entre o planejamento e a aprendizagem (MIHM, LOCH e HUCHZERMEIER, 2001).

O planejamento fornece disciplina e um conjunto concreto de atividades e contingências que podem ser codificadas, comunicadas e monitoradas. A aprendizagem permite a adaptação ao imprevisto ou aos eventos caóticos. Os dois exigem diferentes estilos de gestão e infraestrutura de projeto. Projetos em que a variação e incerteza prevista dominam permitem trabalhar com planejamento, já projetos com altos níveis de incerteza imprevisível e caos exigem uma maior ênfase na aprendizagem. A abordagem na aprendizagem é nova para muitas empresas (MIHM, LOCH e HUCHZERMEIER, 2001). Mas, é cada vez mais óbvio que chegou o momento de repensar algumas das tradições em gerenciamento de projetos. Em uma era de rápidas mudanças, a incerteza é um regra, não uma exceção. As empresas que compreendem isso têm uma maior chance de produzir projetos de sucessos.

Os megaprojetos de energia são um bom exemplo para ilustrar os conceitos desenvolvidos acima, por serem empreendimentos compostos por todos os perfis de incerteza com predominância do perfil caótico. Apesar das tecnologias utilizadas em seu escopo serem bem consolidadas na indústria, a escala dos projetos os tornam únicos e complexos. Gerenciar o planejamento do escopo, a relação com fornecedores e as variáveis exógenas ao megaprojeto significa lidar com resultados, muitas vezes, imprevisíveis, que exigem soluções adaptativas. Cada nova fase fornece maiores informações sobre como proceder nas atividades seguintes e quais decisões tomar diante do novo cenário. Posto isso, para megaprojetos é mais importante desenvolver uma estrutura de gestão com capacidade de adaptação aos fatores internos e externos do que a procura de uma padronização de processos.

Assim, de acordo com a revisão bibliográfica, ao aplicar a gestão de perfis de incerteza em conjunto com o conceito de cadeias de abastecimento integradas para o desenvolvimento dos megaprojetos a probabilidade de se obter um resultado de sucesso pode aumentar.

### **4.3 Como melhorar as previsões?**

Análises de custo-benefício e avaliações de impacto socioambiental são, tipicamente, a documentação núcleo para a tomada de decisão em grandes projetos de infraestrutura. Tais análises são baseados em estimativas de atividades, materiais, mão de obra, maquinário, tempo e custo, como já descrito acima. Contudo, conforme evidencia a análise realizada no capítulo 2, a grande maioria dos projetos do setor de energia erram nas estimativas, estourando orçamentos e atrasando a entrega dos empreendimentos.

Para Flyvbjerg (2009), isso não mostra a inutilidade das análises de custo-benefício. Mas, se o objetivo desses documentos é agregar informações para as decisões, então a análise de custo-benefício *ex ante* convencional deve ser suplementada com uma análise de risco *ex post* empírica, incluindo as incertezas relacionadas as estimativas dos documentados. Para os megaprojetos de infraestrutura, isso constituiria uma espécie de diligência empírica do custo-benefício, algo que raramente é realizada hoje.

Se os gerentes de projeto realmente consideram importante obter estimativas de custos, benefícios e riscos corretas, recomenda-se utilizar um método promissor chamado de "*class reference forecasting*" para reduzir a imprecisão e viés das estimativas. Este método foi desenvolvido originalmente para compensar o viés cognitivo das previsões humanas, encontrado pelo psicólogo Daniel Kahneman da Universidade de Princeton em seu trabalho - ganhador do prêmio Nobel em economia em 2002 (FLYVBJERG, 2009).

A previsão baseada numa classe de referência provou-se mais precisa do que a previsão convencional. Foi utilizada em gerenciamento de projetos na prática pela primeira vez em 2004 (FLYVBJERG e COWI, 2004), em 2005, o método foi oficialmente endossado pela *American Planning Association* (2005); e desde então ele tem sido usado por governos e empresas privadas no Reino Unido, Holanda, Dinamarca, Suíça, Austrália e África do Sul, entre outros.

Será apresentada apenas uma visão geral do método, baseado principalmente em Lovallo e Kahneman (2003) e Flyvbjerg (2006). A previsão baseada numa classe de referência consiste em tomar a chamada “*outside view*” sobre um projeto específico que está sendo estimado. A “visão de fora” é estabelecida com base em informações de uma classe de projetos semelhantes. Este método não tenta prever os eventos incertos específicos que irão afetar o projeto particular, mas, em vez disso, coloca o projeto em uma distribuição estatística dos resultados da classe de referência do projeto. A previsão baseada na classe de referência requer as seguintes três etapas:

I - identificação de uma classe de referência relevante de projetos passados. A classe deve ser ampla o suficiente para ser estatisticamente significativa, mas suficientemente estreita para ser verdadeiramente comparável com o projeto específico;

II - estabelecimento de uma distribuição de probabilidade para a classe de referência selecionada. Isto requer acesso a dados credíveis e empíricos para um número suficiente de projetos dentro da classe de referência, para tirar conclusões estatisticamente significativas; e

III - comparar o projeto específico com a distribuição da classe de referência, a fim de estabelecer o resultado mais provável para o projeto específico.

A “visão interna” é aquela que o especialista e os outros membros da equipe adotam. Eles fazem previsões, concentrando-se firmemente no caso em questão, considerando seus objetivos, seus recursos e os obstáculos à concretização. Constroem em suas mentes cenários de progresso e extrapolaram as tendências atuais para o futuro. As previsões resultantes, mesmo as mais conservadoras, são excessivamente otimistas. O ponto de vista externo não envolve nenhuma tentativa de previsão dos eventos que influenciariam o curso futuro do projeto. Em vez disso, examina-se as experiências de projetos semelhantes e estabelece uma distribuição aproximada dos resultados para esta classe de referência. A previsão resultante é muito mais precisa (FLYVBJERG, 2009).

Observa-se na Figura 4.7 o que a previsão por classes de referência representa na linguagem dos estatísticos. Primeiro, a previsão média da classe de referência é maior que a estimativa da média da previsão convencional - a previsão dos promotores, indicada pela curva mais escura - em relação à classe de referência - indicada pela curva mais clara. Segundo, a

previsão da classe de referência expande a estimativa do intervalo de previsão convencional (FLYVBJERG, 2009).

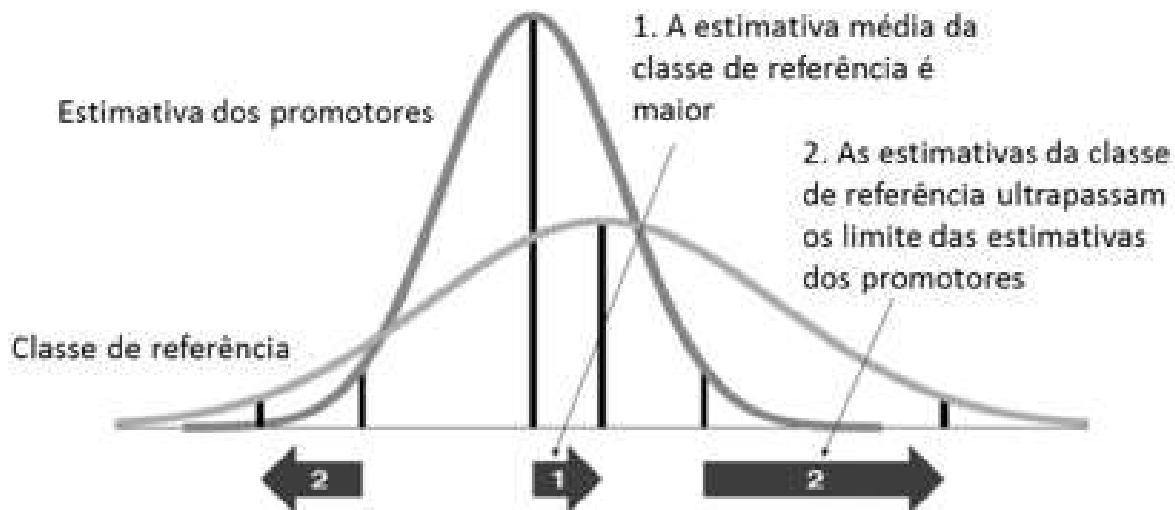


Figura 4.7: Distribuição de probabilidade de resultados  
Fonte: elaboração própria baseado em (FLYVBJERG, 2009)

Flyvbjerg (2009) utiliza um exemplo do setor de infraestrutura para descrever como o método de previsão pode ser utilizado: os planejadores estão se preparando para a construção de uma nova linha de metro, então, primeiramente, eles devem estabelecer uma classe de referência de projetos. O que pode ser, por exemplo, os projetos ferroviários relevantes - a partir de uma amostra - os planejadores devem estabelecer quais projetos incluir na classe de referência, ou seja, projetos que sejam de fato comparáveis ao planejado. Em seguida, se os planejadores estão preocupados com a obtenção de estimativas de custo, por exemplo, devem estabelecer a distribuição dos resultados da variação dos custos para a classe de referência e examinar a acurácia das estimativas de custo de construção do seu projeto.

Observa-se na Figura 4.8 como essa distribuição se parece para a classe relevante de referência para a construção de metrô no Reino Unido, desenvolvido por Flyvbjerg e COWI (2004, p.23), para o Departamento de Transportes do Reino Unido. Os planejadores devem comparar suas estimativas com a distribuição de classe de referência. Isso tornaria claro para os planejadores que, a menos que tenham razões para acreditar que são substancialmente melhores previsores e planejadores do que seus colegas que fizeram as previsões e planejamento dos

projetos na classe de referência, eles são susceptíveis de subestimar os custos de construção. Finalmente, os planejadores usariam esse conhecimento para ajustar suas previsões, tornando-as mais realistas.

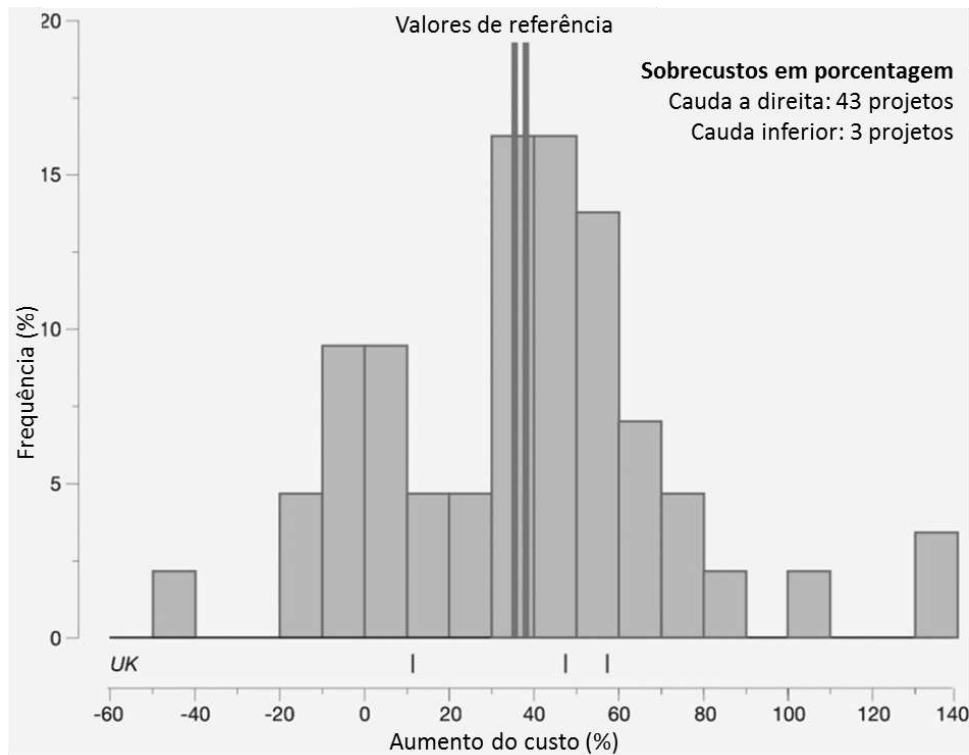


Figura 4.8: Aumento do custo em porcentagem  
 Fonte: (FLYVBJERG, 2009)

Observa-se na Figura 4.9 o que tais ajustes representam para a situação do exemplo utilizado. Mais especificamente, nota-se na Figura 4.9 que, para uma estimativa de custos de construção de um projeto ferroviário, essa estimativa teria que ser ajustada em cerca de 40%, se os investidores estivessem dispostos a aceitar um risco de sobrecusto de 50%. Se os investidores estivessem dispostos a aceitar um risco de sobrecusto de apenas 10%, o ajuste seria de 68%. Para um projeto ferroviário inicialmente estimado em 4 bilhões de libras esterlinas, os aumentos para os níveis de risco de sobrecusto de 50 e 10% seriam de £ 1,6 bilhão e £ 2,7 bilhões, respectivamente (FLYVBJERG e COWI, 2004).

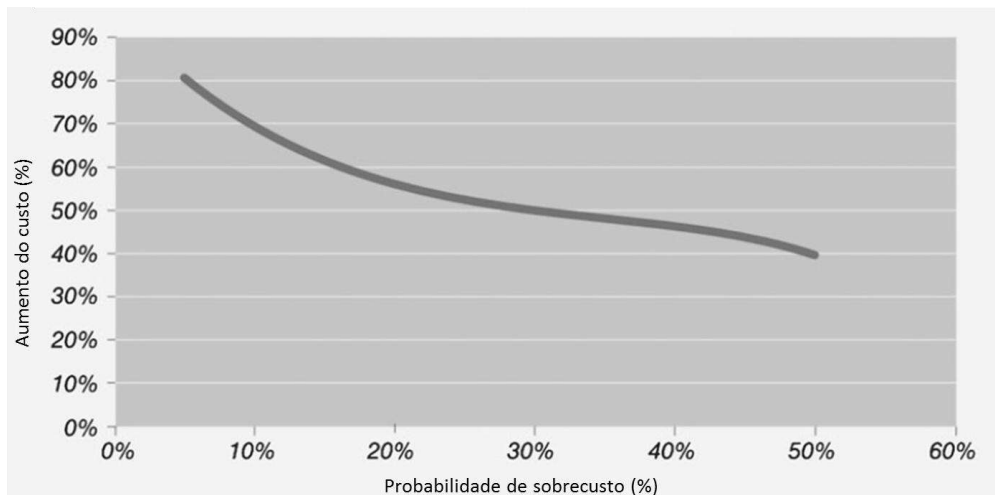


Figura 4.9: Elevação dos custos para o setor de transporte (trilho)  
 Fonte: (FLYVBJERG, 2009)

Embora compreensível, a preferência dos gerentes pela visão interna sobre a visão externa é lamentável. Quando ambos os métodos de previsão são aplicados com igual habilidade, são muito mais propensos a produzir uma estimativa realista. Isso porque desconsideram vieses cognitivos e políticos, tais como excesso de otimismo e deturpações estratégicas dos resultados. Utilizando a “*outside view*”, tomadores de decisão e planejadores podem avaliar os cenários elaborados, os eventos de riscos imaginados e seus próprios níveis e habilidades de controle, de modo a melhorarem os resultados de suas ações. Certamente, a visão de fora, baseada em precedentes históricos, pode não conseguir prever resultados extremos; isto é, aqueles que estão além de todos os precedentes históricos. Mas, para a maioria dos projetos, a visão externa produzirá resultados mais precisos (FLYVBJERG, 2009).

#### 4.4 Uma visão simples da "complexidade" da gestão de projetos

Sob uma perspectiva científica, o grande desafio da gestão de projetos a ser enfrentado no século 21 é a mudança do paradigma “comando e controle” baseado nas teorias do “gerenciamento científico” desenvolvidas por Taylor e outros autores no início do século 20, para o reconhecimento da inerente incerteza e complexidade envolvida na gestão de todos os projetos (WEAVER, 2007).

As bases fundamentais do PMBOK e das teorias gerais da gestão de projetos derivam dos princípios do “gerenciamento científico” (WARD, 2007). Estes princípios são efetivos na otimização e controle de tarefas manuais simples. Gerentes podem ver e mensurar o trabalho e taxas de produção podem ser estabelecidas. De forma análoga, estimar custos e cronogramas é uma tarefa relativamente fácil.

No entanto, mesmo para projetos simples algumas ideias de gerenciamento de projetos são excessivamente otimistas. Sistemas de controle do projeto (cronogramas, planos de custo, etc.) não controlam nada e, em grande medida, nem os gerentes de projeto. As pessoas controlam suas ações e o meio ambiente dita muitas das variáveis “incontroláveis”. Sob esta perspectiva, além de prover "orientação" para a equipe do projeto, os planos de projeto só fornecem uma ferramenta para estimar os níveis prováveis de incerteza em cada atividade do plano e, em seguida, mensuram o grau real da variância (WEAVER, 2007).

Para Weaver (2006), o homem moderno deve reconhecer que escrever números em uma planilha durante o planejamento de custos não pode "controlar" os resultados do projeto em algum momento do futuro. Da mesma forma que introduzir tempo de duração das atividades não pode controlar o tempo real necessário para executar uma tarefa. Mesmo porque as premissas por trás dessas ferramentas de programação são incertas.

A revisão da literatura sobre gerenciamento de projetos realizada por Pollack (2007) mostra que as bases de desenvolvimento dessa área adotaram filosofias positivistas, como uma ênfase em técnicas reducionistas e de controle. Algumas das principais premissas incluem:

I - A ideia de "reduccionismo": características e comportamentos de uma entidade pode ser entendida através do estudo das características das suas partes. A subjacente suposição de que coisas complexas podem sempre ser reduzidas ou explicadas compreendendo os elementos mais simples e fundamentais dos quais eles são constituídos embasa a ideia de que os projetos podem ser decompostos e totalmente compreendidos usando técnicas de *Work Breakdown Structure* (WBS).

II - A ideia de "o relógio do universo": o resultado de uma ação é previsível, replicável e os resultados estão na escala de proporção dos insumos - exemplo, se há o aumento de um

esforço, os resultados virão mais rápidos. A manifestação mais óbvia dessa ideia é o método '*Critical path schedule*', uma suposição chave no CPM tradicional é que a duração das tarefas muda previsivelmente de acordo com o nível de recursos aplicados à tarefa.

II - O futuro é controlável. Os gerentes têm controle sobre as ações dos trabalhadores, conseqüentemente, o resultado do projeto pode ser alcançado através do desenvolvimento de cronogramas, planos de custos com níveis adequados de detalhamento, avaliações de riscos e, por fim, o gerenciamento cuidadoso dos planos. A extensão natural dessas ideias é que se um controle adequado não puder ser atingido ao nível de decomposição atual do planejamento, a adição de mais detalhes trará um melhor controle “e que o destino humano é controlável”.

II - É possível gerir ou eliminar "todos os riscos". Se for aplicado o esforço adequado todos os riscos podem ser transferidos, mitigados ou identificados como aceitáveis, contingências adequadas e planos de respostas aos riscos aceitos podem ser calculados. As advertências sobre a gestão de riscos é que é muito cara uma "avaliação completa do risco" e é mais fácil aceitar que haverá incógnitas desconhecidas que podem ser abrangidas por uma gestão reversa<sup>26</sup>.

Este paradigma tradicional da gestão de projetos - filosofias e premissas - tem validade quando o objetivo do projeto permanece estável e o trabalho exigido é em grande parte simples e óbvio, por exemplo, a construção de uma parede, um edifício tradicional. Esta "conhecibilidade" e "compreensão" tanto do trabalho do projeto como do produto a ser entregue está implícita no sucesso relativo do gerenciamento do projeto. O valor do paradigma torna-se menos certo quando os objetivos finais do projeto são "a serem descobertos" ou mudam durante o curso do trabalho ou quando a natureza do trabalho muda de tarefas essencialmente manuais para o trabalho do conhecimento (WEAVER, 2007).

Duas concepções relativamente recentes de projeto, fundadas sobretudo nas academias escandinavas, são as ideias de projetos como "*Temporary Knowledge Organisations*" (TKOs) e as equipes de projeto como sendo uma rede social maior composta pelos *stakeholders* e comunidades ao redor do projeto. Essas ideias têm muito em comum (WEAVER, 2007).

---

<sup>26</sup> A reserva de gestão é a reserva de custo ou tempo que é utilizada para gerir os riscos não identificados. A reserva de gerenciamento não é parte da linha de base de custo, o gerente de projeto precisa da permissão da gerência para usar esta reserva. A reserva de gestão não é uma reserva estimada. É uma figura aleatória que é definida de acordo com a política da organização (USMANI, 2012).



Abordando um projeto como uma organização de conhecimento temporário –TKO - move o foco do gerenciamento do projeto da observação dos resultados do projeto para a necessidade de transformar os insumos recebidos pela equipe de projeto nas entregas do projeto. Isto é atingido através da reunião, fusão, processamento, criação e utilização do conhecimento da equipe. TKOs compartilham características com a organização tradicional do projeto, tais como, singularidade, finitude, incerteza e transitoriedade (BOURNE, 2005).

A diferença entre eles é o reconhecimento de que "linearidade e previsibilidade não são as realidades do gerenciamento de projetos", e que a resolução de problemas em um ambiente complexo e caótico "exige que os membros da equipe gerem novos conhecimentos". Isso representa uma mudança da visão de projetos como "ferramentas" aplicadas à solução de problemas, onde as pessoas estão fora do projeto, para à criação de uma comunidade de pessoas envolvidas na solução de resultados para o projeto (BOURNE, 2005).

Uma rede social é uma estrutura social feita de nós (Figura 4.10), que são geralmente indivíduos ou organizações, que se juntam por alguma forma de relacionamento. A forma de uma rede social ajuda a determinar a utilidade de uma rede para seus membros individuais. A equipe do projeto é uma rede que existe dentro de uma rede maior que consiste principalmente dos interessados no projeto. A rede do projeto pode ser considerada como independente da grande organização e também como uma parte integrante da mesma (BROOKES, MORTON e DAINTY, 2006).

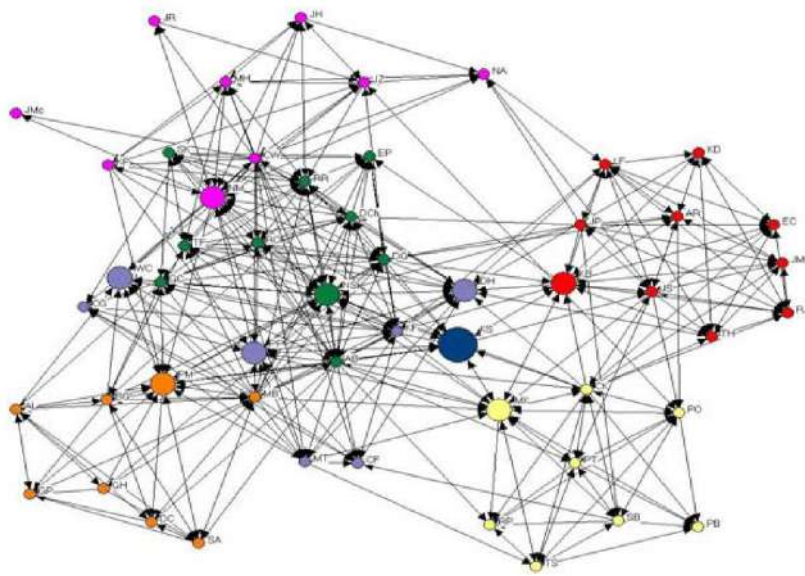


Figura 4.10: Estrutura de rede  
 Fonte: (WEAVER, 2007)

Cada rede contém um nível de capital social - a soma do potencial real e do recurso potencial disponíveis dentro da rede de relacionamentos que conectam seus membros. Neste contexto, os dois aspectos fundamentais do capital social são o "*know how*" necessário para criar e entregar os resultados do projeto e a "*vontade*" de se esforçar para alcançar o resultado do projeto (BROOKES, MORTON e DAINTY, 2006).

É importante notar que o nível e a disponibilidade de capital social dentro de uma rede social não são fixos, pode ser desenvolvidos através de: relações mais fortes para aumentar a eficácia da rede, de um melhor alinhamento dos objetivos dos atores através do desenvolvimento de objetivos claros, acordados, colaboração e liderança eficazes, ou seja, através do desenvolvimento de uma "equipe de alto desempenho" (BROOKES, MORTON e DAINTY, 2006).

Combinando essas duas idéias, é razoável afirmar que é a transferência real do conhecimento através da "rede social" que permite que a equipe do projeto, funcionando como TKO, desenvolva os conhecimentos necessários para criar os resultados do projeto. Também é importante ressaltar que a transferência e criação de conhecimentos e a implementação dos "novos conhecimentos" no projeto é absolutamente controlada pela vontade dos atores dentro da rede, envolvidos positivamente com o trabalho (WEAVER, 2007).

À medida que o tamanho de um projeto aumenta, algumas das questões relacionadas à "complexidade" tendem a aumentar. As duas principais diferenças esperadas são (WEAVER, 2007):

I - "*Money can't buy friends but it can get you a better class of enemy*" - o tamanho do projeto torna a gestão externa e dos *stakeholders* mais importante. O aumento da escala de um projeto é susceptível de alterar significativamente a pressão na equipe do projeto;

II - As questões de gestão das partes interessadas no âmbito do projeto são susceptíveis de serem compostas por uma pequena equipe, por exemplo, 3 ou 4 pessoas, que geralmente conseguem resolver bem os problemas. Já um projeto com uma equipe de 300 ou 400 pessoas exigirá processos formais significativos, assim como liderança para que o projeto seja bem-sucedido. O número de comunicações potenciais, canais ou relações dentro da equipe do projeto aumentam exponencialmente com base na equação (3):

$$\frac{N * (N - 1)}{2} \quad (3)$$

onde  $N$  = número de membros da equipe.

Para abordar essas questões, a teoria da complexidade tornou-se uma ampla ferramenta para a investigação de situações interdisciplinares – como a gestão de projetos. Este conceito desenvolveu-se a partir das áreas de estudo conhecidas como "teoria do caos" (DUBLIN, 1978). A teoria da complexidade pode ser definida como o estudo de como a ordem e os padrões surgem de sistemas aparentemente caóticos e, inversamente, como o comportamento e estruturas complexas emergem de regras simples. Algumas das ideias parecem ser diretamente relevantes para a gestão de projetos sob uma perspectiva de relacionamentos (COOKE-DAVIES *et al.*, 2007).

A primeira ideia da teoria do caos provém das primeiras descobertas dessa área. *Bifurcation* ou bifurcação descreve que os sistemas naturais podem absorver influências com mínimas mudanças - ou previsíveis - até que o ponto de bifurcação é atingido e, em seguida, há uma súbita mudança catastrófica. Esta ideia é particularmente relevante quando se pensa em "mudança de cultura" numa rede. A rede social pode absorver muita pressão para mudar e os

indivíduos podem mudar enquanto sujeitos a "pressão" direta. Mas, as "normas culturais" prevalecem e há pouca mudança real até o "ponto de bifurcação". Depois, há uma mudança repentina para um novo conjunto de "normas culturais" e as pessoas com "velhas ideias" são vistas como “estando por fora” (BOURNE e WALKER, 2005). É impossível prever o "ponto de inflexão" até que ele seja alcançado.

