UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PATRÍCIA ASFOR PARENTE

ANÁLISE DO CENÁRIO GLOBAL POLÍTICO-ECONÔMICO DO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COM FOCO NAS FONTES SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA (2010 – 2016)

FORTALEZA

2018

PATRÍCIA ASFOR PARENTE

ANÁLISE DO CENÁRIO GLOBAL POLÍTICO-ECONÔMICO DO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COM FOCO NAS FONTES SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA (2010 – 2016)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Processo, equipamentos e sistemas para energias renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P252a Parente, Patrícia Asfor.
Análise do cenário global político-econômico do setor de energias renováveis com foco nas fontes solar fotovoltaica e eólica (2010 – 2016) / Patrícia Asfor Parente. – 2018.
56 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

1. Energias renováveis. 2. Macroeconomia. 3. Políticas energéticas. I. Título.

CDD 620.1

PATRÍCIA ASFOR PARENTE

ANÁLISE DO CENÁRIO GLOBAL POLÍTICO-ECONÔMICO DO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COM FOCO NAS TECNOLOGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA (2010 - 2016)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Aprovada em 19/02/2018

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof.ª Dra. Carla Freitas de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Aos meus pais, Anna Paula e Sérgio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus que apesar de todas as adversidades enfrentadas ao longo desses dois anos dedicados ao mestrado, me deu forças para seguir em frente e traçar novos planos e alcançar novos objetivos.

Ao meu orientador Nivaldo que me encorajou ao longo de toda minha jornada acadêmica desde a graduação.

Aos meus pais, Anna Paula e Sérgio, e meus irmãos, Nathalia e Fernando, que sempre me ensinaram e me mostraram o valor e a importância da educação e do conhecimento, e que em meio a tantas dificuldades e obstáculos sempre me deram suporte e confiança para que eu alcançasse meus objetivos.

Aos meus amigos que dividiram e vivenciaram comigo as alegrias, angustias e ansiedades ao longo desses dois anos de dedicação.

A todos os professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFC que se mostraram, antes de tudo, exemplos de educação e respeito comigo.

RESUMO

Nos últimos anos, as energias renováveis têm ganhado um maior destaque na matriz energética mundial. Essa expansão está acontecendo em um cenário onde as discussões associadas ao aquecimento global são crescentes. Desse modo, esse trabalho tem como objetivo a contextualização da expansão das novas energias renováveis no cenário global entre os anos de 2010 e 2016 bem como as perspectivas de redução de custos das fontes solar fotovoltaica e eólica. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica e coleta de dados para compreender as melhores práticas de incentivo as energias renováveis aplicadas no mundo. Nessa análise, pôde-se perceber que a implementação de políticas de suporte voltadas para as novas fontes renováveis de energia é essencial para que elas possam atender as crescentes demandas energéticas das sociedades. Entretanto, esses mecanismos de suporte estão sujeitos às mudanças e às fragilidades dos mercados econômicos. Devido a essas vulnerabilidades, entre os anos de 2010 e 2016, os investimentos em energias renováveis tiveram grandes variações que foram originadas tanto pelas instabilidades políticas quanto pela redução de custos das tecnologias eólica e solar fotovoltaica. A implementação de políticas de suporte em energias renováveis tem sido, portanto, o mecanismo que têm viabilizado a atuação dessas fontes no competitivo mercado energético. Com a análise do histórico de custos das fontes solar fotovoltaica e eólica, pôde-se perceber uma tendência decrescente de ambas fontes e é esperada que essa tendência seja mantida nos próximos anos. Com isso, cada setor da cadeia produtiva tem uma expectativa de impacto maior ou menor no custo final para uma dada tecnologia.

Palavras-chave: Energias renováveis; Macroeconomia; Políticas energéticas.

ABSTRACT

In recent years, renewable energies have gained a greater emphasis on the world energy matrix. This expansion is taking place in a scenario where discussions associated with the global warming are increasing. Thus, this study aims to contextualize the expansion of new renewable energies in the global scenario between the years 2010 and 2016, as well as the prospects of cost reduction for solar photovoltaic and wind technologies. For this, it was carried out a bibliographical review and data collection to understand the best practices of incentive to the renewable energies applied in the world. In this analysis, the implementation of support policies for new renewable energy sources becomes essential so that they can meet the growing energy demands of the societies. However, these support mechanisms are subject to the changes and weaknesses of the economic markets. Due to these vulnerabilities, between 2010 and 2016, investments in renewable energies had great variations that were caused by both the political instabilities and the cost reduction of wind and solar photovoltaic technologies. The implementation of support policies on renewable energy has been the engine that has enabled the performance of these technologies in the competitive energy market. With the analysis of the historical costs of solar photovoltaic and wind technologies, a downward trend of both technologies could be perceived and this trend is expected to be maintained in the coming years. Thus, each sector's chain of production has an expectation of greater or lesser impact on the final cost of a given technology.