A ideia de "não-linearidade" se baseia nesta percepção. A não linearidade sugere que você pode fazer a mesma coisa várias vezes e obter resultados completamente diferentes. Pequenas diferenças podem causar grandes mudanças, enquanto grandes variações podem ter um efeito mínimo. O 'efeito borboleta' descreve a situação em que mudanças mínimas na condição de partida podem ter grandes e imprevisíveis resultados em sistemas não-lineares. É importante ressaltar que todas as relações humanas são não-lineares. Essas ideias questionam seriamente a validade de uma "programação detalhada" que tenta controlar o caminho futuro de um projeto (BOURNE e WALKER, 2005).

A total imprevisibilidade da não-linearidade é contrabalanceada pela ideia de “atratores estranhos”. Atratores estranhos são considerados padrões recorrentes quase-previsíveis, o comportamento dos sistemas dinâmicos na natureza - por exemplo, o clima – tem um grau de quase-previsibilidade. No entanto, os sistemas dinâmicos podem seguir uma série de diferentes atratores, dependendo da sua condição de partida inicial e do efeito das influências. A ideia de um "grau normal de previsibilidade" sustenta a civilização e a maioria dos processos do projeto, incluindo as estimativas, cronogramas e análises de riscos. Entretanto, os reais resultados são altamente dependentes da condição inicial e os "atratores estranhos" são encontrados ao longo do caminho (BOURNE e WALKER, 2005).

Isso nos leva ao conceito de "sistemas dinâmicos complexos". Estes sistemas estão continuamente recebendo e transmitindo "energia" para o seu ambiente, por exemplo, um furacão. Em um nível de detalhe, eles estão em 'caos', mas em geral são um sistema quase-previsível. Após um período de tempo transferindo energia, esses sistemas atingem um ponto de mudança irreversível – bifurcações - onde o resultado é inerentemente imprevisível (WEAVER, 2007).

Os sistemas auto-organizados são sistemas dinâmicos complexos que são capazes de se auto organizar e exercer escolhas de uma maneira que os torna inerentemente imprevisíveis. Os *loops* de retroalimentação contidos no sistema garantem a produção de padrões singulares e o sistema se comporta de uma maneira única. Uma outra característica é que como o sistema irá se comportar não pode ser determinado pelo estudo de suas partes. Essas ideias se aplicam a cardumes de peixes, colônias de formigas e a grupos sociais humanos. À medida que esses sistemas auto-organizados evoluem eles trocam continuamente energia e matéria com seu ambiente. Isso lhes permite permanecer em um estado que está longe do equilíbrio e permite comportamentos espontâneos e novos padrões emergem em resposta aos estímulos (WEAVER, 2007). ‘

Os ciclos de realimentação nos sistemas de auto-organização podem amplificar ou atenuar o efeito de estímulos. O trabalho realizado no Reino Unido na Universidade Strathclyde identificou o modo como os projetos arquitetam seus "sistemas de *feedback*" e como estes podem se transformar rapidamente em "ciclos viciosos" através de respostas "normais" ao atraso no custo e no cronograma, que amplificam o efeito e causam maiores problemas. A implicação desta pesquisa é que os "controles" de projeto tradicionais podem ser inadequados, uma vez que um projeto "começa a sair dos trilhos" (WEAVER, 2007).

Os sistemas adaptativos complexos são sistemas auto-organizados que têm a capacidade de aprender com as próprias experiências. Esta "descrição do sistema" parece estar muito próxima de uma equipe de projeto, vivendo na "beira do caos". Respondendo e adaptando-se aos seus arredores, ou seja, aos interessados e aprendendo ou criando novos conhecimentos à medida que avança. Essas ideias oferecem um novo conjunto de abordagens sobre a gestão de projetos (WEAVER, 2007).

O conceito de "processos de relação complexos e reagentes", ou *Complex Responsive Processes of Relating* (CRPR), em inglês, enfatiza a interação entre as pessoas e a natureza essencialmente receptiva e participativa dos processos humanos em se organizar e relacionar. A organização é uma propriedade emergente de muitos seres humanos interagindo juntos através de seus complexos processos ajustáveis de relacionamento (WEAVER, 2007).

Eles usam a ‘linguagem’ em conversas para transferir informações, ideias, negociar *status* social e desenvolver relações de poder. As intenções, escolhas e ações dos "atores" e suas reações são influenciadas e influenciam as ações dos demais à medida que eles interagem diariamente com outras pessoas. O processo de "organização" é a experiência humana emergente das interações entre atores que estão continuamente interagindo uns com os outros no trabalho diário de implementação do projeto (WEAVER, 2007).

O futuro visto desta perspectiva está sob construção perpétua pelo movimento da própria ação humana. Conseqüentemente, atores, interações e organizações emergentes estão localizados em um contexto específico e estão orientados a um “futuro desconhecido” - o resultado do projeto – o qual o grupo está em processo de criação contínua. Neste contexto, o futuro pretendido ou planejado é diferenciado do futuro real que se desdobra ao longo do tempo (WEAVER, 2007).

As ideias da teoria da complexidade invertem os pontos de vistas tradicionais de gerenciamento de projetos desenvolvido nos últimos 50 anos. Passam de um paradigma de sistema Cartesiano / Newtoniano / Iluminista, do qual surgiu a prática da gestão de projetos, para uma visão mais “complexa” (WEAVER, 2007).

A consequência da aceitação dessas teorias é a mudança do foco da gestão de projetos. Antes centrada nos objetos do projeto, deve voltar sua atenção para os atores envolvidos no projeto, ou seja, seus membros da equipe e partes interessadas, e reconhecer que são as pessoas que criam o projeto, trabalham no projeto e finalizam o projeto. Por conseguinte, o objetivo da maioria, senão de todos os "documentos de controle", tais como cronograma e planos de custos, mudam de ser uma tentativa de "controlar o futuro" - isto é impossível – para um processo de comunicação entre as partes interessadas para influenciar e orientar seu envolvimento no projeto. As linguagens simbólicas de cronogramas, *Earned Value* relatórios, etc, são modos poderosos de comunicação, desde que o remetente e o receptor dentro de um relacionamento são treinados para entender corretamente a linguagem que está sendo usada (WEAVER, 2007).

Olaniran *et al.*(2015) demonstram como ocorre a manifestação da teoria do caos no custo dos megaprojetos. Mudanças significativas nas condições iniciais de custo geram a necessidade de realizar outras mudanças nas estimativas e linhas de base. Essas mudanças podem também

provocar outras mudanças de custo até que o impacto global das mudanças nas condições iniciais das estimativas de custo do projeto torna-se considerável (MOON, 2008). A incerteza no custo do projeto aumenta com o tempo. Isto é expresso matematicamente como:

$$U = U_0 e^{\lambda t} \quad (4)$$

Onde:  $U_0$  é a incerteza inicial que cresce com o tempo ( $t$ );  $e$  é uma constante exponencial;  $\lambda$  é o expoente de Lyapunov que mede a taxa de perda de informações sobre as condições iniciais do projeto. Quanto maior o valor do expoente de Lyapunov, mais caótico é o projeto (OLANIRAN *et al.*, 2015)

Isso pode ajudar a entender como os sobrecustos emergem nos megaprojetos, tanto em termos conceituais, como também pode auxiliar a selecionar estratégias práticas para o manejo da síndrome. É importante que os profissionais que realizam megaprojetos estejam cientes dessa premissa. A teoria do caos demonstra que tais megaprojetos dificilmente obedecem as simples regras lineares. Megaprojetos são governados por interações próximas de vários eventos que são difíceis de conhecer e gerir. Como resultado, existe um limite de quais eventos dentro de um megaprojeto pode ser previsível e gerenciado (OLANIRAN *et al.*, 2015).

Citando o professor da Universidade de Bond, Andrew Leicester, apud Weaver (2007) "O termo 'projeto simples' é um oxímoro - cada projeto é complexo, alguns são grandes e complicados também!"

A teoria da complexidade, conectada às TKOs e à teoria da Rede Social neste capítulo, sugere que a criação de um resultado de sucesso do projeto será sempre uma viagem incerta, mas o caminho para o sucesso ou para o fracasso podem e serão influenciados pelas ações e atitudes dos atores dentro e ao redor da equipe do projeto. O elemento-chave é a eficiência com que a equipe do projeto e sua rede social reúnem os recursos necessários para criar o sucesso.

Uma última consideração pode ser retirada. A gestão bem-sucedida de um projeto é um processo muito mais complexo do que simplesmente lidar com o triângulo de ferro tempo, custo e escopo, descrito pela primeira vez pelo Dr. Martin Barnes em 1969 apud Weaver (2007). Os tomadores de decisão bem sucedidos no século XXI devem desenvolver e liderar equipes de alto desempenho que criam o sucesso do projeto através do uso do "capital social" dentro de suas

redes, para gerenciar proativamente as expectativas das partes interessadas e, posteriormente, entregar os resultados dos projetos em alinhamento com as expectativas dos agentes envolvidos.



## 5 MEGAPROJETOS DE ENERGIA NO BRASIL

O objetivo desse capítulo é realizar uma análise do cenário brasileiro de construção de megaprojetos de energia e alternativas de investimentos.

Estas grandes soluções, no geral, e as grandes hidrelétricas, em particular, são a estratégia mais efetiva, baseada em níveis de riscos ajustados, para resolver os desafios de abastecimento energético? Poderiam mais numerosas pequenas soluções energéticas serem mais prudentes em uma perspectiva de gerenciamento de riscos e de maximização do valor presente líquido, mesmo quando estes projetos aumentam o custo da unidade de produção de energia?

Para responder estas questões, realiza-se um levantamento e avaliação de desempenho dos principais empreendimentos desenvolvidos no país nos últimos anos. Utiliza-se o método de previsão por meio de classe de referência, descrito no capítulo anterior, para avaliar a robustez das estimativas de custo e tempo de conclusão de megaprojetos no Brasil, bem como os riscos de sobrecustos e atrasos a que outros projetos do setor energético estão sujeitos.

A subseção 5.1 aplica as funções de distribuição de probabilidade elaboradas no primeiro capítulo para avaliar o desempenho das mega hidrelétricas construídas recentemente no país. Escolheu-se avaliar a construção desta tecnologia de geração de energia, pois nos últimos anos o país investiu massivamente nesta alternativa. Por fim, a seção 5.2 realiza uma avaliação das políticas de investimentos e desenvolvimento da infraestrutura energética no Brasil.

### 5.1 O caso dos megaprojetos de energia hidráulica

O Brasil enfrenta desafios significativos de abastecimento energético. O crescimento econômico e da população fomentam o aumento da demanda de energia, tanto elétrica quanto de combustíveis para transporte (EPE, 2014). Os objetivos sociais de alívio a pobreza, mitigação das mudanças climáticas e segurança energética deixam os líderes de empreendimentos e *policy makers* em situações de tomada de decisão difíceis e diante de *trade-offs* críticos na implementação de políticas energéticas.

A demanda por eletricidade é, por exemplo, estimada para quase triplicar entre 2014 e 2050, requisitando um aumento global de energia elétrica dos atuais 513 TWh para 1.624 TWh

(EPE, 2014). Atualmente, a resposta estratégica para responder a este desafio é “*big problems, big solutions*”, como a construção de grandes hidrelétricas - principalmente na região Norte do país.

Os defensores de grandes barragens prevêm múltiplos benefícios desses empreendimentos. O avanço na capacidade hidrelétrica seria capaz de produzir uma lista variada de benefícios corolários: redução do consumo de combustíveis fósseis, controle de inundações, irrigação, abastecimento urbano de água, progresso tecnológico e criação de empregos (BILLINGTON e JACKSON, 2006); (ICOLD, 2010).

Inspirado pela promessa de prosperidade, há uma enxurrada de mega hidrelétricas que estão sendo desenvolvidas após uma ou duas décadas de calmaria (ANSAR *et al.*, 2013). A hidrelétrica de Belo Monte e a de São Luiz do Tapajós<sup>27</sup>, no Pará, Santo Antônio e Jirau, em Rondônia, Teles Pires, no Mato Grosso, são alguns destes exemplos. Observa-se na Figura 5.1 abaixo o mapa das usinas em operação, em construção, planejadas e inventariadas somente pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) – o mais importante programa de investimentos em infraestrutura do governo federal (CBIC, 2016).

---

<sup>27</sup> Em 04 de Agosto de 2016, o Ibama oficializou o arquivamento da licença ambiental da usina hidrelétrica São Luiz do Tapajós por motivos socio-ambientais (LIMA, 2016).

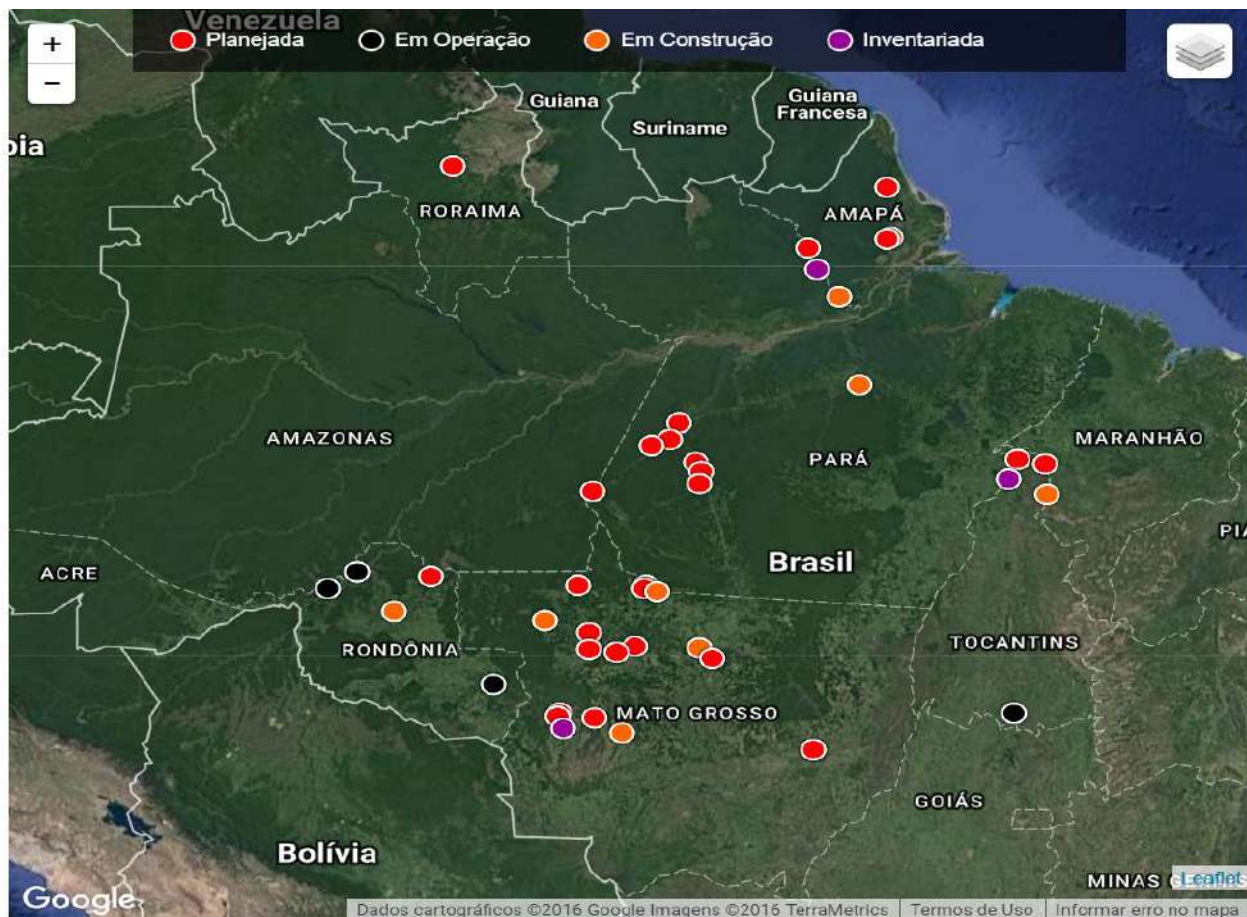


Figura 5.1: Hidrelétricas planejadas no Brasil  
 Fonte: (ECO, 2016)

As mega hidrelétricas são, contudo, controversas porque exercem custos financeiros consideravelmente altos (WORLD BANK, 1996); (WDC, 2000). Para além do cálculo financeiro, as grandes hidrelétricas têm um profundo impacto ambiental (SCUDDER, 2005); (STONE, 2011), ecológico (NILSON *et al.*, 2005) e social (DUFLO e PANDE, 2007); (SOVACOOOL e BULAN, 2011).

O estudo desenvolvido por Junior (2010) prevê um custo de, aproximadamente, US\$ 300 milhões em dispêndios sociais na construção da usina de Belo Monte. Apesar de seus custos financeiros e ambientais, os supostos benefícios de grandes hidrelétricas também são incertos. Por exemplo, a Comissão Mundial de Barragens de energia reportou que: “a geração média [hidrelétrica] no primeiro ano de operação comercial é de 80% do valor almejado” - uma tendência da qual a hidrelétrica de Belo Monte é um exemplo, a capacidade nominal de 11.000

MW será somente atingida durante três meses do ano, devido as variações do fluxo hídrico (JÚNIOR e REID, 2010). O baixo fator de capacidade de Belo Monte, decorre do fato de ser uma usina do tipo fio d'água. O custo ambiental de operar com um fator de capacidade mais elevado durante todo o ano seria ainda maior, devido a ampliação do reservatório que implicaria em mais terras alagadas.

Existem vários estudos contraditórios, e ainda inconclusivos, na literatura científica e na sociedade civil sobre se grandes hidrelétricas são uma benção ou uma maldição (ANSAR *et al.*, 2013). Deve-se construir mais mega hidrelétricas? O quão confiantes os planejadores podem estar de que a grande aposta em megaprojetos energéticos irá dar os retornos esperados?

Este trabalho investiga essas questões através da “visão de fora” ou da aplicação do método de classe de referência – conhecido na literatura de tomada de decisão sob incerteza. Imprecisão entre os resultados planejados e os obtidos pode ser uma *proxy* útil para os fatores de riscos subjacentes que conduzem aos erros de estimativas (ANSAR *et al.*, 2013). Por exemplo, sobrecustos reduzem a atratividade do investimento, podendo até mesmo, quando muito elevados, o tornarem questionável. Bacon and Besant-Jones (1998, p.317) apud Ansar (2013) oferecem um resumo:

*The economic impact of a construction cost overrun is the possible loss of the economic justification for the project. A cost overrun can also be critical to policies for pricing electricity on the basis of economic costs, because such overruns would lead to under pricing. The financial impact of a cost overrun is the strain on the power utility and on national financing capacity in terms of foreign borrowings and domestic credit.*

Para trabalhar com a “visão de fora” dos sobrecustos e atrasos, o primeiro passo a ser estabelecido é uma classe de referência válida e confiável de projetos hidrelétricos já construídos. A prática sugerida é de que a classe de referência seja ampla e grande o suficiente para ser estatisticamente significativa (FLYVBERG, 2006).

A classe de referência utilizada para realizar a estatística e comparar as evidências é proveniente da base de dados elaborada e disponibilizada por Sovacool (2013). A escolha dessa base de dados como classe de referência se deve aos seguintes fatores: (i) dificuldade de acesso aos dados de custo e tempo de construção das usinas brasileiras; (ii) comprovação no capítulo 2

de que não existem diferenças regiões significativas de sobrecustos e atrasos nas construções de empreendimentos energéticos. Ademais, é importante destacar que a amostra contém 61 observações, recomenda-se trabalhar com um número maior de amostragem para que os resultados sejam mais robustos.

Nota-se na Figura 5.2 a frequência, em porcentagem, da distribuição dos resultados dos custos dos projetos observados e da distribuição dos sobrecustos para a classe de referência de usinas hidrelétricas, respectivamente.

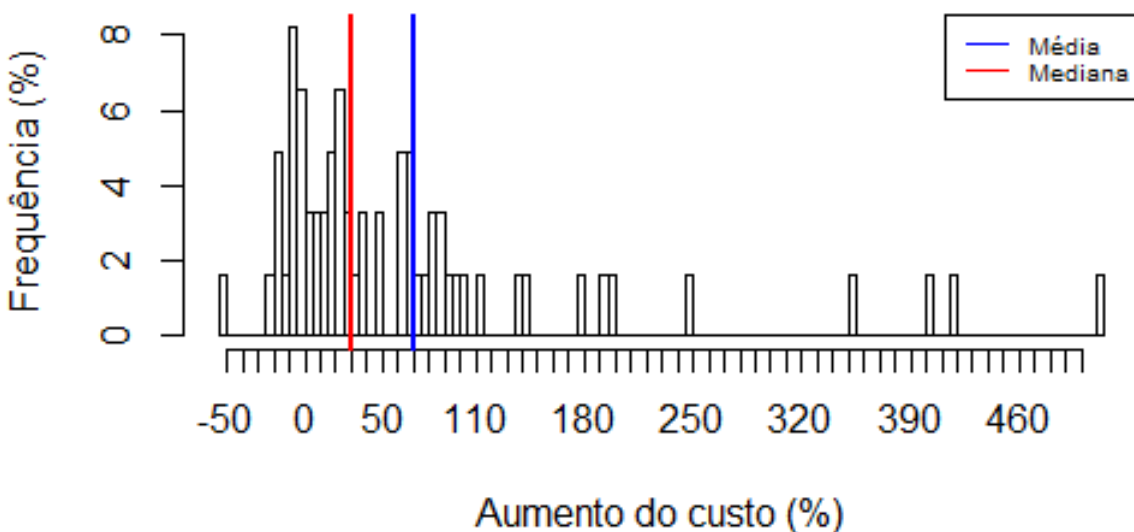


Figura 5.2: Frequência do resultado de custo na construção de usinas hidrelétricas  
Fonte: Autor, 2016.

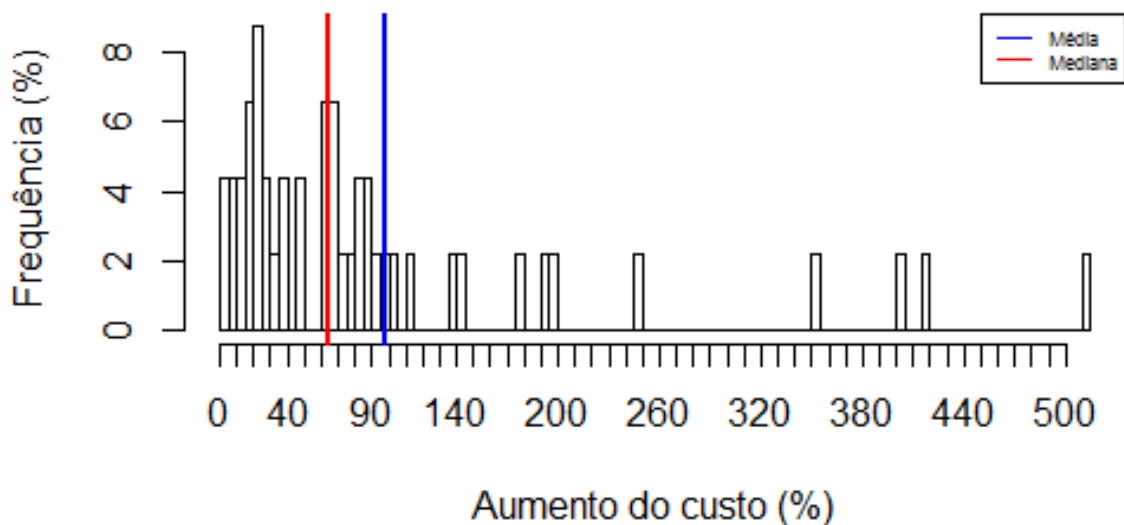


Figura 5.3: Frequência dos sobrecustos na construção de usinas hidrelétricas  
Fonte: Autor, 2016.

Optou-se por trabalhar somente com os valores negativos de desempenho de custos, que neste caso são representados pelos valores maiores que zero na amostra<sup>28</sup>. O objetivo deste corte é enviesar a amostra dos sobrecustos, tornando-a mais conservadora em relação aos riscos de sobrecustos. A distribuição paramétrica que melhor se ajustou aos dados foi a distribuição gama,  $X \sim (\kappa = 0,876; \theta=125)$ , Figura 5.4.

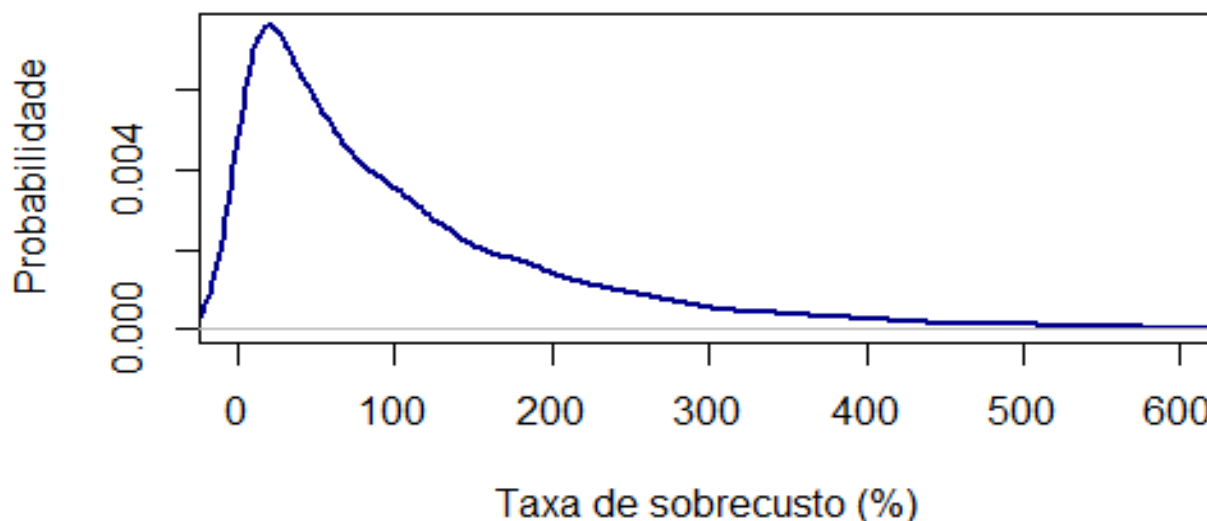


Figura 5.4: Função de distribuição de probabilidades de sobrecustos para construção de mega hidrelétricas  
Fonte: Autor, 2016

Em relação aos sobrecustos fazem-se as seguintes observações:

- i. 8 de cada 10 projetos sofreram sobrecustos em termos constantes da moeda local. A frequência e a magnitude de custos sobrestimados é maior do que os erros de custos subestimados, a inclinação é para resultados adversos;
- ii. Os custos foram, em média, 97,53 % do que o estimado inicialmente, tendo como base a amostra dos projetos que sofreram sobrecustos. O valor mediano dos sobrecustos foi de 64,65 %, com IQR de 77,52 %;
- iii. O gráfico de sobrecustos evidencia a cauda longa à direita. O custo real mais do que dobra para 1 de cada 10 projetos;

<sup>28</sup> A mesma ressalva é válida para os cálculos dos atrasos nas construções de mega hidrelétricas.

- iv. O valor médio do custo do MW sofreu um aumento de 63%. Os custos afundados na fase de construção, além de comprometer o VPL dos projetos, é repassado para a população civil – que acaba pagando pelos erros acumulados.

De forma geral, o otimismo dos especialistas e promotores das mega hidrelétricas acaba por desprezar os fatores de riscos que contribuem para os sobrecustos. Por exemplo, os documentos de planejamento da hidrelétrica de Itumbiara reconheciam que a escolha do local para o projeto não tinha condições geológicas favoráveis. O planejamento otimista declarou: “o custo estimado contém contingências (20% do custo de base) para promover a remoção de grandes quantidade de solo e rochas, se investigações futuras mostrarem a real necessidade” (WORLD BANK, 1973). Essa fraqueza geológica terminou custando cerca de 96% a mais do custo de base, em termos reais.

Outros exemplos mais recente são o caso das grandes hidrelétricas na Amazônia, impulsionadas pelo Programa de Aceleração do Crescimento. Quando a usina hidrelétrica de Jirau (3.300 MW), em Rondônia, foi leiloada em 2008, o investimento previsto para a construção do projeto era de R\$ 8,7 bilhões (ANEEL, 2008). O custo real em 2016 era de 16,6 bilhões (CBIC, 2016). Em termos percentuais, o sobrecusto foi de 91%. A UHE Santo Antônio (3.568 MW) também localizada no rio Madeira, Rondônia, projetada para custar aos empreendedores R\$ 12,2 bilhões completou as obras pelo valor de R\$ 20,0 bilhões (CBIC, 2016) – 64% a mais do que o orçamento inicial. A UHE Belo Monte com capacidade instalada de 11.181 MW, a maior potência instalada no país nos últimos anos por um único projeto, foi estimada inicialmente em R\$ 19 bilhões. Em 2016 os custos estimados da usina eram de R\$ 32,9 bilhões (CBIC, 2016), o que representa um sobrecusto de 70% - até o momento dessa dissertação.

Como já discutido nas seções acima, o método da visão de fora e a aplicação da classe de referência para comparar a distribuição de resultados e estabelecer o resultado mais provável pode ser útil para controlar os erros sistemáticos das estimativas. Por exemplo, baseado nesta técnica, a sugestão é de que os tomadores de decisão devem aumentar os seus orçamentos em torno de 75% do orçamento inicial para obter 50% de certeza de que seus custos finais estarão dentro do orçamento. Se os tomadores de decisão forem mais tolerantes aos riscos, devem aplicar um aumento de 30% no orçamento inicial; contudo terão 75% de chance de obter um custo final

que exceda este valor. Os mais conservadores (avessos a riscos) devem elevar seus custos inicialmente estimados em 180% para terem 80% de certeza que não ultrapassaram seu orçamento. Nota-se na Tabela 5.1 abaixo as probabilidades de sobrecustos e os incrementos adicionais nos custos, de acordo com o método de previsão por classe de referência, dos projetos acima citados. O P50 seria, para estes casos, o nível de risco mais indicado.

Tabela 5.1: Sobrecustos dos projetos segundo o método de previsão classe de referência

| Projeto       | Custo inicial<br>(bilhões R\$) | Neutra<br>P50 | Propensa ao risco<br>P25 | Aversa ao risco<br>P80 | Custo realizado<br>(bilhões R\$) |
|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Jirau         | 8,7                            | 15,23         | 11,31                    | 24,36                  | 16,6                             |
| Santo Antônio | 12,2                           | 21,35         | 15,86                    | 34,16                  | 20,0                             |
| Belo Monte    | 19                             | 28,5          | 24,7                     | 53,2                   | 32,9                             |

Fonte: Autor, 2016

Apesar das alterações orçamentárias e reiteradas prorrogações do prazo de entrega, causados por um conjunto de circunstâncias atreladas à magnitude dos projetos, complexidade e efeitos adversos não mitigados sobre as comunidades e o meio ambiente, é inegável que o PAC impulsionou de forma significativa a oferta presente e futura de energia no país (CBIC, 2016). Contudo, o custo da expansão da infraestrutura energética entre o período de 2007 e 2014 foi de 221,2 bilhões reais, investidos principalmente nas grandes hidrelétricas e nas linhas de transmissão correspondentes.

As grandes barragens não só são dispendiosas com revisões de orçamentos severos, como também elas levam muito tempo para serem construídas. Grandes hidrelétricas, em média, demoram 9,8 anos para serem finalizadas. Nota-se na Figura 5.5 abaixo a frequência, em percentagem, da distribuição dos atrasos da amostra. A distribuição paramétrica que melhor se ajustou aos dados foi a distribuição lognormal,  $X \sim (\kappa = 3,74; \theta=1,10)$ , Figura 5.6.

. No que diz respeito aos atrasos, fazem-se as seguintes observações:

- i. Nove em cada 10 projetos sofreram atrasos no cronograma inicial;
- ii. O tempo de conclusão das obras teve um aumento, em média, de 74,28 %, ou 3,5 anos, a mais do prazo estimado inicialmente, com um valor mediano de 38% ou



1,5 anos. Assim como os sobrecustos, os atrasos também mostram evidência de serem sistematicamente subestimados.

- iii. O gráfico da distribuição paramétrica dos atrasos também revela uma cauda longa, embora não tão gorda quanto a cauda dos sobrecustos. Os custos correm um risco maior de saírem fora de controle do que os cronogramas.

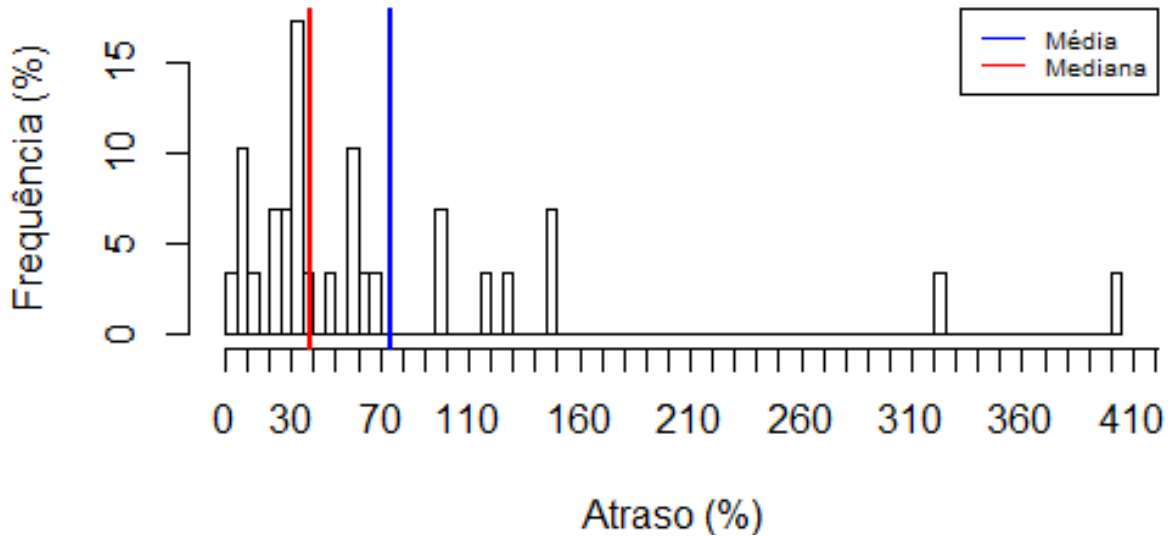


Figura 5.5: Frequência dos atrasos na construção de usinas hidrelétricas  
 Fonte: Autor, 2016

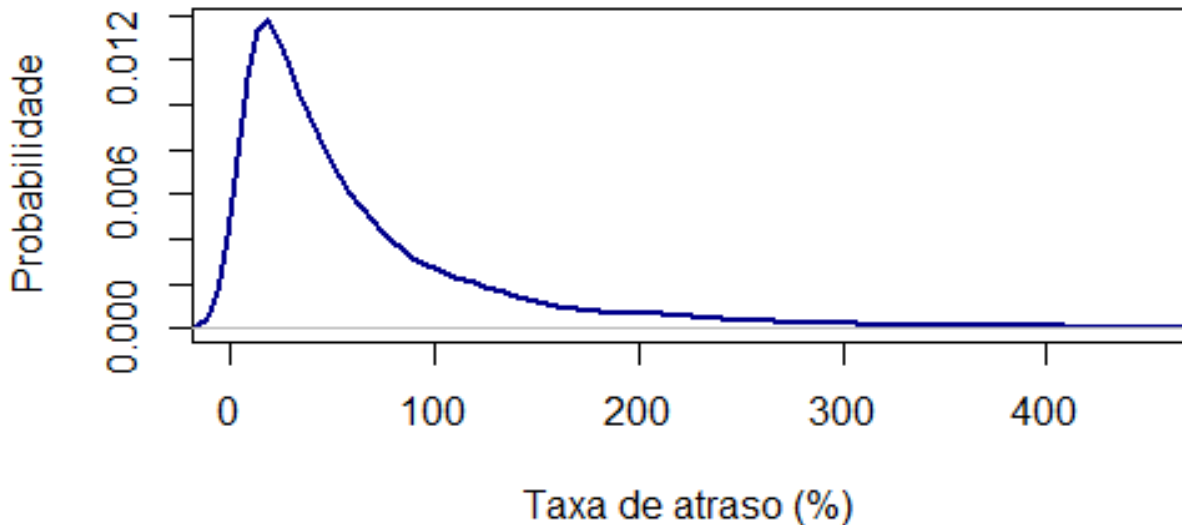


Figura 5.6: Função de distribuição de probabilidades de atrasos para construção de mega-hidrelétricas  
 Fonte: Autor, 2016

As mega hidrelétricas projetadas na região Norte do país também não escaparam dos atrasos sistemáticos. A UHE Jirau, que iniciou as obras em 2008, estava planejada para entrar em

operação em julho de 2015 (CBIC, 2016). Teve o prazo prorrogado para setembro de 2016, seguido por nova prorrogação, outubro de 2016 (CBIC, 2016). As primeiras turbinas entraram em operação nesta data, 16 meses após o planejamento inicial, sofrendo uma variação de 27% do cronograma inicial. A hidrelétrica Santo Antônio, também com início em 2008, com previsão de conclusão em dezembro de 2015 somente finalizou as obras em novembro de 2016 (CBIC, 2016). Esta usina apresenta uma taxa baixa de atraso, 1 ano ou 14,28%, e é promovida como um exemplo no setor (SANTO ANTONIO ENERGIA, 2016). Já o destaque em atraso vai para a UHE de Jatobá, que estava planejada para finalizar as obras em maio de 2012, a nova estimativa de conclusão é dezembro de 2019 (CBIC, 2016), 91 meses de diferença em relação ao prazo inicial ou 7 anos e meio. A emblemática Belo Monte também sofreu atrasos. Iniciada em 2011 com previsão de conclusão em fevereiro de 2015, prorrogou o prazo para entrar em operação em junho de 2019 (CBIC, 2016) – uma variação no cronograma inicial de, aproximadamente, 80%.

O método da visão de fora também mostra-se útil para auxiliar os planejadores e tomadores de decisão em relação ao real cronograma de execução das obras. Por exemplo, a sugestão é de que os tomadores de decisão devem aumentar os seus prazo de entrega em torno de 45% da estimativa inicial para obter 50% de certeza de que seu prazo final estará dentro do previsto. Se os tomadores de decisão forem mais tolerantes aos riscos, devem aplicar um aumento de 20% no cronograma inicial, contudo terão 75% de chance de atrasarem a entrega do projeto. Os mais conservadores (avessos a riscos) devem elevar seu tempo de finalização inicialmente estimado em 110% para terem 80% de certeza que não ultrapassaram o cronograma. Nota-se na Tabela 5.2 abaixo as probabilidades de atraso e os incrementos adicionais no prazo de entrega do projeto, de acordo com o método de previsão por classe de referência. O P25 seria, para os projetos de Jirau e Santo Antônio, o mais indicado. Já para a hidrelétrica de Belo Monte a chance de atrasos a ser aceita é maior, entre P50 (neutro) e P80 (avesso).

Tabela 5.2: Atrasos (meses) dos projetos segundo o método de previsão classe de referência

| Projeto       | Tempo inicial (meses) | Neutra P50 | Propensa ao risco P25 | Avessa ao risco P80 | Tempo realizado (meses) |
|---------------|-----------------------|------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Jirau         | 90                    | 126        | 108                   | 189                 | 106                     |
| Santo Antônio | 96                    | 134        | 115                   | 202                 | 107                     |
| Belo Monte    | 62                    | 87         | 74                    | 130                 | 102                     |

Fonte: Autor, 2016

Por fim, quanto maior a capacidade instalada da hidrelétrica, maior será o tempo para concluir as obras. Em países como o Brasil, que sofrem com variações significativas de inflação e taxa de câmbio, quanto maior o prolongamento de um projeto maior será a exposição aos riscos macroeconômicos (ANSAR *et al.*, 2013) - um fator fundamental na avaliação de um investimento. No curto prazo esses indicadores são mais estáveis e, portanto, as estimativas são mais confiáveis. Nota-se na Figura 5.7 abaixo a variação cambial desde que a Usina de Belo Monte foi leiloadada, em 2010, até a data presente. A taxa sofreu um aumento global de, aproximadamente, 94% em 6 anos.

A exposição monetária surge quando os insumos da construção de um projeto são denominados em uma moeda, mas os resultados em outra, ou vice-versa. O produto das hidrelétricas, a eletricidade, é denominado na moeda local. Uma grande parte dos insumos para construir uma represa, em países em desenvolvimento, no entanto, constituem importações financeiras pagas em USD. Uma vez que os passivos em dólares têm de ser pagos com a moeda local, a exposição monetária pode gerar uma hemorragia fiscal nos megaprojetos.

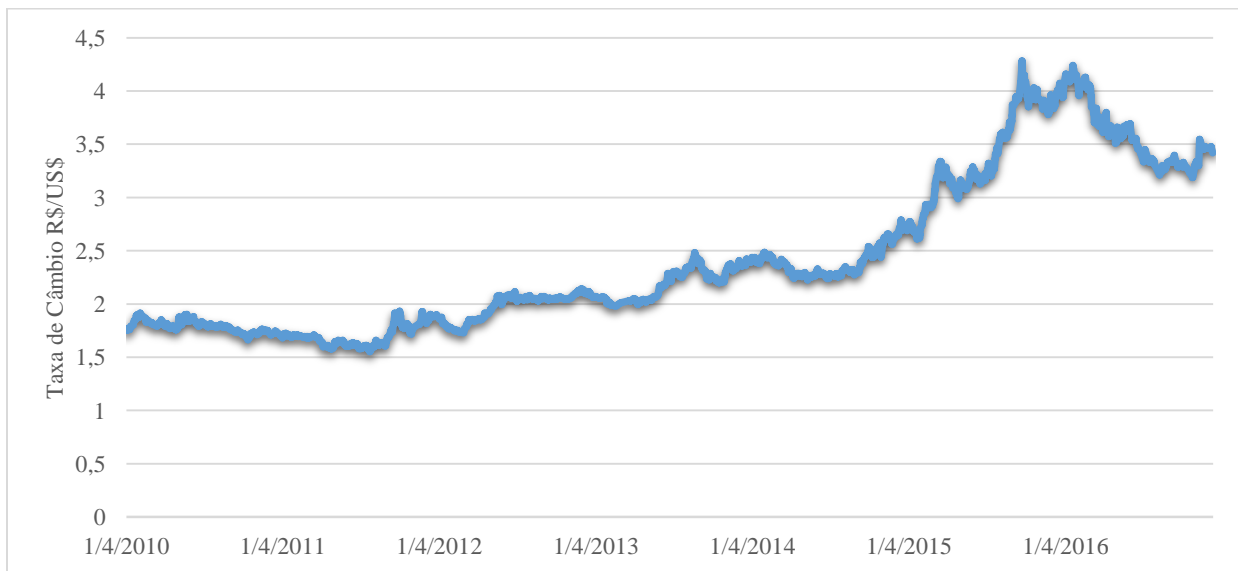


Figura 5.7: Taxa de câmbio R\$/US\$

Fonte: elaboração própria baseado nos dados do IPEADATA (2016).

Segundo Ansar, Flyvbjerg, *et al.* (2013), o melhor seguro contra a variação cambial é reduzir o cronograma de implementação para um horizonte o mais curto possível. Alternativas energéticas que podem ser construídas mais rápidas e com menor risco de exceder a programação como, por exemplo, o uso do *design* modular, são preferíveis.

Além disso, alternativas energéticas que não constituem uma grande proporção dos saldos de um país ou de uma empresa são preferíveis. Da mesma forma, os formuladores de políticas, particularmente em países com baixos níveis de desenvolvimento econômico, devem evitar investimentos denominados em uma mix de moedas (ANSAR *et al.*, 2013). Alternativas energéticas que dependem de menos importações ou equivalem à moeda dos passivos com a moeda de receitas futuras também são preferíveis.

### **5.1.1 A fragilidade dos megaprojetos**

Não há dúvida de que aproveitar e administrar o poder das águas é crítico para as economias, contudo as proposições teóricas e evidências empíricas provindas dos megaprojetos de energia, em especial das grandes hidrelétricas, sugerem que os megaprojetos falham em entregar as aspirações de escala e eficiência estabelecidos inicialmente.

As “teorias do grande” defendem a proposição de que “maior é melhor”, desde meados do século XIX, com ênfase especial nas noções de economias de escala e escopo (STIGLER, 1958); (SILBERSTON, 1972); (CHANDLER, 1990). As grandes construções têm sido tradicionalmente vistas como necessárias para garantir economias de escala e para bloquear concorrentes de futuras rivalidades (WERNERFELT e KARNANI, 1987). As economias de escala na produção de eletricidade, por exemplo, assumem uma curva declinante de custos a medida que a produção se expande (ANSAR e POHLERS, 2014)

Contudo, as “teorias do grande” não são universalmente aceitas. Schumacher (1973) defendeu "*Small is beautiful*". No debate acadêmico, uma escola de pensamento surgiu em torno da noção de incrementalismo, com conceitos como incrementalismo lógico (QUINN, 1978); modularidade (BALDWIN e CLARK, 2000); mudança adaptativa (HEIFETZ e GRASHOW, 2009). A fundamentação chave para o incrementalismo baseia-se nos limites da racionalidade na tomada de decisões sob incerteza (ATKINSON, 2011).

O inquérito realizado sobre a validade destas teorias mostra que as grandes decisões de investimento no setor energético, rotineiramente, falham no mundo real. No entanto, as “teorias do grande” mantiveram uma posição duradoura nas principais práticas empresariais e governamentais: megaprojetos, justificados pelas teorias de escala e escopo, são mais onipresentes e maiores do que nunca (FLYVBJERG, 2014).

Taleb *et al.* (2012) caracterizam a propensão de mega investimentos terem resultados negativos como "fragilidade", uma noção sugerida pelos autores. Uma coisa ou sistema que é facilmente prejudicado pela aleatoriedade é definido como frágil. Argumenta-se que, contrariamente à sua aparência, grandes investimentos frequentemente apresentam valor presente líquido negativo - devido às várias fontes de incertezas que os impactam durante a sua longa gestação, implementação e operação.

Não se refuta a existência de economias de escala e escopo. Em vez disso, Taleb *et al.* (2012) alegam que os grandes investimentos têm uma exposição desproporcional (não linear) às incertezas, que geram retornos abaixo do esperado ou negativos acima de suas economias de escala e escopo. Os autores ainda argumentam que, para obter sucesso, os líderes de projetos precisam considerar cuidadosamente os limites de escala. Assumir automaticamente que “maior é melhor”, que é comum no gerenciamento de megaprojetos, é uma receita para o fracasso.

Estas proposições reforçam a mensagem essencial dos resultados estatísticos obtidos neste trabalho: projetos maiores envolvem riscos incontroláveis que não podem ser antecipados e adequadamente mitigados. As economias de escala embutidas nos grandes projetos enfrentam uma exposição ao risco desproporcional às economias financeiras que podem gerar, o que acarreta em sobrecustos e atrasos no projeto.

As coisas frágeis, segundo Taleb *et al.* (2012), são vulneráveis aos membros da “família da desordem”, como aleatoriedade, incerteza, volatilidade, variabilidade, perturbação ou entropia - termos que foram utilizados para explorar a fragilidade de grandes investimentos. Taleb *et al.* (2012) propõe a construção da fragilidade, e seu antônimo anti-fragilidade, para capturar o tipo de aleatoriedade e risco que se tratou neste trabalho.

Ao contrário da proposição convencional de “maior é melhor”, encontrou-se que grandes investimentos em projetos de infraestrutura energética são propensos à fragilidade - vulnerabilidade dos investimentos em se tornarem irre recuperáveis devido ao impacto de eventos aleatórios.

O que as “teorias do grande” não conseguem incorporar em sua lógica é que o superdimensionamento de um sistema aumenta sua complexidade desproporcionalmente, devido ao maior número de interações e permutações agora possíveis entre mais subcomponentes, e isso leva à fragilidade. Erros pequenos em uma ou poucas interações se amplificam no sistema maior. Tudo isto exerce um impacto financeiro: propensão para sobrecustos na construção; grandes faturas inesperadamente na fixação de novas vulnerabilidades quando elas se tornam aparentes à medida que o sistema envelhece; e custos de descomissionamento enormes se o sistema tem de ser desativado ou colapsa (ANSAR, FLYVBJERG, *et al.*, 2013). Apesar de sua aparência de Golias, grandes investimentos quebram facilmente. Uma maior propensão à fragilidade é intrínseca aos megaprojetos.

Ainda, Ansar, Flyvbjerg, *et al.* (2013) argumentam que a teoria convencional se confundiu com a conceito de escalabilidade. Grande implica ser conhecido e complexo com atributos múltiplos, tais como grandes despesas financeiras iniciais, horizontes temporais duráveis, imobilidade espacial e capacidade de produzir grandes unidades de saídas. Em contraste, a escalabilidade é melhor compreendida considerando a diferença entre uma performance musical ao vivo e uma gravação digital da mesma música. O concerto ao vivo só está disponível no local prescrito (espacial), no tempo prescrito (temporal), e para um público limitado (relacional). Qualquer um pode apreciar a gravação digital, em qualquer lugar, a qualquer hora. O concerto ao vivo não é escalonado. A gravação o é. Fragilidade surge quando o grande é forçado a fazer o que seria melhor feito pelo escalonável.

O estudo realizado a respeito dos mega investimentos na construção de soluções energéticas evidenciam estas características. As empresas ou países que realizam grandes investimentos herdaram essa fragilidade. Por exemplo, os custos desmesurados das grandes barragens e megaprojetos causaram um crescimento da dívida nos países em desenvolvimento prejudicando seu potencial econômico. Os países em desenvolvimento, apesar de aparentemente

mais necessitados de instalações complexas, tais como grandes barragens, devem ficar longe de projetos que são grandes (ANSAR, FLYVBJERG, *et al.*, 2013).

Deveriam os tomadores de decisão abandonar todos os grandes empreendimentos? Claro que não. Mas os tomadores de decisão devem avaliar cuidadosamente quando “maior é melhor”, em vez de assumirem que isso é uma regra. Evidências sugerem que, numa base ajustada ao risco, com mais frequência do que é suposto, grandes empreendimentos são improváveis de apresentar um bom retorno. Os principais decisores responsáveis em dar o sinal verde final para um grande investimento no setor devem permanecer céticos em relação aos números que lhes são apresentados na avaliação. Os tomadores de decisão também devem procurar desvios de estimativas de tempo de conclusão, custos e benefícios, exigindo testes de estresse mais extremos, refletindo a variância completa dos fenômenos, para determinar o limiar de vulnerabilidade a que o investimento que estão prestes a realizar está sujeito.

Se o megaprojeto é frágil, qual é a alternativa? Não se tem espaço aqui para responder a esta pergunta. Por outro lado, pode-se trabalhar com a heurística, “Se grande é frágil, então quebre-o em partes” (ANSAR, FLYVBJERG, *et al.*, 2013). Mais numerosas pequenas soluções energéticas são mais prudentes da perspectiva do gerenciamento de riscos e da maximização do valor presente líquido, mesmo quando estes projetos aumentam o custo da unidade de produção de energia. Por agora, concluí-se que, antes de se comprometer com um grande empreendimento, os tomadores de decisão deveriam considerar rigorosamente outras possíveis alternativas.

Por fim, fundamentando-se na literatura de gestão da tomada de decisão sob incerteza, psicologia e planejamento, este trabalho fornece para agências públicas (por exemplo, ministérios nacionais de planejamento e finanças, energia e água, autoridades públicas - empresários privados, investidores e sociedade civil) embasamento teórico e empírico para testar a confiabilidade das estimativas *ex ante* para a construção de alternativas de geração de energia no país. A aplicação imparcial e rigorosa das previsões das classes de referência, método proposto, podem melhorar a implementação de novos investimentos no setor de infraestrutura energética brasileira.





## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação do desempenho dos indicadores de custo e tempo de entrega dos megaprojetos de energia.

Para tanto, no capítulo introdutório definiram-se as principais variáveis de estudo, premissas e limitações. Foi considerado um megaprojeto de infraestrutura de energia os projetos que envolvem mais de um bilhão de dólares em investimentos, descritos como de alto risco, complexo, com alto grau de incerteza e intensos em impactos sociais e ambientais, com vários interessados. Megaprojetos no setor de energia podem incluir a construção de plantas de geração nuclear, Exploração & Produção de óleo e gás, sítios eólicos e solares, hidrelétricas, entre outros.

O desempenho do projeto abordado neste trabalho é referente ao gerenciamento do projeto; ou seja, foca no sucesso do processo de implantação do projeto, em particular nas medidas de custo, qualidade e prazo e, também, na maneira como o processo de implantação é conduzido. Contudo, o sucesso do projeto ficou limitado neste estudo aos fatores de desempenho custo e tempo. As demais variáveis não foram abordadas, pois necessitariam uma análise mais detalhada de cada projeto.

Também foram definidos neste capítulo a hipótese, objetivo geral e objetivos específicos que nortearam as pesquisas e revisões bibliográficas. Investigou-se a hipótese de que o desempenho de megaprojetos é mais assimétrico do que de projetos de pequeno-médio porte, em termos estatísticos. Ao analisar este argumento buscou-se contribuir para o desenvolvimento e/ou melhoria dos processos de planejamento e implantação de novos empreendimentos energéticos.

No capítulo 2 realizou-se uma avaliação internacional do desempenho de megaprojetos de energia. Na primeira subseção foi realizada uma avaliação qualitativa dos fatores que vem impulsionando megaprojetos de energia, com enfoque nas múltiplas escalas de governança energética. Foram identificados na literatura sete fatores chaves que vêm impulsionando o crescimento do tamanho e do número de megaprojetos: (1) Economia de escala; (2) Aglomeração industrial; (3) Crescimento na regulação; (4) Idade do pessoal especializado; (5) Competição com as companhias nacionais de energia; (6) Padronização, e (7) O *allure* do modernismo.