Keywords: Renewable energies; Macroeconomics; Energy policies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico do histórico das emissões de CO_2 (1990 – 2016) 12
Figura 2 – Gráfico do consumo energético mundial e projeções 17
Figura 3 – Gráfico dos novos investimentos em energias renováveis por tecnologia..... 19
Figura 4 – Gráfico dos novos investimentos em energias renováveis por região geográfica .. 20
Figura 5 – Gráfico da capacidade instalada anualmente por tecnologia 20
Figura 6 – Gráfico da variação percentual anual do PIB..... 25
Figura 7 – Gráfico da taxa de inflação em porcentagem anual 26
Figura 8 – Gráfico da taxa de desemprego 27
Figura 9 – Mapa esquemático das políticas regulatórias adotadas mundialmente. 33
Figura 10 – LCOE dos projetos de energia solar fotovoltaica de 2014 – 2015..... 37
Figura 11 – LCOE dos empreendimentos de energia solar fotovoltaica..... 38
Figura 12 – Gráfico dos preços de módulos do tipo silício cristalino 39
Figura 13 – LCOE dos projetos de energia eólica de 2014 – 2015 42
Figura 14 – LCOE dos empreendimentos de energia eólica 43
Figura 15 – Histórico dos custos totais de instalação de projetos eólicos..... 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação de risco crédito para 2018 segundo S&P, Moody's e Fitch. 29
Tabela 2 – Histórico de novos investimentos em energias renováveis em USD bilhões.....52
Tabela 3 – Capacidade instalada anual em energias renováveis por tecnologia em MW.....53
Tabela 4 – Variação percentual anual do PIB 54
Tabela 5 – Taxa de inflação em porcentagem anual 54
Tabela 6 – Histórico da taxa de desemprego.....55
Tabela 7 – Classificação das notas de risco de crédito.....56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNEF	*Bloomberg New Energy Finance*
GEE	Gases de efeito estufa
GWEC	*Global Wind Energy Council*
IEA	*International Energy Agency*
IRENA	*International Renewable Energy Agency*
IEA	*U.S. Energy Information Administration*
IMF	*International Monetary Fund*
LOCE	*Levelized Cost of Electricity*
NDC	*Nationally Determined Contributions*
OECD	*Organization for Economic Co-Operation and Development*
REN21	*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*
WEC	*World Energy Council*
UNFCCC	*United Nations Framework Convention on Climate Change*

SUMÁRIO

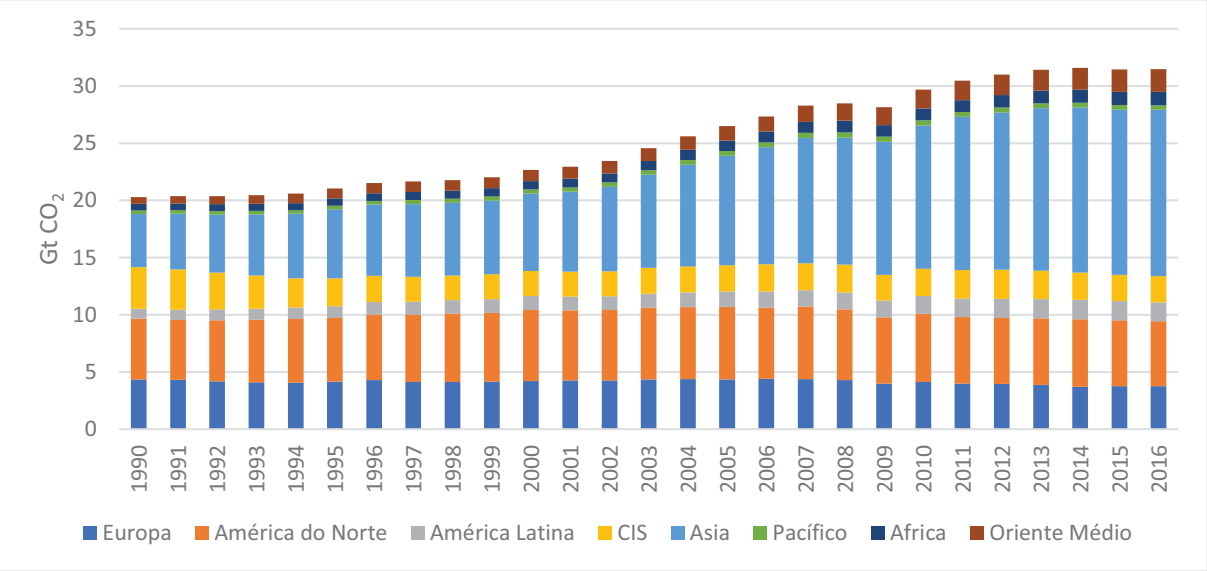
1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVO GERAL 15
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 16
4 REFERENCIAL TEÓRICO 17
4.1 Consumo energético 17
4.2 Contexto político-econômico 18
4.3 Investimento em energias renováveis (2010 – 2016) 19
5 ANÁLISE GLOBAL DE TENDÊNCIAS ECONÔMICAS 24
5.1 Produto Interno Bruto - PIB 24
5.2 Inflação 26
5.3 Taxa de desemprego 27
5.4 Avaliação de risco de crédito 28
6 METAS E POLÍTICAS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS 30
6.1 Metas em Energias Renováveis 30
6.1.1 Acordo de Paris 30
6.2 Políticas em Energias Renováveis 31
7 FATORES ECONÔMICOS E PERSPECTIVAS 35
7.1 Levelized Cost of Electricity – LCOE 35
7.2 Solar Fotovoltaica 36
7.3 Eólica 41
8. CONCLUSÃO 47
REFERÊNCIAS 49
APÊNDICE 52