A principal justificativa que fomenta as empresas investirem em megaprojetos é a percepção que projetos grandes irão produzir economias de escala. O sucesso do sistema energético esteve historicamente associado a algumas premissas: os planejadores acreditavam que os sistemas deveriam ser compostos por poucas, porém grandes unidades de fornecimentos e distribuição, e que estas unidades deveriam ser compostas por grandes aparatos monolíticos em vez de pequenos modelos redundantes.

A seção 2.2 realizou uma análise quantitativa dos megaprojetos de energia fundamentada em bases de dados internacionais elaborada por especialistas da área. A primeira base de dados analisada foi retirada de Sovacool, Gilbert e Nugent (2014). Os autores coletaram dados confiáveis do custo e do tempo de construção para todos os tipos de plantas de geração de energia elétrica maiores que 1 MW de capacidade instalada e projetos de linhas de transmissão maiores que 10 km. A amostra contém 6 tipos de projetos: termelétricas, plantas de geração que dependem de combustíveis como carvão, óleo, gás natural e biomassa; reatores nucleares; hidrelétricas; parques eólicos; parques solares fotovoltaicos (PV) e heliotérmicos (CSP); e, linhas de transmissão de alta tensão. No total foram coletadas informações de 401 projetos, sendo que 180 destes são projetos de reatores nucleares, o que enviesava a amostra e a análise setorial. Ao trabalhar com uma amostra reduzida de observações, admitiu-se a limitação de representatividade da população.

Postas as limitações da base de dados utilizada, foi feita a análise de sobrecustos e atrasos incorridos na construção de 401 projetos de eletricidade desenvolvidos entre 1936 e 2014 em 57 países. Em suma, estes projetos necessitaram de US\$ 858 bilhões de investimento e somaram 325.515 MW de capacidade instalada, além de 8.495 km de linhas de transmissão.

Notou-se a crescente evolução do custo médio do kW durante os anos, ficando claro que o custo da construção de plantas de geração de energia elétrica ficou mais alto e não mais baixo com o passar do tempo. Isto sugere um efeito negativo na curva de aprendizado dos custos e tempos de construção dos empreendimentos energéticos. Um fator que pode estar induzindo essa tendência geral são as políticas nacionais e as novas exigências dos marcos regulatórios.

Observou-se que a década de 1980 foi marcada por investimentos em fontes de energia de origem nuclear, que reduziram sua participação no portfólio de investimento após os acidentes de

Three Mile Island, Chernobyl e mais recentemente, Fukushima. Paralelamente, notou-se o aumento das tecnologias que aproveitam fontes renováveis, particularmente a eólica e a solar, que tiveram uma maior contribuição para a expansão mundial da capacidade geradora de energia elétrica a partir da década de 2000.

O tempo médio de atraso foi de 73,4 meses e o custo médio dos sobrecustos foi na ordem de US\$ 1 bilhão ou 66% em média do valor inicialmente estimado. Mais de três quartos dos projetos da amostra sofreram sobrecusto, com diferença significativa para cada classe de referência. Notou-se que as fontes nuclear e hídrica são as que apresentam um delta em termos absolutos mais elevado, que evidencia a natureza mais arriscada desses investimentos. Em seguida, as fontes de geração térmica apresentam um desvio mais acentuado, enquanto as demais indicam um erro tolerável. Em termos percentuais, tornou-se claro o risco associado aos investimentos nucleares e hidrelétricos, o primeiro apresenta uma variação de 117,3% enquanto o segundo 70,6%.

Foi descrito o procedimento estatístico adotado, baseado em Muller e Dutang (2015), para ajustar uma distribuição paramétrica ao conjunto de dados. Na Tabela 2.5 e Tabela 2.6 encontram-se os resumos estatísticos dos sobrecustos e atrasos por fonte, respectivamente. Apesar das limitações impostas pelo tamanho da amostra, ficou claro que os sobrecustos e atrasos são comuns para todas as fontes de geração de energia elétrica, com algumas fontes de geração apresentando desvios mais acentuados, um indício de que devem passar por análises de riscos mais detalhadas.

Outra análise desenvolvida foi a avaliação de que, independentemente da classe de referência, a localização dos projetos teria influência nos sobrecustos e atrasos. Os países da OCDE apresentaram o maior sobrecusto médio (69,78%), contudo esse valor é certamente influenciado pelos reatores nucleares da amostra; excluindo os projetos nucleares, o sobrecusto médio se reduz para 21,1%. A grande influência do desempenho das nucleares é um indicativo de que frequentemente os sobrecustos e atrasos ocorrem na construção de reatores nucleares. Os países do BRICS apresentaram o segundo maior sobrecusto (69,52%), influenciado fortemente pelo baixo desempenho das usinas hidrelétricas. Em relação aos atrasos, os países da OCDE apresentaram um atraso próximo da média (43,7%). O destaque ficou para os países localizados

no Centro-Ásia (97,3%) e na América Latina (65,4%), seguidos pelos BRICS (52%). Para o desempenho de tempo de construção ficou clara a baixa performance dos países em desenvolvimento. Muitos desses atrasos são motivados pela falta de uma pré-infraestrutura, profissionais capacitados, necessidade de trabalhadores estrangeiros, entre outras razões explicitadas no capítulo. Quanto à influência geográfica, observou-se uma generalização de sobrecustos e atrasos por todos os países estudados, independente da estrutura de governança, com algumas diferenças significativas, porém não conclusivas sobre a influência geográfica no desempenho.

Foi desenvolvida outra análise para avaliar se o tamanho dos projetos tinha influência nos atrasos e sobrecustos, em magnitude. Notou-se que o aumento da capacidade instalada dos projetos tem efeito negativo sobre as variáveis estudadas. Também observou-se que projetos que são mais modulares, como o caso dos parques solares e eólicos, que podem ser construídos com materiais pré-fabricados, são menos sensíveis ao tamanho dos projetos.

Para o setor de óleo e gás a avaliação de desempenho da entrega dos projetos no tempo e custo estimados inicialmente também apresentou baixa performance. A EY (2014) identificou 365 projetos, cujo capital de investimento fosse superior a US\$ 1 bilhão, nos seguintes segmentos da indústria: upstream, GNL, gasodutos e refinarias. Cumulativamente estes projetos somaram cerca de US\$ 2,6 trilhões e foram distribuídos globalmente e através dos quatro segmentos.

Os sobrecustos e atrasos no cronograma foram comuns em todos os segmentos da indústria e em todas as regiões, contudo, certos segmentos e localizações apresentam um desempenho pior que os demais. Observou-se que o custo estimado estava, em média, 59% acima do custo real. Em termos absolutos, os custos cumulativos desses projetos somaram um total de US\$ 1,7 trilhões sendo que haviam sido estimados para custar US\$ 1,2 trilhões, o que representou um acréscimo de US\$ 500 bilhões.

No capítulo 3 fez-se uma análise qualitativa dos sobrecustos e atrasos em megaprojetos. Baseando-se na literatura disponível sobre o assunto, foi realizado, primeiramente, uma revisão sobre o porquê de as previsões errarem e, posteriormente, foi elaborado um mapa com as principais causas que acarretam em sobrecusto e atrasos.

De forma resumida, foram identificados três tipos principais de explicações para os erros de estimativas em megaprojetos: técnico, psicológico e político-econômico. As explicações técnicas ocorrem em termos de métodos imperfeitos de estimativas, dados inadequados, erro humano, problemas inerentes em se prever o futuro, falta de experiência dos analistas, etc. As explicações psicológicas se dão em termos do que os psicólogos chamam de “*planning fallacy*” e viés otimista. As interpretações político-econômicas veem os planejadores e promotores dos projetos como deliberadamente e estrategicamente superestimando os benefícios e subestimando os custos quando estimam os resultados dos projetos.

Na subseção 3.2 foram discutidos os fatores responsáveis pelos sobrecustos e atrasos em megaprojetos. De acordo com Credit Suisse (2014), 65% das falhas de projetos são devido a aspectos mais sutis, tais como pessoas, organização e governança. Outros 21% foram causados por processos e estratégias de gerenciamento, contratações e compras, os outros 14% das falhas foram motivadas por fatores externos, como intervenções governamentais e mandatos relacionados ao meio ambiente. Pode-se observar na Figura 3.1 as principais causas de sobrecustos e atrasos na indústria de O&G; também foi descrito nesta seção cada elemento do quadro de causas.

No capítulo 4, Gestão de Projetos, encontra-se uma revisão bibliográfica acerca das principais questões atreladas a tomada de decisão na gestão de megaprojetos. Na seção 4.1 identificaram-se as definições clássicas de gestão de projeto. Na seção 4.2 abordaram-se os tipos de incertezas predominantes na gestão de projetos e as alternativas de tratamento e respostas a elas. Na seção 4.3 descreveu-se um método para avaliação dos documentos de análise de custo-benefício, com o objetivo de tornar as estimativas mais realistas. Na última subseção apontaram-se as premissas centrais por trás dos principais métodos de gestão e discutiu-se uma nova abordagem para o tratamento da concepção e controle dos megaprojetos.

Identificaram-se cinco grupos de processos de gerenciamento de projetos: início, planejamento, execução, monitoramento e controle, encerramento. Esta dissertação focou, principalmente, na fase de planejamento do projeto, também conhecida como fase de definição do projeto. Um dos métodos mais utilizados nesta etapa de definições é o *Front-End Loading* (FEL). Conforme o projeto avança pelos FELs, a viabilidade vai sendo testada, as informações

produzidas melhoradas e as dimensões e escopo do projeto melhor compreendidas. O nível de incerteza é reduzido e as contingências podem ser reduzidas. Registrou-se que, se o trabalho é bem realizado, o “custo da linha de base” e de contingência do projeto permanecem os mesmos, e as incógnitas são trocadas por certeza e conhecimento.

Relataram-se na seção “Causas do sucesso e do fracasso” alguns fatores transversais de sucesso: a questão de o planejamento do projeto ser desenvolvido por uma equipe externa; a definição clara do escopo e objetivo do megaprojeto; a boa comunicação interna e externa ao projeto; e processos de gestão e controle efetivos. Contudo, apesar dos elementos enumerados acima, constatou-se que ainda não foi identificada nenhuma relação causal padrão que pode determinar o sucesso ou o fracasso de um megaprojeto, apenas algumas evidências.

Na seção “Desempenho de custo, cronograma e escopo”, que compõe o que os gerentes de projetos chamam de “restrição tripla” do gerenciamento do projeto, descreveram-se os principais indicadores utilizados na gestão de projetos que auxiliam na tomada de decisão. Cita-se aqui: o Indicador de Desempenho de Custos (IDC), útil para mostrar se o progresso físico está sendo alcançado a um custo maior, menor ou igual àquele previsto na fase de planejamento do projeto; e, o Índice de Desempenho de Prazo (IDP), útil para mostrar se o progresso físico está sendo alcançado de forma mais rápida ou mais lenta do que o previsto no cronograma do projeto.

De uma perspectiva de controle, observou-se que apesar da sabedoria convencional e convenções de nomenclaturas atuais, nenhuma das chamadas ferramentas de controle de projeto realmente controlam qualquer coisa. Verificou-se que no mundo complexo de um megaprojeto o cronograma pode ser usado como: uma ferramenta de planejamento eficaz para ajudar as pessoas a se envolverem em conversas focadas nas ações futuras; como motivador para inspirar o desempenho dos membros da equipe; como uma ferramenta de comunicação eficaz para coordenar ações e auxiliar a colaboração proativa.

Para o melhor controle dos custos nos megaprojetos estabeleceu-se o conceito de cadeias de abastecimento integradas. O principal objetivo dos acordos de trabalho coletivos e equipes de suprimento integradas é envolver o cliente, consultores de *design*, contratados, subcontratados e fornecedores em uma equipe, com incentivos e estrutura que garantam que todos trabalhem

juntos para alcançar as metas compartilhadas acordadas. Se o projeto for bem sucedido haverá participação nos ganhos, se não for, então haverá compartilhamento das perdas.

Neste capítulo também descreveu-se o gerenciamento de riscos, processo sistemático que tem por objetivo identificar, analisar e responder aos riscos de um projeto. O principal objetivo da gestão de risco é diminuir ou até eliminar a probabilidade e/ou o impacto de um evento negativo, ou seja, adverso ao projeto de acontecer. Por outro lado, também se preocupa em aumentar a probabilidade e/ou impacto de um evento positivo, ou seja, benéfico para o projeto acontecer.

A incerteza, aspecto inevitável da maioria dos projetos, foi tratada na seção “Gerenciando incertezas em um projeto”. Foram identificadas quatro categorias de incerteza, bem como as técnicas de gerenciamento destas no projeto: variação, incerteza prevista, incerteza imprevisita e caos. Embora muitos projetos sejam caracterizados por um tipo dominante de incerteza, muitas vezes eles vão exibir uma mistura dos quatro tipos. Os tomadores de decisão devem ser flexíveis o suficiente para adotar as abordagens certas no tempo certo. O desafio na gestão de incerteza, para qualquer grau, é encontrar o equilíbrio entre o planejamento e a aprendizagem.

Os megaprojetos de energia são um bom exemplo para ilustrar estes conceitos, por serem empreendimentos compostos por todos os perfis de incerteza com predominância do perfil caótico. Apesar de as tecnologias utilizadas em seu escopo serem bem consolidadas na indústria, a escala dos projetos os tornam únicos e complexos. Gerenciar o planejamento do escopo, a relação com fornecedores e as variáveis exógenas ao megaprojeto significa lidar com resultados, muitas vezes, imprevisíveis, que exigem soluções adaptativas. Cada nova fase fornece maiores informações sobre como proceder nas atividades seguintes e quais decisões tomar diante do novo cenário. Para megaprojetos é mais importante desenvolver uma estrutura de gestão com capacidade de adaptação aos fatores internos e externos do que a procura de uma padronização de processos.

Para melhorar as previsões das análises de custo-benefícios recomendou-se a utilização de um método promissor chamado de "*class reference forecasting*" para reduzir a imprecisão e viés das estimativas. A previsão baseada numa classe de referência consiste em tomar a chamada “*outside view*” sobre um projeto específico que está sendo estimado. A “visão de fora” é estabelecida com base em informações de uma classe de projetos semelhantes. Este método não

tenta prever os eventos incertos específicos que afetarão o projeto particular, mas, em vez disso, coloca o projeto em uma distribuição estatística dos resultados da classe de referência do projeto. A previsão baseada na classe de referência requer as seguintes três etapas: (i) identificação de uma classe de referência relevante de projetos passados; (ii) estabelecimento de uma distribuição de probabilidade para a classe de referência selecionada; e, (iii) comparar o projeto específico com a distribuição da classe de referência, a fim de estabelecer o resultado mais provável para o projeto específico.

Na seção “Uma visão simples da "complexidade" da gestão de projetos”, foi explicado porque o grande desafio da gestão de projetos a ser enfrentado no século 21 é a mudança do paradigma “comando e controle”, baseado nas teorias do gerenciamento científico desenvolvidas por Taylor e outros autores no século 20, para o reconhecimento da inerente incerteza e complexidade envolvida na gestão de todos os projetos.

É importante que os profissionais que gerenciam megaprojetos estejam cientes desse desafio, pois ajuda a entender como os sobrecustos emergem nos megaprojetos, tanto em termos conceituais, como também auxilia a selecionar estratégias práticas para o manejo da síndrome.

No capítulo 5 utilizou-se o método de previsão por meio de classe de referência, descrito na subseção 4.3, para avaliar a robustez das estimativas de custo e tempo de conclusão de megaprojetos de energia no Brasil, bem como os riscos de sobrecustos e atrasos a que outros projetos do setor energético estão sujeitos.

Utilizaram-se as funções de distribuição de probabilidade elaboradas no segundo capítulo para avaliar o desempenho das mega hidrelétricas construídas recentemente no país. A distribuição paramétrica que melhor se ajustou aos dados de sobrecusto foi a distribuição gama,  $X \sim (\kappa = 0,876; \theta=125)$ .

Em relação aos sobrecustos foram feitas as seguintes constatações: 8 de cada 10 projetos sofreram sobrecustos em termos constantes da moeda local; os custos foram, em média, 97,53 % do que o estimado inicialmente, tendo como base a amostra dos projetos que sofreram sobrecustos. O valor mediano dos sobrecustos foi de 64,65 %, com IQR de 77,52 %; o gráfico de sobrecustos evidencia a cauda longa à direita, que comprova a hipótese do estudo. O custo real



mais do que dobra para 1 de cada 10 projetos; o valor médio do custo do MW sofreu um aumento de 63%.

Encontram-se na Tabela 5.1 as probabilidades de sobrecustos e os incrementos adicionais nos custos, de acordo com o método de previsão por classe de referência, dos projetos citados, UHE Jirau, Santo Antônio e Belo Monte. As estimativas *ex ante* foram analisadas através de três probabilidades de sobrecustos: nível de risco de 50% de sobrecusto, P50, considerado como uma visão neutra do cenário de sobrecusto; nível de risco de 25% de sobrecusto, P25, considerado como uma tomada de decisão otimista em relação ao desempenho de custo do projeto; e nível de risco de 80% de sobrecusto, P80, considerado como uma decisão avessa ao risco de sobrecusto. O P50 seria, para estes casos, o nível de risco mais indicado, que implica num aumento de 75% do orçamento inicial. Ou seja, os tomadores de decisão deveriam aceitar um risco de 50% de chance de sobrecusto em seus megaprojetos, o que implicaria em aumentar as estimativas de custo em 75% do valor inicial para obter estimativas mais realistas.

A distribuição paramétrica que melhor se ajustou aos dados de atraso foi a distribuição lognormal,  $X \sim (\kappa = 3,74; \theta=1,10)$ . Foram feitas as seguintes observações: Nove em cada 10 projetos sofreram atrasos no cronograma inicial; o tempo de conclusão das obras teve um aumento, em média, de 74,28 %, ou 3,5 anos, a mais do prazo estimado inicialmente, com um valor mediano de 38% ou 1,5 anos; o gráfico da distribuição paramétrica dos atrasos também revela uma cauda longa, embora não tão gorda quanto a cauda dos sobrecustos. Os custos correm um risco maior de saírem fora de controle do que os cronogramas.

Encontram-se na Tabela 5.2 as probabilidades de atraso e os incrementos adicionais no prazo de entrega do projeto, de acordo com o método de previsão por classe de referência. As estimativas *ex ante* foram analisadas através de três probabilidades de atraso no cronograma: nível de risco de 50% de atraso, P50, considerado como uma visão neutra do cenário de atraso; nível de risco de 25% de atraso, P25, considerado como uma posição otimista para o projeto; e nível de risco de 80% de atraso, P80, considerado como uma decisão avessa ao risco de atraso. O P25 seria, para os projetos de Jirau e Santo Antônio, o mais indicado. Já para a hidrelétrica de Belo Monte a chance de atrasos a ser aceita é maior, entre P50 (neutro) e P80 (avesso). Notou-se

que quanto maior a capacidade instalada de geração do projeto maior deve ser o nível de risco de atraso aceito pelos tomadores de decisão.

Não há dúvida de que aproveitar e administrar a energia mecânica das águas é crítico para as economias, contudo as proposições teóricas e evidências empíricas provindas dos megaprojetos de energia, em especial das grandes hidrelétricas, sugerem que os megaprojetos falham em entregar as aspirações de escala e eficiência estabelecidos inicialmente.

Não se refutou nesse estudo a existência de economias de escala e escopo. Em vez disso, alegou-se que os grandes investimentos têm uma exposição desproporcional (não linear) às incertezas, que geram retornos abaixo do esperado ou negativos acima de suas economias de escala e escopo. Estas proposições reforçam a mensagem essencial dos resultados estatísticos obtidos neste trabalho: projetos maiores envolvem riscos incontroláveis que não podem ser antecipados e adequadamente mitigados. As economias de escala embutidas nos grandes projetos enfrentam uma exposição ao risco desproporcional às economias financeiras que podem gerar, o que acarreta em sobrecustos e atrasos no projeto.

Os tomadores de decisão devem avaliar cuidadosamente quando “maior é melhor”, em vez de assumirem que isso é uma regra. Também devem procurar desvios de estimativas de tempo de conclusão, custos e benefícios, exigindo testes de estresse mais extremos, refletindo a variância completa dos fenômenos, para determinar o limiar de vulnerabilidade a que o investimento que estão prestes a realizar está sujeito.

Mais numerosas pequenas soluções energéticas poderiam ser mais prudentes da perspectiva do gerenciamento de riscos e da maximização do valor presente líquido, mesmo quando estes projetos aumentam o custo da unidade de produção de energia. Por agora, considera-se que, antes de se comprometer com um grande empreendimento, os tomadores de decisão deveriam considerar rigorosamente outras alternativas.

Ao melhorar as estimativas do setor, através do uso de análises *ex post*, todo o sistema energético é beneficiado, pois estimativas mais realistas evitam o dispêndio financeiro, permitem uma melhor avaliação das alternativas de investimentos e tempos de entrega dos projetos.

Recomenda-se para estudos futuros a elaboração de uma base de dados de projetos brasileiros, com mais observações e detalhamentos. Este banco de dados poderia ser utilizado para elaborar uma classe de referência dos projetos brasileiros do setor de energia, incluindo a indústria de combustíveis. Ao melhorar o nível de informação do desempenho da construção dos megaprojetos, os processos de tomada de decisão passam a ter uma maior probabilidade de sucesso. Outras análises e modelagem estatísticas podem ser elaborados, tais como: regressões, análises de inferência, avaliação da relação entre os sobrecustos ao longo do tempo através de modelos dinâmicos.

Também sugere-se um estudo mais detalhado a respeito da governança do procedimento de fiscalização e controle de megaprojetos de energia no Brasil e outras alternativas de modelos regulatórios e de incentivo. Ao trabalhar com um sistema de punição monetária por infração por atraso a estrutura de gestão brasileira permite pouco espaço para soluções adaptativas, que pode ser mais um fator que contribui para os sobrecustos e atrasos nos projetos. Além disso, um estudo futuro mais minucioso a respeito dos projetos de energia de pequena escala seria importante para analisar as alternativas de investimentos no setor e fundamentar futuras tomadas de decisão.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABUSALAH, M. **Key points to address during FEL**. Wiki.iploca.com, 2014. Disponível em: <<http://wiki.iploca.com/display/rtswiki/2.2+Key+points+to+address+during+FEL>>. Acesso em: 26 Outubro 2016.
- AEC. **Statement on Methods for Achieving Standardization of Nuclear Power Plants 3**. Atomic Energy Commission, 1974.
- AECOM. **Sustainability Report**, 2012.
- AFPM. The implications of refinery closures for U.S homeland security and critical infrastructure safety. **American Fuel & Petrochemical Manufacturer**, 2012.
- ANDRADE, M. **Introdução a Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 2005.
- ANEEL. **Consórcio Energia Sustentável do Brasil vence leilão de Jirau, 2008**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias\\_area/arquivo.cfm?tipo=PDF&idNoticia=2558&idAreaNoticia=347](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivo.cfm?tipo=PDF&idNoticia=2558&idAreaNoticia=347)>. Acesso em: 15 Dezembro 16.
- ANDRÉ, C; REGAZZI, A. **Critérios para seleção de modelos baseados na razão de verossimilhança, 2008**. Disponível em: <<http://arquivo.ufv.br/dbg/resumos2008b/Resumo%20Claudomiro.htm>>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.
- ANSAR, A.; FLYVBJERG, B.; BUDZIER, A.; LUNN, D. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy Policy**, 2013.
- ANSAR, A.; POHLERS, M. Fluid populations, Immobile Assets: synchronizing infrastructure investments with shifting demography. **International Area Studies Review**, p. 222-248, 2014.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, São Paulo, 2014. 14-28.
- ARWAS, P. Offshore wind cost reduction pathways study. **The Crown Estate**. 2012.
- ASCHER, W. **Forecasting: An Appraisal for Policy-makers and Planners**. Jonhs Hopkins University Press, 1978.
- ASSOCIATION, A. P. JAPA. **Article Calls on Planners to Help End Inaccuracies in Public American Planning Association**, 2005. Disponível em: <<http://www.planning.org/newsreleases/2005/ftp040705.htm>>. Acesso em: 4 Novembro 2016.
- ASSOCIATION, M. P. Beyond 2000: A Source Book for Major Projects. **Major Projects Association**. Oxford. 1994.

ATKINSON, M. Lindblom's lament: incrementalism and the persistent pull of the status quo. **Policy and Society**, p. 9-18, 2011.

AURA, S. Assessing the Economic Impact of the Proposed Aerotropolis Legislation. **Policy Briefing Number**, 2011. 2.

BACCARINI, D. The concept of project complexity - a review. **International Journal of Project Management**, 1996. 201-204.

BACCARINI, D. The Logical Framework Method for Defining Project Success. **Project Management Journal**, 1999.

BALDWIN, C.; CLARK, K. **Design rules: the power of modularity**. The MIT Press, 2000.

BECHTEL. **Jubail Industrial City**, Saudi Arabia. Bechtel, 2016. Disponível em: <<http://www.bechtel.com/projects/jubail-industrial-city/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

BENOIT, Z.; NOEL, M. Nuclearpower plant construction: what can be learned from past and on-going projects? **Nuclear Engineers**, p. 2916-2926. 2011.

BENSAOU, B. M. Collaboration Support Technologies in Interorganizational Relationships. **INSEAD**. 2000.

BERMANN, C. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos cadernos NAEA**, 2012. 5-23.

BERNSTEIN, P. **Desafio aos deuses: a fascinante história do risco**. Gulf Professional Publishing, 1997.

BILLINGTON, D.; JACKSON, D. **Big Dams of the New Deal Era: A confluence of Engineering and Politics**. University of Oklahoma Press, 2006.

BOHMAN, J. **Public Deliberation: Pluralism, Complexity and Democracy**. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

BOK, S. **Lying: Moral choice in Public and Private Life**. Vintage, 1979.

BOURNE, L. **Project Relationship Management and the Stakeholder Circle**. RMI University. 2005.

BOURNE, L.; WALKER, D. The paradox of project control. **Team Performance Management**, p. 646-660, 2005.

BROOKES, N.; MORTON, S.; DAINTY, A. Social processes, patterns and practices and project knowledge management: a theoretical framework and empirical investigation. **International Journal of Project Management**, p. 474-482, 2006.

BROOKS, N. **Delivering European megaprojects: A guide for Policy Makers and Practitioners.** University of Leeds. 2015.

BRYDE, D. Modeling Project Management Performance. **International Journal of Quality & Reability Management**, 2003. 229-254.

BUCKLEY, R. C. **How Accurate Are Environmental Impact Predictions?** *Ambio*. 1993.

CAMBRIDGE. Project. **Dictionary Cambridge**, 2016. Disponível em: <<http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/project>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

CARTER, L. **Prospecting for power: the cost meeting increases in electricity demand.** US Carbon Sequestration Council. 2010.

CASAROTO FILHO, N.; CASTRO, J. E.; FAVERO, J. S. **Gerência de Projetos/Engenharia Simultânea.** São Paulo: Atlas, 1999.

CBIC. PAC - **Avaliação do potencial de impacto econômico.** CBIC. 2016.

CERN. **The Large Hadron Collider.** CERN Accelerating science, 2016. Disponível em: <<https://home.cern/topics/large-hadron-collider>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

CHANDLER, A. D. **Scale and Scope: dynamics of industrial Capitalism.** Cambridge: Havard University Press, 1990.

CHAPMAN, C. B. A risk engineering approach to project risk management. **International Journal of Project Management**, 1990.

CHART ENERGY & CHEMICALS GROUP, 2012. **“Concept-to-Reality” mid-scale LNG,** GDS Publishing. Available at: [www.ngoilgasmena.com/article/Concept-to-Realitymid-scale-LNG/](http://www.ngoilgasmena.com/article/Concept-to-Realitymid-scale-LNG/). Acesso em: 23 ago. 2016.

CHRISTOFFERSEN, M.; FLYVBJERG, B.; LINDGAARD, J. The lack of technology: Assesment in Relation to Big Infrastructural Decisions. The Use and Impact of Technology Assessment in Europe. **Proceedings from the 3rd European Congress on Technology Assessment.** Copenhagen: 1992. p. 54-75.

CIOB. Managing the Risk of Delayed Completion in the 21st Century. **Chartered Institute of Building.** 2007.

CLEGG, S.; PITISIS, T.; RURA-POLLY, T.; MAROSSZEKY, M.. Governmentality matters: designing an alliance culture of interorganisational collaboration for managing projects. **Organ Studies**, 2002. 317-338.

CLIFFE, L.; RAMSEY, M.; BARTLETT, D. **The politics of lying: implications for democracy.** Macmillan, 2000.

COLLINGRIDGE, D. **The Management of Scale: Big Scale, Big Organization, Big Decisions, Big Mistakes.** Routledge, 1992.

COOKE-DAVIES, T. CICMIL, S.; CRAWFORD, L.; RICHARDSON, K. We're not in Kansas anymore, toto: mapping the strange landscape of complexity theory, and its relationship to project management. **Project Management Journal**, p. 50-61, 2007.

COPERNICUS. **Copernicus**, 2016. Disponível em: <<http://www.copernicus.eu/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

CULLEN, A.; FREY, H. **Probabilistic Techniques in Exposure Assessment.** Plenum Publishing Co, 1999.

D'AGOSTINO, R.; STEPHENS, M. **Goodness-of-Fit Techniques.** Dekker, 1986.

DELGADO, M.; PORTER, M.; STERN, S. **Clusters, Convergence and Economic Performance.** Institute for Strategy and Competitiveness - Harvard Business School. 2012.

DEMO, P. **Metodologia Científica em Ciências Sociais.** São Paulo: Atlas, 1995.

DE WIT, A. Measurement of Project Success. **Journal of Project Management**, Agosto, vol. 6, 1988.

DUBLIN, R. **Theory Building.** New York: Free Press, 1978.

DUFLO, E.; PANDE, R. Dams. **Quarterly Journal of Economics**, p. 601-646, 2007.

EOCA. **Dam in Amazonia**, 2016. Disponível em: <<http://dams-info.org/en>>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.

EGAN, J. **Rethinking Construction.** Mosaic Projects Practical Pty Ltd. 1998.

EIA, International Energy Outlook 2016. **EIA.** 2016.

ENERGIA, S. A. **Geração Exclusiva para Rondônia.** Youtube, 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yCk7u2vOk5A>>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.

EPA. Regulatory impact analysis for the regulation of microbial products of biotechnology. **Environmental Protection Agency.** 2011.

EPE. Demanda de Energia 2050. **Empresa de Pesquisa Energética.** 2014.

EVARISTO, J. Hydroelectric Dams as an Energy Source. **IGEL Student Research Brief**, 2012.

EWEA. Industry Scales by Project and Turbine Size. **European Wind Energy Association.** 2012.

EY. Spotlight on oil and gas megaprojects. **EY**. 2014.

FEIBEL, A.; BRITT, M. **Are Utility Economies of Scale Real, or a Mirage?** Oliver Wyman. 2011.

FERNANDES, D. R. Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial. **FAE**. 2004.

FLYVBERG. From Nobel Prize to Project Management: getting risks right. **Project Management Journal**, p. 5-15, 2006.

FLYVBERG, B.; METTE, S.; SOREN, B. Underestimating costs in public works projects: error or lie? **American Planning Association**, 2002. 279-95.

FLYVBERG, B. Survival of the unfittest: why the worst infrastructures gets built - and what we can do about it. **Oxford Review of Economic Policy**, 2009. 344-367.

FLYVBERG, B. What you should know about megaprojects and why: an overview. **Project Management Journal**, p. 6-19, 2014.

FLYVBERG, B.; BRUZELIUS, N.; ROTHENGATTER, W. **Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition**. London: Cambridge University Press, 2003.

FLYVBERG, B.; COWI. Procedures for dealing with optimism bias in transport planning: guidance document. **Department for Transport**. 2004.

GELLERT, P.; LYNCH, B. Mega-projects as Displacements. **UNESCO**. 2003.

GLEICK, P. H. Three Gorges Dam Project, Yangtze River, China. **The World's Water**. 2009.

GOLDRATT, E. M. **Critical Chain**. [S.l.]: North River Press, 1997.

GROUP, C. E. & C. **"Concept-to-Reality" mid-scale LNG**. Disponível em: <<http://www.ngoilgasmna.com/article/Concept-%ADto-%ADReality-mid-%ADscale-%ADLNG/>>. Acesso em: 06 Setembro 2016.

GUSMÃO, C.; MOURA, H.; LINS, F. Utilizando ontologia na identificação de riscos de projetos de software. **VI Simpósio de Informática da Região Centro do RS**. Santa Maria: 2007.

HAYATI, D.; KARAMI, E.; SLEE, B. Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural poverty. **Social Indicators Research**, p. 361-394, 2006.

HEIFETZ, R.; GRASHOW, A. **The practice of adaptive leadership**. Harvard Business Press, 2009.

HIPPEL, D.; GULIDOV, R.; KALASHNIKOV, V. Northeast Asia regional energy infrastructure proposals. **Energy Policy**, p. 6855-6866, November 2011.



HIRSH, R. **Technology and transformation in the American electric utility industry**. Cambridge University Press, 1989.

HOLDREN, J. **The future of Nuclear Power: An interdisciplinary MIT Study**. Belfer Center for Science and International Affairs. 2003.

HUSZAR, P. C. Overestimated benefits and underestimated costs: the case of the Paraguay—Paraná navigation study. **Impact Assessment and Project Appraisal**, 1998.

ICOLD. **International Commission on Large Dams**, 2010. Disponível em: <<http://www.icold-cigb.org/>>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.

IHS. **Power Capital Costs Index**. IHS costs and strategic sourcing, 2016. Disponível em: <<http://www.ihs.com/info/cera/>>. Acesso em: 2016 Setembro 25.

INPE. **Engenharia de Sistemas: Planejamento e controle de projetos**. 3<sup>a</sup>. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1973.

IPEADATA. **Taxa de câmbio real R\$/USD**. dados.gov.br, 2016. Disponível em: <[http://dados.gov.br/dataset/taxa-de-cambio/resource/621ad4d8-c225-4785-bf75-0129b9b6423e?inner\\_span=True](http://dados.gov.br/dataset/taxa-de-cambio/resource/621ad4d8-c225-4785-bf75-0129b9b6423e?inner_span=True)>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.

ITAIPU. **Itaipu**. Itaipu, 2016. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

JÚNIOR, W. C.; REID, J. **Uncertainties in Amazon hydropower development: risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam**. Water Alternatives. 2010.

KAHNEMAN, D.; LOCALLO, D. New Challenges to the Rationality Assumption. **Journal of Institutional and Theoretical Economics**, p.18-36, 1994.

KAUL, I.; CONCEIÇÃO, P.; GOULVEN, K.; MENDOZA, R. **Providing Global Public Goods: Managing Globalization**. Oxford University Press, 2003.

KEMWORKS. **Project Delivery**. KEMworks, 2016. Disponível em: <<http://kemworks.com/phosphate-process-technology/project-delivery/>>. Acesso em: 4 Novembro 2016.

KERZNER, H. **Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling**. 10. ed. John Wiley & Sons, 2009.

KETELS, C.; LINDQVIST, G.; SÖVEL, O. Clusters and Cluster Initiatives. **Center for Strategy and Competitiveness**. Stockholm School of Economics. 2008.

KOPPENJAN, J. The Formation of Public Private Partnerships: lessons from nine transport infrastructure projects in The Netherlands. **Public Admin**, p.135-157, 2005.

- KOPPENJAN, J. **Public-private partnership and megaprojects**. Edward Elgar, 2008.
- KRUGMAN, P. The new economic geography, Now Middle-Aged. **Association of American Geographers**. 2010.
- LAACK, D. V. Towers of Modernism: the tendency towards technological mega-projects in the 20th century. **Spiel der Forschung**, p. 46-53. 2009.
- LANKESTER, T. **The politics and economics of Britain's foreign aid: the Pergau dam affair**. Routledge. 2013.
- LIMA, K. '**Enterramento de São Luiz do Tapajós nos dá esperança**', diz procurador. g1.globo, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2016/08/enterramento-de-sao-luiz-do-tapajos-nos-da-esperanca-diz-procurador.html>>. Acesso em: 15 Dezembro 2016.
- LOCH, C. H. **Crossari: The introduction of DGPS**. INSEAD. 1998.
- LOCH, C. H. **Acer Mobile Systems Unit (A an B)**. INSEAD. 1999.
- LOPES, D. **Crerios de avaliação do desempenho de gerenciamento de projetos: uma abordagem de estudos de casos**. Universidade de São Paulo. 2009.
- LOVALLO, D.; KAHENEMAN, D. Delusions of Success: how optimism undermines executives decisions. **Harvard Business Review**, p. 56-63, 2003.
- MAGNUSEN, O.; SAMSET, K. Successful Megaprojects: Ensuring Quality at Entry, EURAM 2005 Responsible Management in an Uncertain World. **TUM Business School**. 2005.
- MATOS, D.; CATALÃO, J. Geração Distribuída e os seus Impactes no Funcionamento da Rede Elétrica: Parte 1. **International Conference On Engineering UBI2013 - 27-29 Nov 2013**.
- MAURO, A. **Criar a estrutura analítica do projeto (EAP)**. Fundação Getúlio Vargas. 2009.
- MAXWELL. **Metodologias de Gestão de Riscos**, 2007. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10093/10093\\_4.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10093/10093_4.PDF)>. Acesso em: 4 Novembro 2016.
- MCKENNA, M. **Capital Project Execution in the Oil and Gas Industry: Increased Challenges, Increased Opportunities**. Booz Allen Hamilton. 2006.
- MCKENNA, M.; WILCZYNSKI, H.; VANDERSCHEE, D. **Capital Project Execution in the Oil and Gas Industry: Increased Challenges, Increased Opportunities**. Booz Allen Hamilton, 2006.
- MEREDITH, J. R.; MANTEL, S. **Project Management - A managerial approach**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

- MERROW, E. **Industrial Megaprojects: Concepts Strategies and Practices for Success.** Hoboken: John Wiley and Sons, 2011.
- MEYER, A.; LOCH, C.; PICH, M. From variation to chaos - managing project uncertainty. **MIT.** 2002.
- MIHM, J.; LOCH, C.; HUCHZERMEIER, A. Modelling the problem solving dynamics in complex engineering projects. **INSEAD.** 2001.
- MISIC, S.; RADUJKOIC, M. Critical drivers of megaprojects success and failure. **ScienceDirect**, p. 71-80, 2015.
- MIT. **Kemper County IGCC Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project.** Sequestration, 2016. Disponível em: <<https://sequestration.mit.edu/tools/projects/kemper.html>>. Acesso em: 2016 ago. 08.
- MITCHELL, J.; MITCHELL, B. Structural crisis in the oil and gas industry. **Energy Policy**, 2013. 36-42.
- MONTES, E. **Método do Caminho Crítico.** Escritório de Projetos, 2016. Disponível em: <<http://escritoriodeprojetos.com.br/metodo-do-caminho-critico>>. Acesso em: 4 Novembro 2016.
- MOON, F. C. **Chaotic and Fractal Dynamics: Introduction for Applied Scientists and Engineers.** John Wiley & Sons, 2008.
- MORRIS, P.; HOUGH, G. **The Anatomy of Major Projects: A Study of the Reality of Project Management.** New York: John Wiley & Sons, 1987.
- MORRIS, P.; HOUGH, G. **The anatomy of major projects: a study of the reality of project management.** John Wiley and Sons, 1987.
- MORRISON, K. Dharmic Projects, Imperial Reservoirs, and New Temples of India: An Historical Perspective on Dams in India. **Conservation Society**, p. 182-195. 2010.
- MULLER, M.; DUTANG, C. fitdistrplus: An R Package for fitting Distribution. **Journal of Statistical Software**, 2015.
- BANCO MUNDIAL. Evaluation results 1994. **The international Bank for Reconstruction and Development.** Washington D.C. 1996.
- BANCO MUNDIAL. Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: uma contribuição para o debate. **Banco Mundial.** 2008.
- MUNNS, A.; BJEIRMI, B. F. The role of Project Management in Achieving Project Success. **International Journal of Project Management**, 1996. 81-87.

NILSON, C.; REIDY, C.; DYNESIUS, M.; REVENGA, C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**, p. 405-408, 2005.

NSBA. Energy and Environmental Regulation. **National Small Business Association**. 2012.

OECD. Nuclear Education and Training: Causes for Concern. **Nuclear Energy Agency**. Paris. 2000.

OLANIRAN, O. J.; LOVE, P.; EDWARDS, D.; OLATUNJI, O.; MATTHEWS, J. Chaotic Dynamics of Cost Overruns in Oil and Gas Megaprojects: A Review. **International Journal of Civil Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering**, v. 9, 2015. ISSN 7.

OLCOTT, M. The changing role of national oil companies in international energy markets. **Carnegie Endowment for International Peace**. 2007.

OLZ, S.; KIRCHNER, R. Contributions of renewables to energy security. **International Energy Agency**. 2010.

PMI. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®). 5ª. ed. Pennsylvania: **Project Management Institute, Inc.**, 2013.

POCIASK, S.; FUHR, J. Progress Denied: a study on the potential economic impact of permitting challenges facing proposed energy projects. **U.S Chamber of Commerce**. 2011.

POLLAK, J. The changing paradigms of project management. **International Journal of Project**, p. 266-274, 2007.

POMPÉE, P.-J. **Channel Tunnel Project Overview**. batisseurs tunnel, 2016. Disponível em: <[http://batisseurs-tunnel.com/wp-content/uploads/2015/03/1-Le-Projet-Tunnel-sous-La-Manche\\_C1.pdf](http://batisseurs-tunnel.com/wp-content/uploads/2015/03/1-Le-Projet-Tunnel-sous-La-Manche_C1.pdf)>.

PRITCHARD, C. L. **Risk Management - Concepts and Guidance**. ESI International, 2001.

QUINN, J. B. Strategic Change: logical incrementalism. **Sloan Management Review**, p. 7-19, 1978.

RAILWAY-TECHNOLOGY. **Marmaray Railway Engineering Project, Turkey**. Railway-technology, 2016. Disponível em: <<http://www.railway-technology.com/projects/marmaray/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

RAMANA, M. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies. **Environmental Resource**. 2009.

REDER, W. Managing the Talent Challenge. **Power Energy Engineering Society**. 2006.

REUTERS, T. F. **Mega-dams economically unviable**. Oxford. 2014.

- ROSENBLATT, S. **Three Gorges Dam. International Rivers**, 2016. Disponível em: <<https://www.internationalrivers.org/campaigns/three-gorges-dam>>. Acesso em: 08 ago. 2016.
- ROSENTHAL, S.; STRANGE, W. **Small Establishments/Big Effects: Agglomeration, Industrial Organization, and Entrepreneurship**. University of Chicago Press, 2010.
- RUTKOWSKI, E. **Front-End Loading - Aplicação do Processo Font-End Loading (FEL) no Gerenciamento de Projetos**. Techoje, 2016. Disponível em: <[http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/682](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/682)>. Acesso em: 21 Outubro 2016.
- SCHUMACHER, E. F. **Small is beautiful: a study of economics as if people mattered**. Vintage, 1973.
- SCUDDER, T. **The future of large dams: dealing with social, environmental, Institutional and Political Costs**. London: Earthscan, 2005.
- SHEFFRIN, S. M. **Economics: Principles in Action**. Pearson Prentice Hall, 2003.
- SILBERSTON, A. Economies of scale in theory and practice. **The economic Journal**, p. 369-391, 1972.
- SILVA, J. **Rendimentos à escala**. Faculdade de Economia do Porto, 2015. Disponível em: <[http://www.fep.up.pt/docentes/joao/material/micro2/micro2\\_rendimentos\\_e\\_economias.pdf](http://www.fep.up.pt/docentes/joao/material/micro2/micro2_rendimentos_e_economias.pdf)>. Acesso em: 24 Outubro 2016.
- SOVACOOOL, B.; BULAN, L. Behind and ambitious megaproject in Asia: the history and implications of the Bakun hydroelectric dam in Borneo. **Energy Policy**, p. 4842-4859, 2011.
- SOVACOOOL, B.; COOPER, C. **The governance of energy megaprojects**. Edward Elgar Publishing, 2013.
- SOVACOOOL, B.; GILBERT, A.; NUGENT, D. Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: Testing six hypotheses. **Energy**, p. 906-917, July 2014.
- STIGLER, J. The economies of Scale. **Journal of Law & Economics**, 1958.
- STONE, R. Hydropower. The legacy of the Three Gorges Dam. **Science**, 2011.
- SUISSE, C. Survey at Offshore Technology Conference. **Credit Suisse**. 2013.
- SZYLIOWICZ, J.; GOETZ, A. Getting Realistic About Megaproject Planning: The Case of the New Denver International Airport. **Policy Sciences**, 1995.
- TABISH, S.; JHA, K. Identification and evaluation of success factors for public construction projects. **Construction Management and Economics**, p. 809-823, 2011.

TALEB, N.; CANNETI, E.; KINDA, T.; LOUKOIANOVA, E.; SCHMIEDER, C. **A new heuristic measure of fragility and tail risks: application to stress testing.** International Monetary Fund, 2012.

TASSEY, G. The functions of technology infrastructure in a competitive economy. **Research Policy**, August 1991. 345-361.

TERWIESCH, C. H.; LOCH, C. H. Managing the process of engineering change orders. **Journal of Product Innovation Management**, p. 160-172, 1999.

THORNTON, J. The Next Generation of Nuclear Reactors. **American Society of Mechanical Engineers**. 2011.

TROSTEN, L.; MOORE, D. Nuclear Power Plant Standardization: Promises and Pitfalls. **William & Mary Law Review**, 1974. 527-538.

UFJF. **Expansão do Canal Panamá.** PET Engenharia Civil UFJF, 2016. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2016/04/14/expansao-canal-do-panama/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

UNDP. Energy for People - Centered Sustainable Development. **United Nations Development Programme**. 2011.

USMANI, F. **Contingency Reserve vs Management Reserve**, 2012. Disponível em: <<https://pmstudycircle.com/2012/02/contingency-reserve-vs-management-reserve/>>. Acesso em: 4 Novembro 2016.

**US INFLATION CALCULATOR.** Disponível em: <http://www.usinflationcalculator.com/>. Acesso em: 26 Setembro 2016.

VARGAS, R. **Análise do Valor Agregado.** 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2002.

WACHS, M. Technique vs Advocacy in Forecasting: a study of rail rapid transit. **Urban Resources**, 1986. 23-30.

WACHS, M. When Planners Lie with Numbers. **Journal of the American Planning Association**, 1989. 476-9.

WARD, W. A. The origins of modern project management. **Mosaic Projects**. 2007.

WCD. Dams and development: a new framework for decision-making. **World Commission on Dams**. 2000.

WDC. Cross-Check Survey: Final Report. **World Comission on Dams**. 2000.

WEAVER, P. A brief history of scheduling - back to the future. **Mosaic Projects**. 2006.

WEAVER, P. The cost of time or whose duration is it anyway? **ProjectChat**. 2006.

WEAVER, P. A simple view of "complexity" in project management. **Mosaic Project Services Pty Ltd.** 2007.

WEAVER, P. THE EFFECTIVE MANAGEMENT OF TIME ON MEGAPROJECTS. **Mosaic Project Services Pty Ltd.** 2010.

WERNERFELT, B.; KARNANI, A. Competitive strategy under uncertainty. **Strategic Management Journal**, 1987.

WILLIAMS, W. **Honest Numbers and Democracy.** Washington, DC: Georgetown University Press, 1998.

WILSON, C. Up-scaling, formative phases, and learning in the historical diffusion of energy technologies. **Energy Policy**, vol. 50, 81-94, 2012.

WINDUSTRY. **How Much do Wind Turbine Cost?** Windustry, 2012. Disponível em: <[www.windustry.org/resources/how-much-do-wind-turbines-cost](http://www.windustry.org/resources/how-much-do-wind-turbines-cost)>. Acesso em: 6 Setembro 2016.

WIT, D. Measurement of Project Success. **Journal of Project Management**, v. 6, Agosto, 1988.

WORLDBANK. Staff Appraisal Report of the Itumbiara Hydroelectric Power Project, FURNAS, Brazil. **The World Bank.** 1973.

WORLDBANK. Estimating construction costs and schedules: Experience with power generation projects in developing countries. **The World Bank.** 1996.

## APÊNDICE A

### **Premissas assumidas na elaboração da base de dados:**

1. Os valores de custos foram atualizados para os valores reais de 2016. A taxa acumulada de inflação para o período de 2012 a 2016 foi de 4,8%, de acordo com US Inflation Calculator. Disponível em: <http://www.usinflationcalculator.com/>. Acesso em 13 de Setembro de 2016.



| Date  | Source | Name   | Location   | Capacity (MW) | Initial Budget (millions of \$2016) | Actual Cost (millions of \$2016) | Cost overrun (m\$2016) | Cost overrun (%) | Proposed time (months) | Actual time (months) | Time overrun (months) | Time overrun (%) | Actual Cost /kW | Initial Cost /kW |
|-------|--------|--|------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 19994 | Hydro  |  | Samoa      | 4             | 28,2                                | 34,8                             | 6,6                    | 23,3             |                        |                      |                       |                  | 8698,4          | 7053,0           |
| 19978 | Hydro  | Andekaleka                                       | Madagascar | 97            | 276,6                               | 351,0                            | 74,4                   | 26,9             |                        |                      |                       |                  | 3618,7          | 2851,3           |
| 19994 | Hydro  | Anthony Hydro                                    | Australia  | 84            | 463,0                               | 631,2                            | 168,3                  | 36,3             |                        |                      |                       |                  | 7514,7          | 5511,6           |
| 19984 | Hydro  | Aslantaş   | Turkey     | 138           | 745,6                               | 1019,2                           | 273,6                  | 36,7             | 96                     | 104                  | 8                     | 8,3              | 7385,7          | 5403,0           |
| 19970 | Hydro  | Aswan High Dam                                   | Egypt      | 2100          | 5195,4                              | 6112,2                           | 916,8                  | 17,6             | 80                     | 129                  | 49                    | 61,3             | 2910,6          | 2474,0           |
| 20111 | Hydro  | Bakun Hydroelectric Project                      | Malaysia   | 2400          | 985,4                               | 5089,1                           | 4103,7                 | 416,5            | 60                     | 301                  | 241                   | 401,7            | 2120,5          | 410,6            |
| 19978 | Hydro  | Brabovica and Salakovac (Middle Neretva Phase I) | Yugoslavia | 321           | 690,6                               | 766,5                            | 75,9                   | 11               | 56                     | 74                   | 18                    | 32,1             | 2387,8          | 2151,5           |
| 19986 | Hydro  | Chixoy   | Guatemala  | 300           | 834,2                               | 1968,7                           | 1134,5                 | 136              |                        |                      |                       |                  | 6562,4          | 2780,7           |

|                  |       |   |               |       |        |         |        |       |     |     |    |      |        |        |
|------------------|-------|---|---------------|-------|--------|---------|--------|-------|-----|-----|----|------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>1 | Hydro | Churchill Falls   | Canada        | 5428  | 2515,2 | 4098,7  | 1583,5 | 63    | 60  | 80  | 20 | 33,3 | 755,1  | 463,4  |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Hydro | Fifth Power Project Moin Rio Macho and Cachi extensions | Costa Rica    | 62    | 57,4   | 61,1    | 3,8    | 6,5   |     |     |    |      | 986,1  | 925,6  |
| 1<br>9<br>5<br>6 | Hydro | Folsom Dam  | United States | 162   | 698,5  | 711,6   | 13,1   | 1,9   | 90  | 95  | 5  | 5,6  | 4392,9 | 4312,0 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Hydro | Fortuna   | Panama        | 300   | 531,8  | 884,3   | 352,5  | 66,3  |     |     |    |      | 2947,5 | 1772,7 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Hydro | Fourth Guadalupe  | Colombia      | 213   | 457,2  | 424,0   | -33,3  | -7,3  | 57  | 69  | 12 | 21,1 | 1990,5 | 2146,6 |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Hydro | Fourth Power Mtera                                      | Tanzania      | 80    | 342,9  | 279,6   | -63,3  | -18,5 | 72  | 91  | 19 | 26,4 | 3495,2 | 4286,8 |
| 1<br>9<br>5<br>3 | Hydro | Fundin  | Norway        | 80    | 8,1    | 13,0    | 4,9    | 60,5  |     |     |    |      | 161,9  | 100,9  |
| 1<br>9<br>4<br>2 | Hydro | Grand Coulee Dam I                                      | United States | 2280  | 3132,8 | 4699,3  | 1566,4 | 50    | 78  | 78  | 0  | 0    | 2061,1 | 1374,1 |
| 1<br>9<br>7<br>3 | Hydro | Grand Coulee Dam II                                     | United States | 4215  | 2772,5 | 5189,5  | 2417,0 | 87,2  | 50  | 84  | 34 | 68   | 1231,2 | 657,8  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Hydro | Guri (Raul Leoni)                                       | Venezuela     | 10300 | 5344,8 | 10721,0 | 5376,2 | 100,6 | 120 | 190 | 70 | 58,3 | 1040,9 | 518,9  |