1 INTRODUÇÃO

O mercado de energia elétrica tem passado por diversas mudanças relacionadas ao forte apelo mundial no que diz respeito, principalmente, ao aquecimento global, que está associado aos gases de efeito estufa (GEE). As emissões de CO_2 na atmosfera têm sido, portanto, um bom indicador a fim de quantificar e relacionar tais emissões com as gerações de energia que tem como base os combustíveis fósseis.

Na Figura 1, é apresentado o gráfico as emissões globais de CO_2, entre 1990 e 2016, para diferentes regiões do planeta (Europa, América do Norte, América Latina, CIS[1], Ásia, Pacífico, África e Oriente Médio). Nesse espaço temporal, foi registrado um aumento de 55% da quantidade de CO_2 emitida em giga toneladas (Gt) em 2016 quando comparado com 1990. Grande parte dessa contribuição tem sido proveniente da Ásia com a maior parcela originária da China, que, desde 2006, tornou-se o maior emissor de CO_2 do planeta, posição antes ocupada pelos Estados Unidos (ENERDATA, 2017).

Figura 1 – Gráfico do histórico das emissões de CO_2 (1990 – 2016)



Fonte: Enerdata (2017), Modificada pelo autor.

Entretanto, bem antes da década de 90 começaram a surgir preocupações acerca da poluição atmosférica, bem como da degradação do meio ambiente. Ambos resultados do uso extensivo dos recursos naturais pelo homem.

[1] *Commonwealth of Independent States (CIS)*. Formada por 11 países pertencentes à antiga União Soviética.

Em 1972, foi realizada em Estocolmo na Suécia, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano[2], mais conhecida como Conferência de Estocolmo. Esse evento pode ser apontado como um marco no que diz respeito ao desenvolvimento de políticas ambientais internacionais, sendo a primeira grande conferência internacional onde os chefes de estado se reuniram para tratar as questões ambientais evidenciadas na época (UNITED NATIONS, 2017).

Como resultado, foi elaborada a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano[3], onde foram delineadas algumas recomendações para os governos, mas sem qualquer comprometimento oficial dos países participantes (SENADO FERDERAL, 2012). Entretanto, tais ações não foram encabeçadas de forma adequada ao longo de duas décadas e apesar de algumas ações ambientais pontuais terem sido desenvolvidas, tais questões foram deixadas em um cenário secundário por parte dos governos.

Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro no Brasil a Rio-92. Essa conferência introduziu efetivamente o conceito de desenvolvimento sustentável nas discussões acerca da relação entre o ser humano e o meio ambiente (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2017). Ao final das reuniões, foram produzidos diversos documentos. Entre eles, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima[4] (UNFCCC, na sigla em inglês) e veio em resposta a crescente preocupação com as mudanças climáticas já observadas na época (SENADO FEDERAL, 2012).

Entretanto, foi só a partir de 1994, que a UNFCCC entrou em vigor com o objetivo principal de "estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera a níveis que seja evitado uma perigosa interferência antropogênica no sistema climático" (UNFCCC, 1992).

Dando sequência, em 1997, em Kyoto no Japão, foi firmado um outro acordo internacional, conhecido como Protocolo de Kyoto, reiterando o comprometimento dos países, principalmente daqueles tidos como desenvolvidos, em estabelecer metas para a redução das emissões de GEE. Entretanto, tal acordo só entrou em vigor em 2005 com as ações programadas com início apenas em 2008 (UNFCCC, 2017).

Sendo assim, pôde-se perceber que até o final do século XX não foram tomadas ações realmente efetivas relacionadas ao aumento das emissões de GEE a nível mundial. Por outro lado, temas associados às mudanças climáticas no planeta passaram a ganhar mais força

---

[2] *United Nations Conference on the Human Environment.*
[3] *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment.*
[4] *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).*

tanto no cenário social quanto no político-econômico ao longo da primeira década do século XXI.

Dessa forma, as fontes mais tradicionais de geração de energia via combustíveis fósseis se tornaram o principal alvo de críticas mundiais relacionadas ao presente tema. Ao passo que, as fontes renováveis passaram a ganhar maior destaque mundialmente por serem tidas como uma boa alternativa para mitigar os danos causados pelo aumento das emissões de GEE. Entretanto, inicialmente, elas não possuíam, para os agentes atuantes no mercado energético, uma atratividade econômica quando comparadas com as fontes energéticas tradicionais.

Tendo em vista essa problemática, o presente trabalho busca realizar um estudo da inserção das fontes renováveis no mercado energético mundial e para essa contextualização, faz-se necessário considerar, além das energias renováveis, as questões políticas e econômicas que influenciam nesse processo.

Dessa forma, esse estudo foi dividido em quatro capítulos. O primeiro abordando um referencial teórico levando em consideração o consumo energético mundial, o contexto político-econômico aplicado às fontes alternativas de energia e o histórico de investimentos nesse setor entre os anos de 2010 e 2016, além de evidenciar os principais acontecimentos ao longo desse período.

O segundo capítulo é voltado para a análise econômica, focando na comparação de quatro indicadores macroeconômicos. O terceiro aborda as metas e as políticas de suporte voltadas para as fontes renováveis de energia que vêm impulsionando-as no mercado energético. Por fim, o quarto capítulo é composto pelos históricos dos custos das fontes solar fotovoltaica e eólica além das perspectivas dos custos setoriais de ambas fontes.

2 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo geral contextualizar o cenário global que vem permitindo o desenvolvimento e a inserção das energias renováveis no mercado energético com foco no período entre 2010 e 2016.

Além disso, pretende-se avaliar o histórico dos custos das fontes solar fotovoltaica e eólica e suas expectativas de redução para um futuro próximo.

3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Para alcançar os objetivos estipulados nesse trabalho, a pesquisa e revisão bibliográfica foram indispensáveis. Portanto, esse estudo foi ancorado na coleta de dados e relatórios disponibilizados pelas principais agencias energéticas e organizações internacionais como *U.S. Energy Information Administration* (EIA), *Enerdata*, *International Energy Agency* (IEA), *International Renewable Energy Agency* (IRENA), *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) e a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Além de alguns artigos científicos relacionados ao presente tema. Para os dados relacionados às questões econômicas, esses dados foram obtidos através de consulta em algumas agências econômicas como a *International Monetary Fund* (IMF), *Trading Economics* e *Country Economy*.

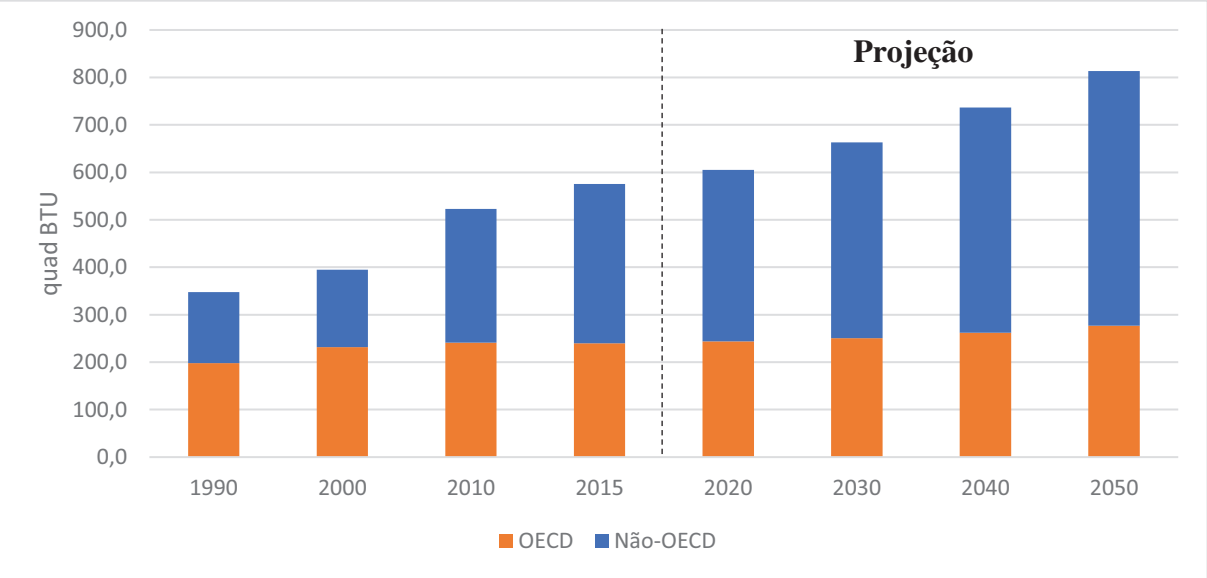
4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Consumo energético