|                  |       |                  |                 |       |         |         |         |       |     |     |     |       |        |        |
|------------------|-------|------------------|-----------------|-------|---------|---------|---------|-------|-----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>3<br>6 | Hydro | Hoover Dam       | United States   | 2080  | 3015,3  | 2926,6  | -88,7   | -2,9  | 84  | 60  | -24 | -28,6 | 1407,0 | 1449,7 |
| 1<br>9<br>6<br>3 | Hydro | Hunderfossen     | Norway          | 116   | 13,0    | 22,4    | 9,5     | 73    |     |     |     |       | 193,2  | 111,7  |
| 1<br>9<br>9<br>1 | Hydro | Itaipu Dam       | Brazil/Paraguay | 12600 | 25925,9 | 31319,8 | 5394,0  | 20,8  | 100 | 216 | 116 | 116   | 2485,7 | 2057,6 |
| 1<br>9<br>7<br>2 | Hydro | Kafue (Stage II) | Zambia          | 200   | 449,6   | 426,6   | -23,0   | -5,1  |     |     |     |       | 2133,2 | 2248,2 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Hydro | Karakaya         | Turkey          | 1800  | 2217,5  | 2170,2  | -47,3   | -2,1  | 122 | 148 | 26  | 21,3  | 1205,7 | 1231,9 |
| 1<br>9<br>5<br>9 | Hydro | Kariba Stage 1   | Zambia/Zimbabwe | 319   | 1051,6  | 1025,3  | -26,3   | -2,5  | 55  | 72  | 17  | 30,9  | 3214,0 | 3296,5 |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Hydro | Kariba Stage 2   | Zambia/Zimbabwe | 1000  | 207,5   | 575,5   | 368,0   | 177,4 |     |     |     |       | 575,5  | 207,5  |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Hydro | Kiambere         | Kenya           | 145   | 624,4   | 538,9   | -85,5   | -13,7 |     |     |     |       | 3716,7 | 4306,5 |
| 1<br>9<br>9<br>3 | Hydro | King River Hydro | Australia       | 143   | 611,4   | 685,1   | 73,7    | 12    | 120 | 132 | 12  | 10    | 4791,0 | 4275,8 |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Hydro | La Grande 2      | Canada          | 5328  | 7440,8  | 25738,9 | 18298,1 | 245,9 |     |     |     |       | 4830,9 | 1396,5 |

|      |       |                                  |            |      |        |         |         |       |     |     |    |      |        |        |
|------|-------|----------------------------------|------------|------|--------|---------|---------|-------|-----|-----|----|------|--------|--------|
| 2009 | Hydro | Longtan Dam                      | China      | 4900 | 2200,8 | 4695,0  | 2494,2  | 113,3 |     |     |    |      | 958,2  | 449,1  |
| 1984 | Hydro | Lubuge                           | China      | 600  | 1070,1 | 986,6   | -83,5   | -7,8  |     |     |    |      | 1644,3 | 1783,5 |
| 1982 | Hydro | Manasavu-Wailoa Hydro            | Fiji       | 40   | 131,4  | 237,7   | 106,4   | 81    |     |     |    |      | 5943,7 | 3284,7 |
| 1978 | Hydro | Mostar (Middle Neretva Phase II) | Yugoslavia | 75   | 309,4  | 356,3   | 46,9    | 15,1  | 44  | 56  | 12 | 27,3 | 4750,4 | 4125,6 |
| 1990 | Hydro | Mtera                            | Tanzania   | 80   | 317,0  | 289,9   | -27,1   | -8,6  |     |     |    |      | 3623,6 | 3962,5 |
| 1981 | Hydro | Nam Ngum                         | Laos       | 110  | 44,0   | 44,4    | 0,4     | 0,9   |     |     |    |      | 403,8  | 400,1  |
| 1980 | Hydro | Ninth Power                      | Malaysia   | 192  | 485,5  | 387,2   | -98,4   | -20,3 | 60  | 96  | 36 | 60   | 2016,4 | 2528,9 |
| 1977 | Hydro | Nispero Power                    | Honduras   | 22   | 130,1  | 159,8   | 29,7    | 22,8  | 18  | 36  | 18 | 100  | 7262,6 | 5912,6 |
| 1976 | Hydro | Nurek                            | Tajikistan | 2700 | 8342,1 | 25015,8 | 16673,7 | 199,9 | 150 | 223 | 73 | 48,7 | 9265,1 | 3089,7 |
| 1994 | Hydro | Pak Mun                          | Thailand   | 136  | 247,8  | 415,6   | 167,8   | 67,7  |     |     |    |      | 3056,1 | 1821,9 |

|                  |       |                       |                        |      |        |        |        |       |    |     |     |       |        |        |
|------------------|-------|-----------------------|------------------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>9<br>1 | Hydro | Pehuenche             | Chile                  | 500  | 1390,8 | 687,2  | -703,6 | -50,6 | 78 | 61  | -17 | -21,8 | 1374,4 | 2781,6 |
| 2<br>0<br>0<br>3 | Hydro | Pergau Dam            | Malaysia               | 600  | 714,9  | 898,1  | 183,2  | 25,6  | 60 | 138 | 78  | 130   | 1496,8 | 1191,4 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Hydro | Playas                | Colombia               | 200  | 725,6  | 605,2  | -120,4 | -16,6 | 54 | 84  | 30  | 55,6  | 3026,1 | 3627,9 |
| 1<br>9<br>4<br>8 | Hydro | Raudalsvatn           | Norway                 | 50   | 4,5    | 7,7    | 3,2    | 69,5  |    |     |     |       | 153,8  | 90,8   |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Hydro | Robert-Bourassa       | Canada                 | 5616 | 3668,0 | 8918,5 | 5250,5 | 143,1 | 70 | 72  | 2   | 2,9   | 1588,0 | 653,1  |
| 1<br>9<br>8<br>9 | Hydro | Ruzizi II             | Zaire/Burundi/Rwanda   | 27   | 152,2  | 198,1  | 45,9   | 30,1  |    |     |     |       | 7337,9 | 5638,6 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Hydro | Ruzizi II             | Burundi, Rwanda, Zaire | 26,6 | 162,2  | 152,7  | -9,6   | -5,9  | 56 | 55  | -1  | -1,8  | 5740,0 | 6099,3 |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Hydro | San Carlos (Phase I)  | Colombia               | 620  | 836,8  | 1011,7 | 174,9  | 20,9  |    |     |     |       | 1631,8 | 1349,7 |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Hydro | San Carlos (Phase II) | Colombia               | 620  | 325,4  | 346,7  | 21,3   | 6,5   |    |     |     |       | 559,2  | 524,9  |
| 2<br>0<br>0<br>6 | Hydro | Sardar Sarovar Dam    | India                  | 1450 | 1384,4 | 8482,5 | 7098,1 | 512,7 | 65 | 276 | 211 | 324,6 | 5850,0 | 954,8  |

|                  |       |                          |           |           |         |         |         |       |       |       |     |       |             |            |
|------------------|-------|--------------------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-----|-------|-------------|------------|
| 1<br>9<br>7<br>8 | Hydro | Sayano–<br>Shushenskaya  | Russia    | 6400      | 5135,2  | 23264,6 | 18129,4 | 353   | 150   | 207   | 57  | 38    | 3635,<br>1  | 802,4      |
| 1<br>9<br>7<br>0 | Hydro | Second Power<br>(Bayano) | Panama    | 190       | 228,2   | 429,4   | 201,2   | 88,2  | 56,25 | 74,25 | 18  | 32    | 2260,<br>3  | 1201,<br>2 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Hydro | Sir Adam Beck<br>Hydro   | Canada    | 150       | 1002,5  | 1628,5  | 626,0   | 62,4  |       |       |     |       | 10856<br>,7 | 6683,<br>7 |
| 1<br>9<br>7<br>3 | Hydro | Sixth Power<br>Project   | Honduras  | 40        | 136,7   | 115,1   | -21,6   | -15,8 | 43    | 85    | 42  | 97,7  | 2877,<br>5  | 3417,<br>5 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Hydro | Tarbela Stage 1          | Pakistan  | 3478      | 3984,7  | 7204,3  | 3219,5  | 80,8  |       |       |     |       | 2071,<br>4  | 1145,<br>7 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Hydro | Third Power              | Swaziland | 20        | 104,3   | 208,6   | 104,3   | 100   |       |       |     |       | 10427<br>,6 | 5213,<br>8 |
| 2<br>0<br>1<br>2 | Hydro | Three Gorges Dam         | China     | 2250<br>0 | 12418,8 | 62335,0 | 49916,2 | 401,9 | 72    | 178   | 106 | 147,2 | 2770,<br>4  | 551,9      |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Hydro | Tucuruí Dam<br>Stage 1   | Brazil    | 4200      | 9699,7  | 17130,7 | 7431,0  | 76,6  | 80    | 92    | 12  | 15    | 4078,<br>7  | 2309,<br>5 |
| 2<br>0<br>1<br>1 | Hydro | Tumut 3 Upgrade          | Australia | 50        | 30,9    | 30,9    | 0,0     | 0     |       |       |     |       | 618,9       | 618,9      |
| 1<br>9<br>5<br>0 | Hydro | Vinstra                  | Norway    | 55        | 3,0     | 8,6     | 5,6     | 190,4 |       |       |     |       | 156,1       | 53,7       |

|                  |         |                    |                     |       |        |        |        |       |    |     |     |       |        |        |
|------------------|---------|--------------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|-------|----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>5 | Hydro   | Visegrad           | Yugoslavia          | 315   | 457,9  | 670,8  | 212,9  | 46,5  | 55 | 72  | 17  | 30,9  | 2129,4 | 1453,6 |
| 1<br>9<br>6<br>8 | Hydro   | W.A.C. Bennet      | Canada              | 2416  | 2410,4 | 4610,2 | 2199,8 | 91,3  |    |     |     |       | 1908,2 | 997,7  |
| 1<br>9<br>9<br>4 | Hydro   | Yacyreta           | Argentina, Paraguay | 3.100 | 3864,2 | 4516,3 | 652,1  | 16,9  | 72 | 180 | 108 | 150   | 1456,9 | 1246,5 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Arkansas Nuclear 1 | United States       | 840   | 679,9  | 1131,3 | 451,4  | 66,4  | 60 | 70  | 10  | 16,7  | 1346,8 | 809,4  |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Arkansas Nuclear 2 | United States       | 1000  | 834,0  | 1959,9 | 1125,9 | 135   | 60 | 98  | 38  | 63,3  | 1959,9 | 834,0  |
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | Beaver Valley 1    | United States       | 821   | 930,1  | 2132,1 | 1202,0 | 129,2 | 60 | 71  | 11  | 18,3  | 2597,0 | 1132,9 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Beaver Valley 2    | United States       | 831   | 1655,3 | 7431,7 | 5776,3 | 349   | 60 | 151 | 91  | 151,7 | 8943,0 | 1991,9 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Belleville 1       | France              | 1363  | 1779,6 | 2241,0 | 461,4  | 25,9  | 48 | 90  | 42  | 87,5  | 1644,2 | 1305,7 |
| 1<br>9<br>8<br>8 | Nuclear | Belleville 2       | France              | 1363  | 1779,6 | 2306,9 | 527,3  | 29,6  | 48 | 90  | 42  | 87,5  | 1692,5 | 1305,7 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Blayais 1          | France              | 951   | 988,7  | 1142,5 | 153,8  | 15,6  | 48 | 65  | 17  | 35,4  | 1201,3 | 1039,6 |

|                  |         |                |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|----------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>2 | Nuclear | Blayais 2      | France        | 951  | 988,7  | 1208,4 | 219,7  | 22,2  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1270,6 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | Blayais 3      | France        | 951  | 988,7  | 1340,2 | 351,5  | 35,6  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1409,3 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | Blayais 4      | France        | 951  | 988,7  | 1340,2 | 351,5  | 35,6  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1409,3 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>8 | Nuclear | Braidwood      | United States | 1185 | 1381,5 | 4936,9 | 3555,4 | 257,3 | 60 | 145 | 85 | 141,7 | 4166,2 | 1165,9 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Browns Ferry 1 | United States | 1065 | 549,4  | 1588,2 | 1038,9 | 189,1 | 60 | 81  | 21 | 35    | 1491,3 | 515,8  |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Browns Ferry 2 | United States | 1118 | 411,6  | 1191,2 | 779,6  | 189,4 | 60 | 88  | 28 | 46,7  | 1065,4 | 368,1  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Browns Ferry 3 | United States | 1114 | 411,6  | 1191,2 | 779,6  | 189,4 | 60 | 97  | 37 | 61,7  | 1069,3 | 369,4  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Brunswick 1    | United States | 872  | 779,6  | 1301,8 | 522,2  | 67    | 60 | 84  | 24 | 40    | 1492,8 | 894,0  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Brunswick 2    | United States | 811  | 638,2  | 1691,6 | 1053,4 | 165,1 | 60 | 69  | 9  | 15    | 2085,8 | 786,9  |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Bugey 2        | France        | 945  | 878,8  | 1010,6 | 131,8  | 15    | 48 | 63  | 15 | 31,3  | 1069,5 | 930,0  |



|                  |         |                  |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Bugey 3          | France        | 945  | 878,8  | 944,7  | 65,9   | 7,5   | 48 | 63  | 15 | 31,3  | 999,7  | 930,0  |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Bugey 4          | France        | 917  | 878,8  | 922,8  | 43,9   | 5     | 48 | 63  | 15 | 31,3  | 1006,3 | 958,4  |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Bugey 5          | France        | 917  | 878,8  | 922,8  | 43,9   | 5     | 48 | 63  | 15 | 31,3  | 1006,3 | 958,4  |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Byron 1          | United States | 1194 | 1343,5 | 4565,2 | 3221,8 | 239,8 | 60 | 117 | 57 | 95    | 3823,5 | 1125,2 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Byron 2          | United States | 1162 | 1000,8 | 3756,6 | 2755,8 | 275,4 | 60 | 139 | 79 | 131,7 | 3232,9 | 861,3  |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Callaway         | United States | 1137 | 2059,6 | 5437,3 | 3377,7 | 164   | 60 | 104 | 44 | 73,3  | 4782,2 | 1811,4 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Calvert Cliffs 1 | United States | 845  | 647,3  | 2070,5 | 1423,2 | 219,9 | 60 | 77  | 17 | 28,3  | 2450,3 | 766,0  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Calvert Cliffs 2 | United States | 858  | 520,3  | 1387,0 | 866,6  | 166,6 | 60 | 99  | 39 | 65    | 1616,5 | 606,5  |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Catawba 1        | United States | 1129 | 1013,5 | 3760,2 | 2746,8 | 271   | 60 | 125 | 65 | 108,3 | 3330,6 | 897,7  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Cattenom 1       | France        | 1362 | 1779,6 | 2175,1 | 395,5  | 22,2  | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1597,0 | 1306,6 |

|                  |         |            |        |      |        |        |        |      |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|------------|--------|------|--------|--------|--------|------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Cattenom 2 | France | 1362 | 1779,6 | 2241,0 | 461,4  | 25,9 | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1645,4 | 1306,6 |
| 1<br>9<br>9<br>0 | Nuclear | Cattenom 3 | France | 1362 | 1779,6 | 2614,5 | 834,9  | 46,9 | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1919,6 | 1306,6 |
| 1<br>9<br>9<br>1 | Nuclear | Cattenom 4 | France | 1362 | 1779,6 | 2790,3 | 1010,6 | 56,8 | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 2048,7 | 1306,6 |
| 1<br>9<br>8<br>2 | Nuclear | Chinon B1  | France | 954  | 1010,6 | 1252,3 | 241,7  | 23,9 | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1312,7 | 1059,4 |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | Chinon B2  | France | 954  | 1010,6 | 1296,3 | 285,6  | 28,3 | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1358,8 | 1059,4 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Chinon B3  | France | 954  | 1010,6 | 1538,0 | 527,3  | 52,2 | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1612,1 | 1059,4 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Chinon B4  | France | 954  | 1010,6 | 1603,9 | 593,2  | 58,7 | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1681,2 | 1059,4 |
| 1<br>9<br>9<br>6 | Nuclear | Chooz B1   | France | 1560 | 2065,2 | 3471,4 | 1406,1 | 68,1 | 48 | 126 | 78 | 162,5 | 2225,2 | 1323,9 |
| 1<br>9<br>9<br>7 | Nuclear | Chooz B2   | France | 1560 | 2065,2 | 3691,1 | 1625,8 | 78,7 | 48 | 126 | 78 | 162,5 | 2366,1 | 1323,9 |
| 1<br>9<br>9<br>7 | Nuclear | Civaux 1   | France | 1561 | 2065,2 | 4108,5 | 2043,3 | 98,9 | 48 | 126 | 78 | 162,5 | 2632,0 | 1323,0 |

|                  |         |                 |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|-----------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>9<br>9 | Nuclear | Civaux 2        | France        | 1561 | 2065,2 | 6942,7 | 4877,5 | 236,2 | 48 | 126 | 78 | 162,5 | 4447,6 | 1323,0 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Clinton         | United States | 1026 | 1287,3 | 7357,3 | 6070,1 | 471,5 | 60 | 136 | 76 | 126,7 | 7170,9 | 1254,6 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Cooper          | United States | 757  | 685,3  | 1909,1 | 1223,8 | 178,6 | 60 | 68  | 8  | 13,3  | 2522,0 | 905,3  |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | Cruas 1         | France        | 956  | 1010,6 | 1362,2 | 351,5  | 34,8  | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1424,9 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Cruas 2         | France        | 956  | 1010,6 | 1428,1 | 417,4  | 41,3  | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1493,8 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Cruas 3         | France        | 956  | 1010,6 | 1428,1 | 417,4  | 41,3  | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1493,8 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Cruas 4         | France        | 956  | 1010,6 | 1472,0 | 461,4  | 45,7  | 48 | 67  | 19 | 39,6  | 1539,8 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Crystal River 3 | United States | 838  | 656,3  | 1718,8 | 1062,4 | 161,9 | 60 | 109 | 49 | 81,7  | 2051,0 | 783,2  |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Dampierre 1     | France        | 937  | 900,8  | 988,7  | 87,9   | 9,8   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1055,2 | 961,4  |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Dampierre 2     | France        | 937  | 900,8  | 1032,6 | 131,8  | 14,6  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1102,0 | 961,4  |

|                  |         |                  |               |      |        |         |         |       |    |     |     |       |        |        |
|------------------|---------|------------------|---------------|------|--------|---------|---------|-------|----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Dampierre 3      | France        | 937  | 900,8  | 1054,6  | 153,8   | 17,1  | 48 | 65  | 17  | 35,4  | 1125,5 | 961,4  |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Dampierre 4      | France        | 937  | 900,8  | 1098,5  | 197,7   | 22    | 48 | 65  | 17  | 35,4  | 1172,4 | 961,4  |
| 1<br>9<br>9<br>3 | Nuclear | Darlington       | Canada        | 3512 | 6395,9 | 23781,2 | 17385,3 | 271,8 | 42 | 152 | 110 | 261,9 | 6771,4 | 1821,2 |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Davis-Besse 1    | United States | 873  | 877,5  | 2463,9  | 1586,4  | 180,8 | 60 | 88  | 28  | 46,7  | 2822,4 | 1005,2 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Diablo Canyon 1  | United States | 1087 | 806,8  | 6798,9  | 5992,1  | 742,7 | 60 | 187 | 127 | 211,7 | 6254,7 | 742,2  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Diablo Canyon 2  | United States | 1087 | 832,2  | 4229,8  | 3397,6  | 408,3 | 60 | 171 | 111 | 185   | 3891,3 | 765,6  |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Donald C. Cook 1 | United States | 1016 | 1191,2 | 2362,4  | 1171,2  | 98,3  | 60 | 73  | 13  | 21,7  | 2325,2 | 1172,4 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Duane Arnold     | United States | 562  | 616,4  | 1298,1  | 681,7   | 110,6 | 60 | 52  | -8  | -13,3 | 2309,9 | 1096,9 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Edwin I. Hatch 1 | United States | 856  | 756,0  | 1724,2  | 968,2   | 128,1 | 60 | 82  | 22  | 36,7  | 2014,3 | 883,2  |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Edwin I. Hatch 2 | United States | 883  | 1183,9 | 1671,6  | 487,7   | 41,2  | 60 | 85  | 25  | 41,7  | 1893,1 | 1340,8 |

|                  |         |                |               |      |        |        |        |       |    |     |     |       |        |        |
|------------------|---------|----------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>8 | Nuclear | Fermi 2        | United States | 1111 | 1080,6 | 6858,7 | 5778,2 | 534,7 | 60 | 209 | 149 | 248,3 | 6173,5 | 972,6  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Fessenheim 1   | France        | 920  | 988,7  | 1098,5 | 109,9  | 11,1  | 48 | 63  | 15  | 31,3  | 1194,1 | 1074,7 |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Fessenheim 2   | France        | 920  | 878,8  | 1076,6 | 197,7  | 22,5  | 48 | 63  | 15  | 31,3  | 1170,2 | 955,2  |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Flamanville 1  | France        | 1382 | 1779,6 | 2153,1 | 373,5  | 21    | 48 | 78  | 30  | 62,5  | 1558,0 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Flamanville 2  | France        | 1382 | 1779,6 | 2197,1 | 417,4  | 23,5  | 48 | 78  | 30  | 62,5  | 1589,8 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Fort Calhoun 1 | United States | 476  | 402,5  | 942,8  | 540,3  | 134,2 | 60 | 68  | 8   | 13,3  | 1980,6 | 845,6  |
| 1<br>9<br>7<br>1 | Nuclear | Fukushima 1-1  | Japan         | 460  | 462,5  | 557,6  | 95,1   | 20,6  | 42 | 48  | 6   | 14,3  | 1212,2 | 1005,4 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Fukushima 1-2  | Japan         | 784  | 726,7  | 736,0  | 9,3    | 1,3   | 60 | 63  | 3   | 5     | 938,8  | 927,0  |
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | Fukushima 1-3  | Japan         | 784  | 726,7  | 794,1  | 67,4   | 9,3   | 60 | 72  | 12  | 20    | 1012,9 | 927,0  |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Fukushima 1-4  | Japan         | 784  | 726,7  | 1074,3 | 347,5  | 47,8  | 60 | 72  | 12  | 20    | 1370,2 | 927,0  |

|                  |         |                |        |      |        |        |        |      |    |    |    |      |        |        |
|------------------|---------|----------------|--------|------|--------|--------|--------|------|----|----|----|------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Fukushima 1-5  | Japan  | 784  | 726,7  | 1191,8 | 465,1  | 64   | 60 | 84 | 24 | 40   | 1520,2 | 927,0  |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Fukushima 1-6  | Japan  | 1100 | 2114,2 | 2422,0 | 307,9  | 14,6 | 60 | 72 | 12 | 20   | 2201,8 | 1922,0 |
| 1<br>9<br>8<br>2 | Nuclear | Fukushima II-1 | Japan  | 1100 | 3964,0 | 4710,6 | 746,6  | 18,8 | 60 | 84 | 24 | 40   | 4282,4 | 3603,7 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Fukushima II-2 | Japan  | 1100 | 3964,0 | 3650,9 | -313,2 | -7,9 | 60 | 61 | 1  | 1,7  | 3319,0 | 3603,7 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Fukushima II-3 | Japan  | 1100 | 3964,0 | 4159,6 | 195,6  | 4,9  | 60 | 64 | 4  | 6,7  | 3781,5 | 3603,7 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Fukushima II-4 | Japan  | 1100 | 3964,0 | 3904,6 | -59,5  | -1,5 | 60 | 80 | 20 | 33,3 | 3549,6 | 3603,7 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Genkai-1       | Japan  | 559  | 660,7  | 683,1  | 22,5   | 3,4  | 60 | 61 | 1  | 1,7  | 1222,1 | 1181,9 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Genkai-2       | Japan  | 559  | 1717,7 | 1760,0 | 42,3   | 2,5  | 60 | 62 | 2  | 3,3  | 3148,5 | 3072,9 |
| 1<br>9<br>9<br>0 | Nuclear | Golfech 1      | France | 1363 | 1779,6 | 2636,5 | 856,9  | 48,1 | 48 | 90 | 42 | 87,5 | 1934,3 | 1305,7 |
| 1<br>9<br>9<br>3 | Nuclear | Golfech 2      | France | 1363 | 1779,6 | 2922,1 | 1142,5 | 64,2 | 48 | 90 | 42 | 87,5 | 2143,9 | 1305,7 |

|                  |         |              |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|--------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Grand Gulf 1 | United States | 1263 | 2003,4 | 6296,7 | 4293,3 | 214,3 | 60 | 125 | 65 | 108,3 | 4985,5 | 1586,2 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Gravelines 1 | France        | 951  | 988,7  | 988,7  | 0,0    | 0     | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1039,6 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Gravelines 2 | France        | 951  | 988,7  | 1032,6 | 43,9   | 4,4   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1085,8 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Gravelines 3 | France        | 951  | 988,7  | 1076,6 | 87,9   | 8,9   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1132,0 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Gravelines 4 | France        | 951  | 988,7  | 1120,5 | 131,8  | 13,3  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1178,2 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Gravelines 5 | France        | 951  | 988,7  | 1450,1 | 461,4  | 46,7  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1524,8 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Gravelines 6 | France        | 951  | 988,7  | 1472,0 | 483,3  | 48,9  | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1547,9 | 1039,6 |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Hamaoka-2    | Japan         | 840  | 1321,3 | 1579,0 | 257,7  | 19,5  | 48 | 48  | 0  | 0     | 1879,8 | 1573,0 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Hamaoka-3    | Japan         | 1100 | 5021,1 | 5483,6 | 462,5  | 9,2   | 48 | 48  | 0  | 0     | 4985,1 | 4564,6 |
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | Harnaoka-1   | Japan         | 540  | 660,7  | 750,5  | 89,9   | 13,6  | 60 | 60  | 0  | 0     | 1389,9 | 1223,5 |

|                  |         |                     |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|---------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Hope Creek          | United States | 1049 | 2886,4 | 8336,4 | 5450,0 | 188,8 | 60 | 121 | 61 | 101,7 | 7947,0 | 2751,5 |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Ikata 1             | Japan         | 566  | 924,9  | 1022,7 | 97,8   | 10,6  | 60 | 72  | 12 | 20    | 1806,9 | 1634,2 |
| 1<br>9<br>8<br>2 | Nuclear | Ikata 2             | Japan         | 566  | 924,9  | 1658,3 | 733,3  | 79,3  | 60 | 73  | 13 | 21,7  | 2929,8 | 1634,2 |
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | Indian Point        | United States | 965  | 864,8  | 1557,4 | 692,6  | 80,1  | 60 | 88  | 28 | 46,7  | 1613,9 | 896,2  |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Joseph M. Farley 1  | United States | 833  | 701,6  | 2652,5 | 1950,8 | 278   | 60 | 80  | 20 | 33,3  | 3184,2 | 842,3  |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Joseph M. Farley 2  | United States | 842  | 736,1  | 2226,4 | 1490,3 | 202,5 | 60 | 121 | 61 | 101,7 | 2644,2 | 874,2  |
| 2<br>0<br>0<br>0 | Nuclear | Kaiga I and II      | India         | 440  | 163,4  | 491,7  | 328,3  | 200,9 | 60 | 94  | 34 | 56,7  | 1117,4 | 371,4  |
| 1<br>9<br>9<br>4 | Nuclear | Kakrapar I and II   | India         | 440  | 65,0   | 232,1  | 167,1  | 256,9 | 60 | 157 | 97 | 161,7 | 527,5  | 147,8  |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Kashiwazai-Kariwa-1 | Japan         | 1100 | 5021,1 | 6284,3 | 1263,2 | 25,2  | 60 | 84  | 24 | 40    | 5713,0 | 4564,6 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Kewaunee            | United States | 539  | 538,5  | 1013,5 | 475,0  | 88,2  | 60 | 66  | 6  | 10    | 1880,3 | 999,0  |