Ao realizar um estudo energético de um setor ou de uma sociedade como um todo, é muito importante estar atento às questões do consumo de energia, pois esse é um dos pontos essenciais para realizar um estudo adequado das futuras demandas energéticas. Para isso, uma nação deve estar ciente da disponibilidade de suas fontes para geração de energia, levando em consideração os possíveis impactos ambientais para o planeta.

É esperado que o consumo energético mundial continue a aumentar nos próximos anos. A Figura 2 apresenta o gráfico do histórico do consumo energético mundial dividido em dois grupos. O primeiro grupo é composto pelos países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico[5] (OECD, na sigla em inglês) e o segundo engloba todos os outros que não são membros dessa organização (Não-OECD).

Figura 2 – Gráfico do consumo energético mundial e projeções



Fonte: U.S. EIA (2017), Modificada pelo autor.

As projeções apresentadas no gráfico para as próximas décadas apontam um aumento de 5,1%, 15,3%, 28,0% e 41,4% em relação ao ano de 2015 para os respectivos anos de 2020, 2030, 2040 e 2050, evidenciando um aumento bastante acentuado, principalmente, para o grupo de países não membros (não-OECD).

[5] *Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD).* Organização formada por 35 países.

Para atender o crescente consumo energético previsto, as fontes energéticas mais tradicionais, que incluem os combustíveis fósseis, deverão suprir uma grande parcela dessa demanda, a menos que seja feito com que alternativas mais limpas e renováveis se tornem mais atraentes para complementá-las ou até substituí-las. Portanto, evitar danos ainda maiores ao nosso planeta é essencial para desenvolver um ambiente com baixo carbono associado a um extensivo recurso energético sustentável.

4.2 Contexto político-econômico

Apesar dos governos iniciarem as políticas de suporte através dos processos de incentivos fiscais, mecanismos de financiamento e subsídios, os governos por si só não conseguem atingir o montante necessário em investimentos para que as novas fontes alternativas de energias venham cumprir as metas estabelecidas de emissões de GEE (WÜSTENHAGEN; MENICHETTI, 2012). Posto isso, as iniciativas governamentais, públicas, privadas e os investidores institucionais acabam por desempenharem papéis importantíssimos para atingir um futuro desenvolvimento sustentável.

Anteriormente, os instrumentos mais comuns utilizados para promover o desenvolvimento em energias renováveis foram as políticas de penalidades e os esquemas de recompensas. Entretanto, esses esquemas não estão alinhados com os interesses comerciais dos investidores bem como as diferentes motivações para o desenvolvimento em energias renováveis (TANG; CHIARA; TAYLOR, 2012).

A crise econômica mundial de 2008, por exemplo, representou um bom momento para evidenciar as fragilidades dos mercados econômicos existentes. Como consequência, em 2009, diversos governos europeus anunciaram cortes de incentivos para energia solar devido a recessão econômica naquela época (BNEF, 2010). Ao final de 2011, a crise da dívida europeia começou a espalhar-se, tendo os seus reflexos sentidos nos anos posteriores em diversos setores, inclusive no de investimento em novas fontes alternativas de energia. O financiamento para projetos de energias renováveis na Europa, por exemplo, foi drasticamente diminuído à medida que os bancos tiveram de atualizar suas avaliações dos riscos envolvidos nas concessões de empréstimos para os devedores do Sul da Europa e em outros países afetados (BNEF, 2012).

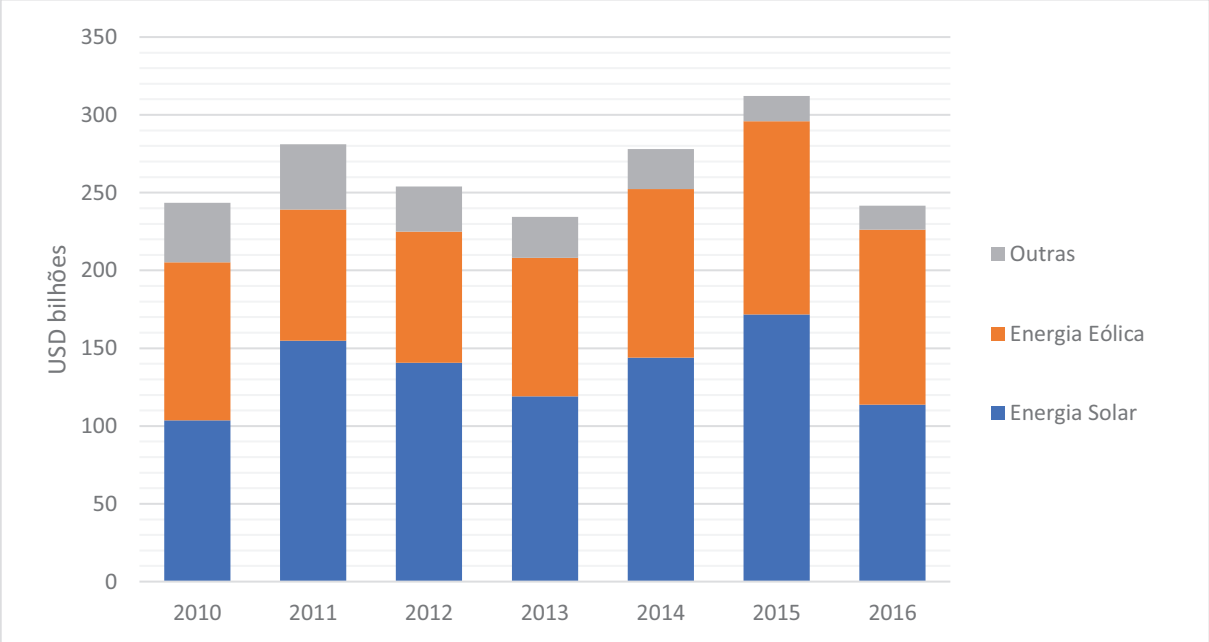
É, portanto, extremamente importante a implementação de uma boa estratégia para criar um ambiente economicamente robusto para governos, investidores e o público. Se, de um lado, o governo pode atrair mais investimentos estrangeiros, reduzindo suas despesas e melhorando o planejamento do orçamento, do outro, investidores preferem o melhor perfil de

investimento de risco-recompensa e o público prefere uma melhoria do bem-estar social (LEE; ZHONG, 2014).

4.3 Investimento em energias renováveis (2010 – 2016)

Na Figura 3, estão apresentados os investimentos em energias renováveis por tecnologia de 2010 a 2016. Pode-se perceber que as fontes solar e eólica são as que possuem os maiores investimentos no setor, ao passo que as outras fontes que englobam biomassa, geotérmica, biocombustíveis, marinha e pequenas hidrelétricas reduziu em participação. Vale ressaltar que os investimentos em hidrelétricas de grande porte não foram contabilizados nessa análise.

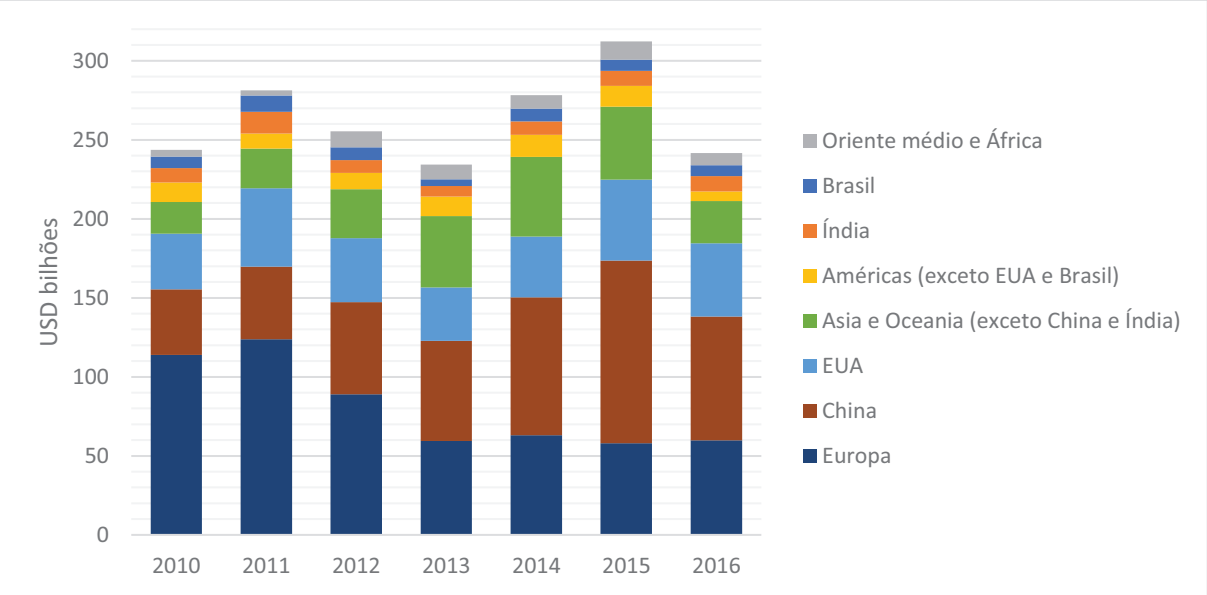
Figura 3 – Gráfico dos novos investimentos em energias renováveis por tecnologia



Fonte: BNEF (2017); IRENA (2017), Modificada pelo autor.