|                  |         |                                |               |      |        |        |        |       |    |     |     |       |        |        |
|------------------|---------|--------------------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|-----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | LaSalle 1                      | United States | 1146 | 1296,3 | 3477,4 | 2181,1 | 168,3 | 60 | 115 | 55  | 91,7  | 3034,4 | 1131,2 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | LaSalle 2                      | United States | 1147 | 964,5  | 2275,4 | 1310,8 | 135,9 | 60 | 124 | 64  | 106,7 | 1983,8 | 840,9  |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Leibstadt                      | Switzerland   | 1220 | 3787,6 | 7033,4 | 3245,9 | 85,7  | 60 | 142 | 82  | 136,7 | 5765,1 | 3104,6 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Limerick 1                     | United States | 1134 | 1669,8 | 7215,9 | 5546,1 | 332,1 | 60 | 177 | 117 | 195   | 6363,2 | 1472,5 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Madras Atomic Power Station I  | India         | 220  | 22,9   | 44,0   | 21,1   | 91,9  | 60 | 145 | 85  | 141,7 | 199,8  | 104,1  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Madras Atomic Power Station II | India         | 220  | 24,8   | 44,4   | 19,6   | 78,9  | 60 | 146 | 86  | 143,3 | 202,0  | 112,9  |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | McGuire 1                      | United States | 1100 | 750,6  | 2355,1 | 1604,5 | 213,8 | 60 | 119 | 59  | 98,3  | 2141,0 | 682,4  |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | McGuire 2                      | United States | 1100 | 855,8  | 2300,7 | 1445,0 | 168,9 | 60 | 144 | 84  | 140   | 2091,6 | 778,0  |
| 1<br>9<br>7<br>0 | Nuclear | Mihama-1                       | Japan         | 340  | 396,4  | 396,4  | 0,0    | 0     | 40 | 40  | 0   | 0     | 1165,9 | 1165,9 |
| 1<br>9<br>7<br>2 | Nuclear | Mihama-2                       | Japan         | 500  | 396,4  | 473,0  | 76,6   | 19,3  | 40 | 48  | 8   | 20    | 946,1  | 792,8  |

|                  |         |                                      |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|--------------------------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | Mihama-3                             | Japan         | 826  | 1057,1 | 1079,5 | 22,5   | 2,1   | 40 | 48  | 8  | 20    | 1306,9 | 1279,8 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Millstone 2                          | United States | 866  | 859,4  | 1697,0 | 837,6  | 97,5  | 60 | 69  | 9  | 15    | 1959,6 | 992,4  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Millstone 3                          | United States | 1131 | 1896,4 | 7248,5 | 5352,1 | 282,2 | 60 | 134 | 74 | 123,3 | 6409,0 | 1676,8 |
| 1<br>9<br>9<br>1 | Nuclear | Narora Atomic Power Station I and II | India         | 440  | 59,2   | 210,0  | 150,8  | 254,8 | 60 | 151 | 91 | 151,7 | 477,3  | 134,5  |
| 1<br>9<br>8<br>8 | Nuclear | Nine Mile Point 2                    | United States | 1135 | 1827,5 | 9574,7 | 7747,1 | 423,9 | 60 | 141 | 81 | 135   | 8435,8 | 1610,2 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Nogent 1                             | France        | 1363 | 1779,6 | 2284,9 | 505,3  | 28,4  | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1676,4 | 1305,7 |
| 1<br>9<br>8<br>8 | Nuclear | Nogent 2                             | France        | 1363 | 1779,6 | 2438,7 | 659,1  | 37    | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1789,2 | 1305,7 |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | North Anna 1                         | United States | 925  | 933,7  | 2819,3 | 1885,6 | 201,9 | 60 | 82  | 22 | 36,7  | 3047,9 | 1009,4 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | North Anna 2                         | United States | 917  | 806,8  | 1689,8 | 883,0  | 109,4 | 60 | 113 | 53 | 88,3  | 1842,7 | 879,8  |
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Ohi-1                                | Japan         | 1175 | 1453,5 | 2482,8 | 1029,3 | 70,8  | 60 | 108 | 48 | 80    | 2113,0 | 1237,0 |

|                  |         |                |               |      |        |        |        |       |    |     |     |      |        |        |
|------------------|---------|----------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|-----|------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>9 | Nuclear | Ohi-2          | Japan         | 1175 | 1453,5 | 1617,3 | 163,8  | 11,3  | 60 | 106 | 46  | 76,7 | 1376,4 | 1237,0 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Onagawa-1      | Japan         | 524  | 3039,1 | 3119,7 | 80,6   | 2,7   | 60 | 168 | 108 | 180  | 5953,6 | 5799,8 |
| 1<br>9<br>7<br>1 | Nuclear | Palisades      | United States | 767  | 533,0  | 765,1  | 232,1  | 43,5  | 60 | 55  | -5  | -8,3 | 997,5  | 695,0  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Palo Verde 1   | United States | 1243 | 2237,3 | 7587,6 | 5350,3 | 239,1 | 60 | 109 | 49  | 81,7 | 6104,2 | 1799,9 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Palo Verde 2   | United States | 1335 | 1668,0 | 4153,7 | 2485,7 | 149   | 60 | 115 | 55  | 91,7 | 3111,4 | 1249,4 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Paluel 1       | France        | 1382 | 1779,6 | 1955,4 | 175,8  | 9,9   | 48 | 78  | 30  | 62,5 | 1414,9 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Paluel 2       | France        | 1382 | 1779,6 | 1977,4 | 197,7  | 11,1  | 48 | 78  | 30  | 62,5 | 1430,8 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Paluel 3       | France        | 1382 | 1779,6 | 2109,2 | 329,6  | 18,5  | 48 | 78  | 30  | 62,5 | 1526,2 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | Paluel 4       | France        | 1382 | 1779,6 | 2175,1 | 395,5  | 22,2  | 48 | 78  | 30  | 62,5 | 1573,9 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Peach Bottom 2 | United States | 1112 | 964,5  | 2570,9 | 1606,4 | 166,5 | 60 | 73  | 13  | 21,7 | 2312,0 | 867,4  |

|                  |         |   |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|---|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Peach Bottom 3                            | United States | 1112 | 766,9  | 1015,3 | 248,4  | 32,4  | 60 | 78  | 18 | 30    | 913,0  | 689,7  |
| 1<br>9<br>9<br>0 | Nuclear | Penly 1                                   | France        | 1382 | 1779,6 | 2658,5 | 878,8  | 49,4  | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 1923,6 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>9<br>2 | Nuclear | Penly 2                                   | France        | 1382 | 1779,6 | 2944,1 | 1164,4 | 65,4  | 48 | 90  | 42 | 87,5  | 2130,3 | 1287,7 |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Perry 1                                   | United States | 1235 | 1778,6 | 6760,8 | 4982,2 | 280,1 | 60 | 147 | 87 | 145   | 5474,4 | 1440,2 |
| 1<br>9<br>7<br>3 | Nuclear | Rajasthan Atomic Power Station I          | India         | 100  | 29,4   | 63,2   | 33,8   | 114,7 | 60 | 57  | -3 | -5    | 631,7  | 294,2  |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Rajasthan Atomic Power Station II         | India         | 200  | 24,5   | 43,5   | 19,0   | 77,6  | 60 | 94  | 34 | 56,7  | 217,5  | 122,5  |
| 2<br>0<br>0<br>0 | Nuclear | Rajasthan Atomic Power Station III and IV | India         | 440  | 120,9  | 647,4  | 526,5  | 435,6 | 60 | 125 | 65 | 108,3 | 1471,4 | 274,7  |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Rancho Seco                               | United States | 930  | 705,3  | 1588,2 | 883,0  | 125,2 | 60 | 77  | 17 | 28,3  | 1707,8 | 758,4  |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | River Bend 1                              | United States | 978  | 1301,8 | 7417,1 | 6115,4 | 469,8 | 60 | 104 | 44 | 73,3  | 7584,0 | 1331,0 |
| 1<br>9<br>7<br>7 | Nuclear | Salem 1                                   | United States | 1121 | 837,6  | 3316,1 | 2478,4 | 295,9 | 60 | 106 | 46 | 76,7  | 2958,1 | 747,2  |

|                  |         |                  |               |      |        |        |        |        |    |     |    |       |         |        |
|------------------|---------|------------------|---------------|------|--------|--------|--------|--------|----|-----|----|-------|---------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Salem 2          | United States | 1119 | 685,3  | 2714,1 | 2028,8 | 296    | 60 | 154 | 94 | 156,7 | 2425,5  | 612,4  |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | San Onofre 2     | United States | 1070 | 2056,0 | 6061,0 | 4005,0 | 194,8  | 60 | 105 | 45 | 75    | 5664,5  | 1921,5 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | San Onofre 3     | United States | 1080 | 1914,6 | 3767,5 | 1852,9 | 96,8   | 60 | 113 | 53 | 88,3  | 3488,4  | 1772,8 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Sendai-1         | Japan         | 890  | 3303,4 | 3719,6 | 416,2  | 12,6   | 60 | 108 | 48 | 80    | 4179,3  | 3711,6 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Sendai-2         | Japan         | 890  | 3303,4 | 3076,1 | -227,3 | -6,9   | 60 |     |    |       | 3456,3  | 3711,6 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Sequoyah 1       | United States | 1150 | 950,0  | 2828,3 | 1878,3 | 197,7  | 60 | 125 | 65 | 108,3 | 2459,4  | 826,1  |
| 1<br>9<br>8<br>2 | Nuclear | Sequoyah 2       | United States | 1127 | 777,8  | 2313,4 | 1535,6 | 197,4  | 60 | 135 | 75 | 125   | 2052,7  | 690,1  |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Shearon Harris 1 | United States | 900  | 1628,1 | 7250,3 | 5622,2 | 345,3  | 60 | 149 | 89 | 148,3 | 8055,9  | 1809,0 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Shimane-1        | Japan         | 460  | 198,2  | 462,5  | 264,3  | 133,3  | 60 | 84  | 24 | 40    | 1005,4  | 430,9  |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Shoreham         | United States | 540  | 543,9  | 7504,2 | 6960,3 | 1279,7 | 62 | 144 | 82 | 132,3 | 13896,6 | 1007,2 |

|                  |         |               |                |      |        |        |        |       |    |     |    |      |        |        |
|------------------|---------|---------------|----------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|------|--------|--------|
| 1<br>9<br>9<br>5 | Nuclear | Sizewell B    | United Kingdom | 1195 | 2356,2 | 3413,2 | 1057,0 | 44,9  | 60 | 95  | 35 | 58,3 | 2856,3 | 1971,7 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | St Alban 1    | France         | 1381 | 1779,6 | 2087,2 | 307,6  | 17,3  | 48 | 78  | 30 | 62,5 | 1511,4 | 1288,6 |
| 1<br>9<br>8<br>6 | Nuclear | St Alban 2    | France         | 1381 | 1779,6 | 2153,1 | 373,5  | 21    | 48 | 78  | 30 | 62,5 | 1559,1 | 1288,6 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | St Laurent B1 | France         | 956  | 1010,6 | 1098,5 | 87,9   | 8,7   | 48 | 67  | 19 | 39,6 | 1149,1 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | St Laurent B2 | France         | 956  | 1010,6 | 1120,5 | 109,9  | 10,9  | 48 | 67  | 19 | 39,6 | 1172,1 | 1057,2 |
| 1<br>9<br>7<br>6 | Nuclear | St. Lucie 1   | United States  | 839  | 661,8  | 2048,7 | 1387,0 | 209,6 | 60 | 72  | 12 | 20   | 2441,9 | 788,7  |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | St. Lucie 2   | United States  | 839  | 1619,0 | 3401,3 | 1782,2 | 110,1 | 60 | 80  | 20 | 33,3 | 4053,9 | 1929,7 |
| 1<br>9<br>7<br>2 | Nuclear | Surry 1       | United States  | 810  | 759,7  | 1379,7 | 620,1  | 81,6  | 60 | 51  | -9 | -15  | 1703,4 | 937,9  |
| 1<br>9<br>7<br>3 | Nuclear | Surry 2       | United States  | 815  | 596,5  | 792,3  | 195,8  | 32,8  | 60 | 55  | -5 | -8,3 | 972,1  | 731,9  |
| 1<br>9<br>8<br>3 | Nuclear | Susquehanna 1 | United States  | 1105 | 2394,3 | 4811,8 | 2417,5 | 101   | 60 | 107 | 47 | 78,3 | 4354,6 | 2166,8 |

|                  |         |                     |               |      |        |        |        |       |    |     |    |      |        |        |
|------------------|---------|---------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Susquehanna 2       | United States | 1140 | 1365,2 | 4122,9 | 2757,6 | 202   | 60 | 135 | 75 | 125  | 3616,5 | 1197,6 |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Takahama-1          | Japan         | 826  | 660,7  | 872,1  | 211,4  | 32    | 60 |     |    |      | 1055,8 | 799,8  |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Takahama-3          | Japan         | 870  | 2642,7 | 3719,6 | 1076,9 | 40,8  | 60 |     |    |      | 4275,4 | 3037,6 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Takahama-4          | Japan         | 870  | 2642,7 | 2806,5 | 163,8  | 6,2   | 60 |     |    |      | 3225,9 | 3037,6 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Takahama-2          | Japan         | 826  | 660,7  | 802,1  | 141,4  | 21,4  | 60 |     |    |      | 971,0  | 799,8  |
| 1<br>9<br>6<br>9 | Nuclear | Tarapur I and II    | India         | 320  | 93,3   | 97,5   | 4,2    | 4,5   | 60 | 70  | 10 | 16,7 | 304,7  | 291,6  |
| 2<br>0<br>0<br>5 | Nuclear | Tarapur III and IV  | India         | 1080 | 542,8  | 1363,6 | 820,9  | 151,2 | 60 | 115 | 55 | 91,7 | 1262,6 | 502,6  |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Three Mile Island 1 | United States | 786  | 585,6  | 1827,5 | 1241,9 | 212,1 | 60 | 71  | 11 | 18,3 | 2325,1 | 745,1  |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Three Mile Island 2 | United States | 790  | 1211,1 | 2333,4 | 1122,3 | 92,7  | 60 | 71  | 11 | 18,3 | 2953,6 | 1533,1 |
| 1<br>9<br>7<br>8 | Nuclear | Tokai-Daini         | Japan         | 1100 | 2642,7 | 2733,9 | 91,2   | 3,5   | 60 | 60  | 0  | 0    | 2485,3 | 2402,4 |

|                  |         |                 |               |      |        |        |        |       |    |     |    |       |        |        |
|------------------|---------|-----------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Tricastin 1     | France        | 955  | 988,7  | 1010,6 | 22,0   | 2,2   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1058,3 | 1035,3 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Tricastin 2     | France        | 955  | 988,7  | 1010,6 | 22,0   | 2,2   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1058,3 | 1035,3 |
| 1<br>9<br>8<br>0 | Nuclear | Tricastin 3     | France        | 955  | 988,7  | 1054,6 | 65,9   | 6,7   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1104,3 | 1035,3 |
| 1<br>9<br>8<br>1 | Nuclear | Tricastin 4     | France        | 955  | 988,7  | 1076,6 | 87,9   | 8,9   | 48 | 65  | 17 | 35,4  | 1127,3 | 1035,3 |
| 1<br>9<br>7<br>5 | Nuclear | Trojan          | United States | 1130 | 1055,2 | 2075,9 | 1020,7 | 96,7  | 50 | 59  | 9  | 18    | 1837,1 | 933,8  |
| 1<br>9<br>7<br>0 | Nuclear | Tsuruga-1       | Japan         | 357  | 132,1  | 432,1  | 299,9  | 227   | 48 | 48  | 0  | 0     | 1210,3 | 370,1  |
| 1<br>9<br>8<br>7 | Nuclear | Tsuruga-2       | Japan         | 1160 | 5021,1 | 5554,9 | 533,8  | 10,6  | 60 | 60  | 0  | 0     | 4788,7 | 4328,5 |
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | Virgil Summer 1 | United States | 966  | 1142,2 | 3094,9 | 1952,6 | 171   | 60 | 121 | 61 | 101,7 | 3203,8 | 1182,4 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Waterford 3     | United States | 1089 | 1118,6 | 5988,5 | 4869,8 | 435,3 | 60 | 122 | 62 | 103,3 | 5499,1 | 1027,2 |
| 1<br>9<br>8<br>5 | Nuclear | Wolf Creek 1    | United States | 1165 | 2072,3 | 5140,0 | 3067,7 | 148   | 60 | 97  | 37 | 61,7  | 4412,0 | 1778,8 |



|                  |         |                               |               |      |        |        |        |       |    |       |       |     |         |         |
|------------------|---------|-------------------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|-------|-------|-----|---------|---------|
| 1<br>9<br>8<br>4 | Nuclear | WPPSS 2                       | United States | 1150 | 1425,0 | 7266,7 | 5841,6 | 409,9 | 60 | 144   | 84    | 140 | 6318,8  | 1239,2  |
| 1<br>9<br>7<br>3 | Nuclear | Zion 1                        | United States | 1040 | 1075,1 | 1392,4 | 317,3  | 29,5  | 60 | 60    | 0     | 0   | 1338,9  | 1033,8  |
| 1<br>9<br>7<br>4 | Nuclear | Zion 2                        | United States | 1040 | 779,6  | 1363,4 | 583,8  | 74,9  | 60 | 61    | 1     | 1,7 | 1311,0  | 749,6   |
| 2<br>0<br>0<br>8 | Solar   | Andasol-1 (AS-1)              | Spain         | 50   | 426,1  | 491,8  | 65,7   | 15,4  | 30 | 32,5  | 2,5   | 8,3 | 9835,1  | 8521,9  |
| 2<br>0<br>0<br>9 | Solar   | Andasol-2 (AS-2)              | Spain         | 50   | 405,5  | 405,5  | 0,0    | 0     | 20 | 20,75 | 0,75  | 3,8 | 8110,1  | 8110,1  |
| 2<br>0<br>1<br>1 | Solar   | Andasol-3 (AS-3)              | Spain         | 50   | 449,1  | 471,6  | 22,5   | 5     | 44 | 44    | 0     | 0   | 9431,6  | 8982,2  |
| 2<br>0<br>1<br>0 | Solar   | Archimede                     | Italy         | 5    | 58,5   | 87,7   | 29,2   | 50    | 24 | 23,75 | -0,25 | -1  | 17539,3 | 11693,6 |
| 2<br>0<br>1<br>2 | Solar   | Borges Termosolar             | Spain         | 25   | 202,1  | 206,2  | 4,0    | 2     |    |       |       |     | 8246,9  | 8085,1  |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Solar   | California Valley Solar Ranch | United States | 250  | 1676,8 | 1676,8 | 0,0    | 0     |    |       |       |     | 6707,2  | 6707,2  |
| 2<br>0<br>1<br>2 | Solar   | Dahan Power Plant             | China         | 1    | 7,8    | 5,3    | -2,5   | -32,2 |    |       |       |     | 5323,8  | 7849,5  |

|      |       |                                   |         |    |       |       |       |       |    |       |       |       |         |         |
|------|-------|-----------------------------------|---------|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|---------|---------|
| 2013 | Solar | Enerstar Villena (Alicante)       | Spain   | 50 | 334,0 | 334,0 | 0,0   | 0     | 32 | 30    | -2    | -6,3  | 6680,4  | 6680,4  |
| 2010 | Solar | Extresol-1 (EX-1)                 | Spain   | 50 | 467,9 | 467,9 | 0,0   | 0     | 12 | 10,66 | -1,34 | -11,2 | 9357,8  | 9357,8  |
| 2010 | Solar | Extresol-2 (EX-2)                 | Spain   | 50 | 438,5 | 438,5 | 0,0   | 0     | 12 | 11,66 | -0,34 | -2,8  | 8769,9  | 8769,9  |
| 2012 | Solar | Extresol-3 (EX-3)                 | Spain   | 50 | 404,6 | 404,6 | 0,0   | 0     | 30 | 28    | -2    | -6,7  | 8092,7  | 8092,7  |
| 2011 | Solar | Gemasolar                         | Spain   | 20 | 292,0 | 342,7 | 50,7  | 17,3  | 24 | 27,75 | 3,75  | 15,6  | 17133,8 | 14600,7 |
| 2013 | Solar | Godawari Solar Project            | India   | 50 | 125,4 | 143,4 | 17,9  | 14,3  |    |       |       |       | 2867,3  | 2508,9  |
| 2009 | Solar | Ibersol Ciudad Real (Puertollano) | Spain   | 50 | 374,3 | 311,9 | -62,4 | -16,7 | 12 | 12    | 0     | 0     | 6238,5  | 7486,3  |
| 2010 | Solar | ISCC Ain Beni Mathar              | Morocco | 20 | 625,2 | 569,7 | -55,5 | -8,9  | 40 | 41    | 1     | 2,5   | 28484,6 | 31258,7 |
| 2011 | Solar | ISCC Hassi R'mel                  | Algeria | 25 | 469,3 | 469,3 | 0,0   | 0     | 60 | 55    | -5    | -8,3  | 18772,6 | 18772,6 |
| 2011 | Solar | ISCC Kuraymat                     | Egypt   | 20 | 350,5 | 457,7 | 107,2 | 30,6  | 30 | 30    | 0     | 0     | 22887,3 | 17525,2 |

|      |       |   |               |    |       |       |        |       |    |       |       |      |        |         |
|------|-------|---|---------------|----|-------|-------|--------|-------|----|-------|-------|------|--------|---------|
| 2008 | Solar | La Risca (Alvarado 1)                               | Spain         | 50 | 374,3 | 368,1 | -6,2   | -1,7  | 25 | 24,25 | -0,75 | -3   | 7361,4 | 7486,3  |
| 2011 | Solar | Lebrija 1   | Spain         | 50 | 428,0 | 464,4 | 36,4   | 8,5   |    |       |       |      | 9287,6 | 8560,1  |
| 2009 | Solar | Lieberose Photovoltaic Park                         | Germany       | 53 | 249,5 | 249,5 | 0,0    | 0     |    |       |       |      | 4708,3 | 4708,3  |
| 2010 | Solar | Majadas I   | Spain         | 50 | 346,4 | 346,4 | 0,0    | 0     |    |       |       |      | 6928,1 | 6928,1  |
| 2011 | Solar | Manchasol-1 (MS-1)                                  | Spain         | 50 | 570,3 | 459,9 | -110,4 | -19,4 | 30 | 27    | -3    | -10  | 9198,5 | 11406,0 |
| 2010 | Solar | Martin Next Generation Solar Energy Center (MNGSEC) | United States | 75 | 524,1 | 440,4 | -83,7  | -16   | 24 | 24    | 0     | 0    | 5872,2 | 6987,9  |
| 2007 | Solar | Nevada Solar One                                    | United States | 64 | 271,8 | 307,6 | 35,8   | 13,2  |    |       |       |      | 4806,7 | 4246,7  |
| 2011 | Solar | Palma del Rio I                                     | Spain         | 50 | 350,2 | 396,9 | 46,7   | 13,3  | 26 | 25,5  | -0,5  | -1,9 | 7938,2 | 7004,4  |
| 2010 | Solar | Palma del Rio II                                    | Spain         | 50 | 350,8 | 366,9 | 16,1   | 4,6   | 26 | 26    | 0     | 0    | 7337,3 | 7015,7  |
| 2010 | Solar | Rovigo Photovoltaic Power Plant                     | Italy         | 72 | 376,6 | 420,6 | 44,0   | 11,7  | 8  | 8     | 0     | 0    | 5841,6 | 5230,0  |

|      |       |                           |                      |      |        |        |        |       |    |      |      |      |        |         |
|------|-------|---------------------------|----------------------|------|--------|--------|--------|-------|----|------|------|------|--------|---------|
| 2005 | Solar | Saguaro Power Plant       | United States        | 1    | 6,5    | 7,1    | 0,6    | 9,1   |    |      |      |      | 7136,9 | 6539,5  |
| 2010 | Solar | Sarnia PV (Phase II)      | Canada               | 60   | 330,4  | 325,2  | -5,2   | -1,6  |    |      |      |      | 5419,2 | 5506,4  |
| 2013 | Solar | Shams 1                   | United Arab Emirates | 100  | 835,0  | 835,0  | 0,0    | 0     | 34 | 32,5 | -1,5 | -4,4 | 8350,5 | 8350,5  |
| 2012 | Solar | Solaben 1 and 2           | Spain                | 50   | 684,8  | 405,4  | -279,4 | -40,8 |    |      |      |      | 8107,5 | 13696,3 |
| 2013 | Solar | Solana Generating Station | United States        | 280  | 2096,0 | 2096,0 | 0,0    | 0     |    |      |      |      | 7485,7 | 7485,7  |
| 2011 | Solar | Solarpark Alt Daber       | Germany              | 67,8 | 223,5  | 149,0  | -74,5  | -33,3 |    |      |      |      | 2197,4 | 3296,3  |
| 2012 | Solar | Solarpark Neuhardenberg   | Germany              | 145  | 377,3  | 269,5  | -107,8 | -28,6 |    |      |      |      | 1858,6 | 2602,1  |
| 2010 | Solar | Solnova 1                 | Spain                | 50   | 278,1  | 382,4  | 104,3  | 37,5  |    |      |      |      | 7647,0 | 5561,5  |
| 2010 | Solar | Solnova 3                 | Spain                | 50   | 278,1  | 312,8  | 34,8   | 12,5  | 36 | 36   | 0    | 0    | 6256,8 | 5561,5  |
| 2012 | Solar | Soluz Guzman              | Spain                | 50   | 350,3  | 377,2  | 26,9   | 7,7   | 24 | 23   | -1   | -4,2 | 7545,0 | 7006,1  |

|      |         |  |               |      |        |        |        |      |    |    |    |      |        |        |
|------|---------|--|---------------|------|--------|--------|--------|------|----|----|----|------|--------|--------|
| 2011 | Solar   | Termesol 50 (Valle 1 and 2)                        | Spain         | 100  | 889,2  | 862,3  | -27,0  | -3   | 20 | 25 | 5  | 25   | 8622,7 | 8892,3 |
| 2008 | Solar   | Waldpolenz Solar Park                              | Germany       | 40   | 213,1  | 213,1  | 0,0    | 0    |    |    |    |      | 5326,5 | 5326,5 |
| 1982 | Thermal | Ashuganj Thermal                                   | Bangladesh    | 450  | 625,9  | 687,0  | 61,1   | 9,8  |    |    |    |      | 1526,6 | 1390,9 |
| 2003 | Thermal | Belungang Phase II                                 | China         | 1800 | 1175,9 | 1294,3 | 118,4  | 10,1 | 82 | 94 | 12 | 14,6 | 719,0  | 653,3  |
| 2013 | Thermal | Bina Power Plant                                   | India         | 500  | 319,6  | 374,1  | 54,5   | 17   |    |    |    |      | 748,3  | 639,3  |
| 2013 | Thermal | Cape Canaveral Next Generation Clean Energy Center | United States | 1200 | 1037,5 | 891,8  | -145,7 | -14  | 30 | 29 | -1 | -3,3 | 743,2  | 864,6  |
| 2013 | Thermal | Cliffside  | United States | 800  | 1037,5 | 2282,5 | 1245,0 | 120  | 72 | 72 | 0  | 0    | 2853,2 | 1296,9 |
| 2011 | Thermal | Comanche 3   | United States | 766  | 1443,1 | 1443,1 | 0,0    | 0    | 48 | 72 | 24 | 50   | 1883,9 | 1883,9 |
| 2011 | Thermal | Dry Fork   | United States | 385  | 1389,6 | 1443,1 | 53,4   | 3,8  | 60 | 60 | 0  | 0    | 3748,3 | 3609,5 |
| 2013 | Thermal | Edwardsport  | United States | 618  | 2075,0 | 3631,3 | 1556,3 | 75   | 72 | 84 | 12 | 16,7 | 5875,9 | 3357,7 |

|      |                 |   |                  |     |        |        |        |      |    |    |    |      |            |            |
|------|-----------------|---|------------------|-----|--------|--------|--------|------|----|----|----|------|------------|------------|
| 2013 | The<br>rma<br>l | Argenne                                     | United<br>States | 960 | 2096,0 | 3668,0 | 1572,0 | 75   | 48 | 70 | 22 | 45,8 | 3820,<br>8 | 2183,<br>3 |
| 2012 | The<br>rma<br>l | El Tebbin                                   | Egypt            | 700 | 471,6  | 738,8  | 267,2  | 56,7 | 52 | 64 | 12 | 23,1 | 1055,<br>5 | 673,7      |
| 1980 | The<br>rma<br>l | Farakka                                     | India            | 600 | 1041,2 | 1282,8 | 241,6  | 23,2 |    |    |    |      | 2138,<br>0 | 1735,<br>3 |
| 1974 | The<br>rma<br>l | Fifth Power<br>Project Moin<br>Diesel Plant | Costa Rica       | 30  | 44,9   | 50,3   | 5,4    | 12,1 |    |    |    |      | 1677,<br>8 | 1496,<br>9 |
| 1984 | The<br>rma<br>l | Fourth Trobay                               | India            | 500 | 723,0  | 672,7  | -50,3  | -7   |    |    |    |      | 1345,<br>4 | 1445,<br>9 |
| 2012 | The<br>rma<br>l | Hempstead                                   | United<br>States | 600 | 1362,4 | 1781,6 | 419,2  | 30,8 | 60 | 70 | 10 | 16,7 | 2969,<br>3 | 2270,<br>7 |
| 2010 | The<br>rma<br>l | Iatan 2 Power<br>Plant                      | United<br>States | 850 | 1205,2 | 1310,0 | 104,8  | 8,7  | 42 | 46 | 4  | 9,5  | 1541,<br>2 | 1417,<br>9 |
| 1999 | The<br>rma<br>l | Jamaia Energy<br>Sector                     | Jamaica          | 90  | 234,8  | 256,8  | 22,0   | 9,4  | 22 | 24 | 2  | 9,1  | 2852,<br>9 | 2608,<br>4 |
| 1978 | The<br>rma<br>l | Korba                                       | India            | 600 | 925,5  | 1119,8 | 194,3  | 21   |    |    |    |      | 1866,<br>3 | 1542,<br>5 |
| 2011 | The<br>rma<br>l | Longview                                    | United<br>States | 695 | 1924,1 | 2137,9 | 213,8  | 11,1 | 60 | 60 | 0  | 0    | 3076,<br>1 | 2768,<br>5 |

|      |                 |                                 |                  |      |        |        |         |       |    |    |    |       |        |        |
|------|-----------------|---------------------------------|------------------|------|--------|--------|---------|-------|----|----|----|-------|--------|--------|
| 2011 | The<br>rma<br>l | Oak Creek                       | United<br>States | 1230 | 2341,2 | 2544,5 | 203,3   | 8,7   | 60 | 60 | 0  | 0     | 2068,7 | 1903,4 |
| 2012 | The<br>rma<br>l | Prairie State                   | United<br>States | 1600 | 3039,2 | 5135,2 | 2096,0  | 69    | 60 | 68 | 8  | 13,3  | 3209,5 | 1899,5 |
| 1999 | The<br>rma<br>l | Quick Start GT<br>Hungary       | Hungary          | 200  | 137,3  | 114,2  | -23,1   | -16,8 | 16 | 16 | 0  | 0     | 571,2  | 686,4  |
| 1997 | The<br>rma<br>l | Ramagundam                      | India            | 600  | 1165,1 | 1580,1 | 415,0   | 35,6  |    |    |    |       | 2633,6 | 1941,9 |
| 2005 | The<br>rma<br>l | Ry-sana'a<br>Emergency Power    | Yemen            | 30   | 73,4   | 67,1   | -6,3    | -8,6  | 36 | 60 | 24 | 66,7  | 2235,7 | 2445,3 |
| 1998 | The<br>rma<br>l | Second Korba                    | India            | 1500 | 2343,1 | 1606,2 | -736,8  | -31,4 | 84 | 78 | -6 | -7,1  | 1070,8 | 1562,1 |
| 1997 | The<br>rma<br>l | Second Power<br>Project Varreux | Haiti            | 46,8 | 100,1  | 93,3   | -6,8    | -6,8  |    |    |    |       | 1992,8 | 2138,8 |
| 1998 | The<br>rma<br>l | Second<br>Ramagundam            | India            | 1500 | 3153,9 | 1820,1 | -1333,8 | -42,3 | 84 | 75 | -9 | -10,7 | 1213,4 | 2102,6 |
| 1990 | The<br>rma<br>l | Second Singrauli                | India            | 1400 | 1747,2 | 1734,8 | -12,4   | -0,7  |    |    |    |       | 1239,1 | 1248,0 |
| 2008 | The<br>rma<br>l | Snowflake -<br>Renergy          | United<br>States | 24   | 57,6   | 66,0   | 8,4     | 14,5  | 12 | 12 | 0  | 0     | 2751,0 | 2401,7 |

|       |         |                                    |               |      |        |        |        |       |    |    |   |     |        |        |
|-------|---------|------------------------------------|---------------|------|--------|--------|--------|-------|----|----|---|-----|--------|--------|
| 19911 | Thermal | Suralaya (United 3)                | Indonesia     | 800  | 1428,4 | 1153,8 | -274,6 | -19,2 |    |    |   |     | 1442,3 | 1785,5 |
| 19822 | Thermal | Third Power Project Carrefour      | Haiti         | 15,6 | 73,3   | 67,7   | -5,6   | -7,7  |    |    |   |     | 4339,1 | 4700,5 |
| 19788 | Thermal | Third Trombay                      | India         | 500  | 477,2  | 550,0  | 72,7   | 15,2  |    |    |   |     | 1099,9 | 954,5  |
| 20122 | Thermal | Vindhyacahl Expansion              | India         | 1200 | 760,8  | 770,3  | 9,4    | 1,2   | 46 | 48 | 2 | 4,3 | 641,9  | 634,0  |
| 19999 | Thermal | Vindhyacahl- II Power Station      | India         | 1000 | 584,8  | 292,4  | -292,4 | -50   | 48 | 48 | 0 | 0   | 292,4  | 584,8  |
| 20112 | Thermal | Virginia City Hybrid Energy Center | United States | 585  | 1676,8 | 1886,4 | 209,6  | 12,5  | 60 | 60 | 0 | 0   | 3224,6 | 2866,3 |
| 19988 | Thermal | Yanshi Thermal Power Project       | China         | 600  | 520,9  | 594,2  | 73,4   | 14,1  | 60 | 60 | 0 | 0   | 990,4  | 868,1  |
| 20000 | Thermal | Zouxian Thermal Power              | China         | 600  | 1099,4 | 1128,7 | 29,3   | 2,7   | 48 | 48 | 0 | 0   | 1881,2 | 1832,3 |
| 20088 | Wind    | Alto Minho                         | Portugal      | 240  | 532,6  | 590,0  | 57,4   | 10,8  |    |    |   |     | 2458,3 | 2219,3 |
| 20133 | Wind    | BRW                                | Canada        | 6    | 16,2   | 16,1   | -0,1   | -0,8  | 10 | 11 | 1 | 10  | 2684,6 | 2707,3 |



|      |      |                                       |                |       |        |        |       |      |    |    |    |      |        |        |
|------|------|---------------------------------------|----------------|-------|--------|--------|-------|------|----|----|----|------|--------|--------|
| 2007 | Wind | Cedar Creek II                        | United States  | 250   | 374,5  | 508,2  | 133,7 | 35,7 | 9  | 9  | 0  | 0    | 2033,0 | 1498,0 |
| 2013 | Wind | Centrica Lincs                        | United Kingdom | 270   | 1270,5 | 1639,4 | 368,9 | 29   |    |    |    |      | 6071,8 | 4705,6 |
| 2009 | Wind | Chateaugay I Wind Park                | United States  | 108   | 223,7  | 237,2  | 13,4  | 6    |    |    |    |      | 2195,9 | 2071,5 |
| 2011 | Wind | Collgar                               | Australia      | 205,4 | 811,8  | 811,8  | 0,0   | 0    |    |    |    |      | 3952,2 | 3952,2 |
| 2013 | Wind | Danish Anholt                         | Denmark        | 400   | 1866,5 | 1866,5 | 0,0   | 0    |    |    |    |      | 4666,2 | 4666,2 |
| 2011 | Wind | EVCSA Wind Power                      | Costa Rica     | 15,3  | 40,1   | 54,1   | 13,9  | 34,7 |    |    |    |      | 3533,1 | 2623,4 |
| 2002 | Wind | Ferndale I                            | Canada         | 2     | 4,8    | 5,3    | 0,5   | 10,1 | 4  | 5  | 1  | 25   | 2630,5 | 2389,4 |
| 2006 | Wind | Ferndale II                           | Canada         | 3     | 7,4    | 7,3    | 0,0   | -0,6 | 5  | 5  | 0  | 0    | 2441,8 | 2455,8 |
| 2010 | Wind | Fowler Ridge II                       | United States  | 200   | 85,0   | 85,0   | 0,0   | 0    | 12 | 11 | -1 | -8,3 | 425,0  | 425,0  |
| 2011 | Wind | Guohua Tongliao Kezuo Zhongqi Phase 1 | China          | 49,5  | 73,6   | 77,4   | 3,8   | 5,1  |    |    |    |      | 1563,3 | 1487,5 |

|      |      |                       |                |     |        |        |      |      |    |    |    |       |        |        |
|------|------|-----------------------|----------------|-----|--------|--------|------|------|----|----|----|-------|--------|--------|
| 2011 | Wind | Hallett 5 (The Bluff) | Australia      | 53  | 128,1  | 128,1  | 0,0  | 0    | 16 | 16 | 0  | 0     | 2416,1 | 2416,1 |
| 2002 | Wind | Horns Rev I           | Denmark        | 160 | 323,8  | 393,0  | 69,2 | 21,4 | 10 | 16 | 6  | 60    | 2456,3 | 2024,0 |
| 2009 | Wind | Horns Rev II          | Denmark        | 209 | 665,5  | 665,5  | 0,0  | 0    | 21 | 17 | -4 | -19   | 3184,1 | 3184,1 |
| 2011 | Wind | Jadraas               | Sweden         | 198 | 467,6  | 501,0  | 33,4 | 7,1  |    |    |    |       | 2530,4 | 2361,8 |
| 2008 | Wind | Lillgrund             | Sweden         | 110 | 236,8  | 278,8  | 41,9 | 17,7 | 20 | 23 | 3  | 15    | 2534,3 | 2153,2 |
| 2012 | Wind | London Array          | United Kingdom | 630 | 3061,8 | 3114,9 | 53,0 | 1,7  | 24 | 21 | -3 | -12,5 | 4944,2 | 4860,1 |
| 2013 | Wind | Macarthur             | Australia      | 420 | 1085,2 | 1085,2 | 0,0  | 0    |    |    |    |       | 2583,8 | 2583,8 |
| 2000 | Wind | Middelgrunden         | Denmark        | 40  | 65,0   | 69,2   | 4,2  | 6,5  | 4  | 6  | 2  | 50    | 1729,2 | 1624,4 |
| 2013 | Wind | Mumbida               | Australia      | 55  | 162,8  | 217,0  | 54,3 | 33,3 |    |    |    |       | 3946,2 | 2959,6 |
| 2013 | Wind | Musselroe Bay         | Australia      | 168 | 418,9  | 434,1  | 15,2 | 3,6  |    |    |    |       | 2583,8 | 2493,4 |

|      |      |                         |                |      |        |        |        |      |    |    |    |      |        |        |
|------|------|-------------------------|----------------|------|--------|--------|--------|------|----|----|----|------|--------|--------|
| 2008 | Wind | North Longyuan Zhurihe  | China          | 49,5 | 71,6   | 72,6   | 1,0    | 1,4  |    |    |    |      | 1467,2 | 1446,9 |
| 2003 | Wind | Nysted                  | Denmark        | 166  | 380,4  | 380,4  | 0,0    | 0    | 19 | 18 | -1 | -5,3 | 2291,7 | 2291,7 |
| 2012 | Wind | Oaklands Hill Wind Farm | Australia      | 63   | 217,0  | 217,0  | 0,0    | 0    | 20 | 18 | -2 | -10  | 3445,1 | 3445,1 |
| 2014 | Wind | Oxley                   | Canada         | 6    | 17,7   | 17,8   | 0,1    | 0,4  | 7  | 7  | 0  | 0    | 2958,9 | 2946,6 |
| 2010 | Wind | Proof Line              | Canada         | 7    | 16,4   | 16,1   | -0,3   | -2,1 | 5  | 6  | 1  | 20   | 2299,6 | 2349,0 |
| 2008 | Wind | Ravenswood              | Canada         | 10   | 22,7   | 24,2   | 1,5    | 6,5  | 6  | 8  | 2  | 33,3 | 2417,7 | 2270,0 |
| 2010 | Wind | Rødsand II              | Denmark        | 207  | 636,1  | 630,9  | -5,2   | -0,8 | 20 | 17 | -3 | -15  | 3047,8 | 3073,1 |
| 2003 | Wind | Samsø                   | Denmark        | 23   | 46,6   | 45,1   | -1,6   | -3,4 | 7  | 9  | 2  | 28,6 | 1959,3 | 2027,7 |
| 2012 | Wind | Shepherds Flat          | United States  | 845  | 2096,0 | 1991,2 | -104,8 | -5   |    |    |    |      | 2356,4 | 2480,5 |
| 2012 | Wind | Sheringham Shoal        | United Kingdom | 317  | 1243,6 | 1795,2 | 551,6  | 44,4 |    |    |    |      | 5663,2 | 3923,1 |

|      |              |  |                                  |      |        |        |        |        |    |     |    |       |        |        |
|------|--------------|--|----------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|----|-----|----|-------|--------|--------|
| 2010 | Wind         | Thanet                                       | United Kingdom                   | 300  | 1276,5 | 1327,5 | 51,1   | 4      |    |     |    |       | 4425,1 | 4254,9 |
| 2012 | Wind         | Walney                                       | United Kingdom                   | 367  | 1826,8 | 1660,8 | -166,1 | -9,1   |    |     |    |       | 4525,2 | 4977,8 |
| 2011 | Wind         | Woodlawn Wind Farm                           | Australia                        | 48,3 | 110,4  | 124,5  | 14,1   | 12,7   |    |     |    |       | 2577,0 | 2285,9 |
| 1982 | Transmission | Inga-Kolwezi HVDC Line                       | Democratic Republic of the Congo | 560  | 613,6  | 2208,9 | 1595,3 | 260    | 40 | 121 | 81 | 202,5 | 3944,4 | 1095,7 |
| 2002 | Transmission | Yangcheng-Huaiyin                            | China                            | 500  | 580,6  | 395,1  | -185,5 | -31,95 | 72 | 96  | 24 | 33,3  | 790,2  | 1161,2 |
| 2011 | Transmission | North-south Electricity Transmission Project | Kazakhstan                       | 500  | 121,6  | 91,2   | -30,4  | -25    | 48 | 72  | 24 | 50    | 182,4  | 243,1  |
| 2009 | Transmission | Ranchi-Sipat Transmission Line               | India                            | 400  | 82,8   | 102,7  | 19,9   | 24,05  | 48 | 72  | 24 | 50    | 256,8  | 207,0  |
| 2012 | Transmission | Uri-I - Uri-II - Wagoora                     | India                            | 400  | 39,8   | 46,1   | 6,3    | 15,79  | 60 | 72  | 12 | 20    | 115,3  | 99,6   |
| 2002 | Transmission | Sichuan Power Transmission Project           | China                            | 500  | 1163,3 | 1133,9 | -29,3  | -2,52  | 48 | 53  | 5  | 10,4  | 2267,9 | 2326,6 |
| 2013 | Transmission | Grelton to Odessa                            | United States                    | 345  | 93,3   | 93,3   | 0,0    | 0      | 38 | 38  | 0  | 0     | 270,4  | 270,4  |

|      |              |   |               |     |       |       |      |       |    |    |   |   |       |       |
|------|--------------|---|---------------|-----|-------|-------|------|-------|----|----|---|---|-------|-------|
| 2013 | Transmission | Silverton to Tesla                      | United States | 345 | 134,1 | 144,6 | 10,5 | 7,81  | 36 | 36 | 0 | 0 | 419,2 | 388,8 |
| 2007 | Transmission | Stoughton to Hyde Park and South Boston | United States | 345 | 269,3 | 335,4 | 66,0 | 24,51 | 36 | 36 | 0 | 0 | 972,1 | 780,7 |
| 2013 | Transmission | Cottonwood to Dermott                   | United States | 345 | 147,8 | 147,8 | 0,0  | 0     | 34 | 34 | 0 | 0 | 428,3 | 428,3 |
| 2013 | Transmission | Gray to White Deer                      | United States | 345 | 79,6  | 89,1  | 9,4  | 11,84 | 33 | 33 | 0 | 0 | 258,2 | 230,9 |
| 2013 | Transmission | Mason to Pittsburg                      | United States | 138 | 21,0  | 19,9  | -1,0 | -5    | 33 | 33 | 0 | 0 | 144,3 | 151,9 |
| 2013 | Transmission | Sam Switch to Navarro                   | United States | 345 | 57,6  | 53,4  | -4,2 | -7,27 | 33 | 33 | 0 | 0 | 154,9 | 167,1 |
| 2013 | Transmission | Newton to Kileen                        | United States | 345 | 72,3  | 70,2  | -2,1 | -2,9  | 32 | 32 | 0 | 0 | 203,5 | 209,6 |
| 2013 | Transmission | Hereford to White Deer                  | United States | 345 | 139,4 | 139,4 | 0,0  | 0     | 32 | 32 | 0 | 0 | 404,0 | 404,0 |
| 2013 | Transmission | Riley to Edith Clarke                   | United States | 345 | 82,8  | 95,4  | 12,6 | 15,19 | 30 | 30 | 0 | 0 | 276,4 | 240,0 |
| 2013 | Transmission | Tesla to Riley                          | United States | 345 | 116,3 | 140,4 | 24,1 | 20,72 | 30 | 30 | 0 | 0 | 407,0 | 337,2 |

|                  |                          |                                       |                  |     |       |       |       |        |    |    |   |   |       |       |
|------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|----|----|---|---|-------|-------|
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Tesla to Edith<br>Clarke              | United<br>States | 345 | 89,1  | 101,7 | 12,6  | 14,12  | 30 | 30 | 0 | 0 | 294,7 | 258,2 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Edith Clarke to<br>Clear Crossing     | United<br>States | 345 | 138,3 | 163,5 | 25,2  | 18,18  | 30 | 30 | 0 | 0 | 473,9 | 401,0 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Clear Crossing to<br>Dermott          | United<br>States | 345 | 147,8 | 196,0 | 48,2  | 32,62  | 30 | 30 | 0 | 0 | 568,0 | 428,3 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Clear Crossing to<br>West Shackelford | United<br>States | 345 | 59,7  | 79,6  | 19,9  | 33,33  | 30 | 30 | 0 | 0 | 230,9 | 173,1 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Edith Clarke to<br>Cottonwood         | United<br>States | 345 | 163,5 | 181,3 | 17,8  | 10,9   | 30 | 30 | 0 | 0 | 525,5 | 473,9 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Gray to Tesla                         | United<br>States | 345 | 176,1 | 176,1 | 0,0   | 0      | 30 | 30 | 0 | 0 | 510,3 | 510,3 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Twin Buttes to Big<br>Hill            | United<br>States | 345 | 78,6  | 52,4  | -26,2 | -33,33 | 30 | 30 | 0 | 0 | 151,9 | 227,8 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Willow Creek to<br>Hicks              | United<br>States | 345 | 91,2  | 102,7 | 11,5  | 12,64  | 30 | 30 | 0 | 0 | 297,7 | 264,3 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Brown-Newton                          | United<br>States | 345 | 169,8 | 162,4 | -7,3  | -4,32  | 30 | 30 | 0 | 0 | 470,8 | 492,1 |
| 2<br>0<br>1<br>1 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Alamathy-<br>Sriperumbudur            | India            | 400 | 14,7  | 25,2  | 10,5  | 71,43  | 30 | 30 | 0 | 0 | 62,9  | 36,7  |

|                  |                          |   |                  |     |       |       |       |        |    |    |   |   |            |            |
|------------------|--------------------------|---|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|----|----|---|---|------------|------------|
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Riley to West<br>Krum                         | United<br>States | 345 | 263,0 | 274,6 | 11,5  | 4,38   | 28 | 28 | 0 | 0 | 795,9      | 762,5      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Nazareth to<br>Silverton                      | United<br>States | 345 | 77,6  | 69,2  | -8,4  | -10,81 | 28 | 28 | 0 | 0 | 200,5      | 224,8      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Scurry County<br>South to West<br>Shackelford | United<br>States | 345 | 201,2 | 158,2 | -43,0 | -21,35 | 27 | 27 | 0 | 0 | 458,7      | 583,2      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | West Shackelford<br>to Navarro/Sam<br>Switch  | United<br>States | 345 | 400,3 | 426,5 | 26,2  | 6,54   | 27 | 27 | 0 | 0 | 1236,<br>3 | 1160,<br>4 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | West Krum to<br>Carrolton NW                  | United<br>States | 345 | 21,0  | 21,0  | 0,0   | 0      | 27 | 27 | 0 | 0 | 60,8       | 60,8       |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Nazareth to<br>Hereford                       | United<br>States | 345 | 41,9  | 38,8  | -3,1  | -7,5   | 27 | 27 | 0 | 0 | 112,4      | 121,5      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Silverton to<br>Cottonwood                    | United<br>States | 345 | 117,4 | 112,1 | -5,2  | -4,46  | 27 | 27 | 0 | 0 | 325,0      | 340,2      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Bluff Creek to<br>Brown                       | United<br>States | 345 | 135,2 | 114,2 | -21,0 | -15,5  | 26 | 26 | 0 | 0 | 331,1      | 391,9      |
| 2<br>0<br>1<br>0 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Vapi-Khadoli                                  | India            | 220 | 83,8  | 83,8  | 0,0   | 0      | 24 | 24 | 0 | 0 | 381,1      | 381,1      |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Big Hill to Kendall                           | United<br>States | 345 | 354,2 | 344,8 | -9,4  | -2,66  | 21 | 21 | 0 | 0 | 999,4      | 1026,<br>7 |

|                  |                          |                                   |                  |     |      |      |       |        |    |    |   |   |       |       |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------|-----|------|------|-------|--------|----|----|---|---|-------|-------|
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Dermott to Scurry<br>County South | United<br>States | 345 | 51,4 | 51,4 | 0,0   | 0      | 21 | 21 | 0 | 0 | 148,8 | 148,8 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Riley-Bowman                      | United<br>States | 345 | 52,4 | 55,5 | 3,1   | 6      | 21 | 21 | 0 | 0 | 161,0 | 151,9 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Twin Buttes to<br>Brown           | United<br>States | 345 | 43,0 | 29,3 | -13,6 | -31,71 | 18 | 18 | 0 | 0 | 85,1  | 124,5 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Sweetwater to<br>Central Bluff    | United<br>States | 345 | 56,6 | 56,6 | 0,0   | 0      | 17 | 17 | 0 | 0 | 164,0 | 164,0 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Central Bluff to<br>Bluff Creek   | United<br>States | 345 | 15,7 | 15,7 | 0,0   | 0      | 16 | 16 | 0 | 0 | 45,6  | 45,6  |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Ector County<br>North to Moss     | United<br>States | 138 | 16,8 | 16,8 | 0,0   | 0      | 16 | 16 | 0 | 0 | 121,5 | 121,5 |
| 2<br>0<br>1<br>0 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Maithon RB -<br>Maithon           | India            | 400 | 50,3 | 50,3 | 0,0   | 0      | 16 | 16 | 0 | 0 | 125,8 | 125,8 |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Scurry County<br>South to Tonkawa | United<br>States | 345 | 25,2 | 25,2 | 0,0   | 0      | 15 | 15 | 0 | 0 | 72,9  | 72,9  |
| 2<br>0<br>1<br>3 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Tonkawa to<br>Sweetwater          | United<br>States | 345 | 44,0 | 45,1 | 1,0   | 2,38   | 15 | 15 | 0 | 0 | 130,6 | 127,6 |
| 2<br>0<br>1<br>2 | Tran<br>sm<br>issi<br>on | Nabinagar-<br>Sasaram             | India            | 400 | 36,7 | 36,7 | 0,0   | 0      | 14 | 14 | 0 | 0 | 91,7  | 91,7  |



|   |     |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
|---|-----|--------------------|--------|-----|------|-------|------|-------|----|----|---|---|-------|-------|--|
| 2 | Tr  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 0 | ns  | Parker to Everman  | United | 345 | 31,4 | 31,4  | 0,0  | 0     | 11 | 11 | 0 | 0 | 91,1  | 91,1  |  |
| 1 | sm  | Line               | States |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 3 | iss |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
|   | on  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 2 | Tr  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 0 | ns  | Killeen - Salado   | United | 345 | 6,3  | 6,3   | 0,0  | 0     | 11 | 11 | 0 | 0 | 18,2  | 18,2  |  |
| 1 | sm  |                    | States |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 3 | iss |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
|   | on  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 2 | Tr  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 0 | ns  | Antelope to Pardee | United | 500 | 92,2 | 106,9 | 14,7 | 15,91 |    |    |   |   | 213,8 | 184,4 |  |
| 0 | sm  |                    | States |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
| 7 | iss |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |
|   | on  |                    |        |     |      |       |      |       |    |    |   |   |       |       |  |