Na Figura 4, o histórico de investimentos está apresentado por região geográfica. Atualmente, a China é o país que possui os maiores investimentos a nível mundial nesse setor, contando com 32,4% do montante mundial. Já os investimentos na Europa foram reduzidos ao longo dos anos, quando comparados com os valores dos anos de 2010, 2011 e 2012, chegando a uma marca de 24,8% dos investimentos mundiais. Tal fato teve como uma de suas causas a redução dos custos das fontes de energias renováveis nessa região.

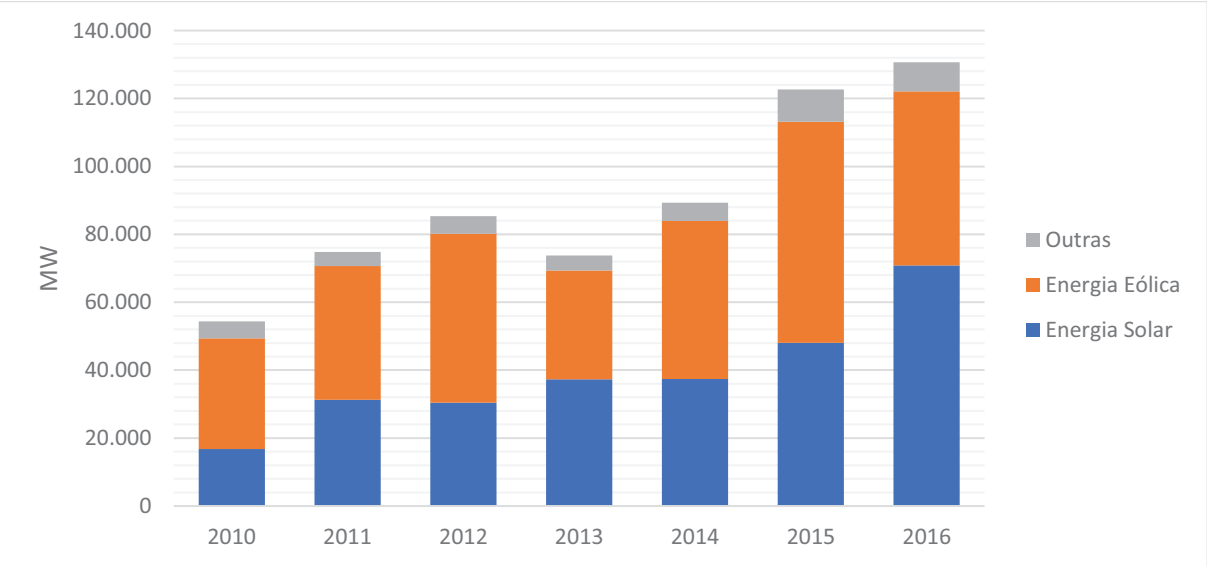
Figura 4 – Gráfico dos novos investimentos em energias renováveis por região geográfica



Fonte: BNEF (2017); IRENA (2017), Modificada pelo autor.

Na Figura 5, é mostrado o balanço anual de capacidade nova instalada de energias renováveis. No setor de energia solar, a capacidade instalada no ano de 2016 foi recorde com 70,8 GW instalados. Para a fonte eólica, houve uma redução de 22% quando comparado com o ano de 2015. Em relação às outras fontes energéticas, pode-se perceber que apesar dos investimentos terem sido reduzidos nos anos de 2015 e 2016, a capacidade instalada dessas fontes aumentou em relação aos anos anteriores.

Figura 5 – Gráfico da capacidade instalada anualmente por tecnologia



Fonte: BNEF (2017); IRENA (2017), Modificada pelo autor.

Em 2010, os investimentos globais em energias renováveis ficaram na ordem de $243,6 bilhões de dólares, sendo impulsionados principalmente pelo setor eólico na China e

pelas instalações fotovoltaicas de pequena escala na Europa, que ganhou grandes subsídios em alguns países europeus. Foi nesse mesmo ano que, pela primeira vez, os investimentos provenientes de países em desenvolvimento ultrapassaram aqueles realizados pelos países ditos desenvolvidos. Esse ineditismo contou com forte participação da China, com 17% dos investimentos mundiais, tornando-se líder em termos financeiros de novos investimentos em energias renováveis (BNEF, 2011).

Em 2011, um novo recorde de investimentos globais foi alcançado, $281,2 bilhões de dólares. Um dos grandes atrativos para o crescimento mundial do setor residiu na diminuição dos custos da tecnologia. O ano de 2011 foi, portanto, decisivo para o setor de energias renováveis, pois foi constatado que os investimentos em fontes mais limpas para geração de energia poderiam, de fato, ter um papel fundamental na redução global de emissões de carbono a preços mais competitivos no mercado energético. Desse modo, a mudança de foco no setor renovável foi essencial para que o mesmo conquistasse gradativamente seu espaço no cenário mundial, contando com 44% de capacidade nova instalada e 6% da energia gerada mundialmente proveniente de novas fontes renováveis nesse ano. Entretanto, ao final de 2011, a crise financeira europeia forçou os bancos a diminuírem seus financiamentos, levando a procura de outras fontes de investimento para o setor de energias renováveis. (BNEF, 2012)

Em 2012, o investimento em energias renováveis foi de $255,5 bilhões de dólares. Essa redução de 27% foi consequência da instabilidade de políticas de suporte em energias renováveis dos países desenvolvidos, que teve início ao final de 2011. Entretanto, devido à redução dos preços e dos custos de painéis fotovoltaicos, a utilização desse tipo de tecnologia foi aumentando no ramo de pequena escala residencial. Dessa forma, o ano de 2012 foi recorde de capacidade instalada na modalidade residencial no sul da Europa, com uma marca de 30,5 GW de capacidade instalada nesse ano. Entretanto, ainda devido à crise financeira, o ano de 2012 não apresentou o desempenho esperado e impactou de forma direta no setor produtivo de larga escala. O mau funcionamento da cadeia de suprimentos nos setores solar e eólico foi causado tanto pela sobre capacidade quanto pela inquietação dos investidores sobre as perspectivas em relação aos movimentos políticos presentes na Europa e na América do Norte. Posto isso, esse ano foi marcado por tendências contrastantes. Se por um lado o setor de pequena escala residencial foi promissor, por outro os investimentos em energias renováveis por parte de empresas atuantes no mercado público sofreram uma grande queda (BNEF, 2013).

O ano de 2013 seguiu com continuas quedas no setor, com a marca de $234,5 bilhões de dólares investidos mundialmente. Esse cenário foi reflexo tanto da acentuada queda

de preço dos sistemas solares quanto das incertezas políticas de vários países. Devido à grande redução dos preços no setor de sistemas fotovoltaico, foi possível aumentar a capacidade instalada, em relação ao ano anterior, por um preço menor. Dessa forma, foi proporcionado para o mercado eólico *onshore* e para os projetos fotovoltaicos a construção crescente de novos empreendimentos sem a necessidade de subsídios. Apesar da queda nos investimentos de pouco mais de 8% em relação a 2012, as energias renováveis contaram com 43,6% capacidade nova instalada mundialmente, aumentando sua contribuição na geração mundial de energia elétrica de 7,8% para 8,5% (BNEF, 2014).

Em 2014, o cenário econômico para investimentos apresentou uma melhora em comparação com os anos anteriores, com um crescimento de 18,7% em relação ao ano anterior e $278,2 bilhões de dólares investidos. O ano de 2014 foi marcado pelo grande crescimento do setor solar da China e do Japão e pelos de novos investimentos em projetos de energia eólica offshore realizados na Europa. Apesar dos investimentos terem sido menores que em 2011, a capacidade instalada foi recorde, com quase 90 GW, e os setores de energia eólica e solar com participações de 51% e 42% respectivamente. Sendo assim, os desafios enfrentados ao longo desse ano foram associados às incertezas dos mercados econômicos dos Estados Unidos e do Reino Unido, aos retrocessos econômicos como ocorrido na Itália e às preocupações acerca das conexões à rede de sistemas solares de pequena escala como no Japão e em alguns estados dos Estados Unidos (BNEF, 2015).

Em 2015, os investimentos em energias renováveis cresceram 12,2% em relação a 2014, atingindo um novo recorde de $312,2 bilhões de dólares. Vale ressaltar que esse crescimento ocorreu em um cenário onde foram registradas quedas acentuadas nos preços de petróleo, carvão e gás no intuito de proteger suas posições no competitivo mercado de energético. Nesse ano, as novas instalações eólicas e solares fotovoltaicas tiveram um papel bastante significativo, com 113 GW de capacidade nova instalada mundialmente, uma marca de 53,6% do montante mundial adicionado pelas fontes renováveis. O maior destaque pode ser dado para a China, onde sua representatividade contou com 37% de todo o investimento mundial no setor. (BNEF, 2016).

Em 2016, os novos investimentos mundiais no setor caíram 22,6% em relação a 2015. Entretanto, a capacidade instalada de fontes renováveis foi recorde, 130,7 GW, 55% da capacidade instalada mundial em 2016. Posto isso, a redução dos investimentos associada à capacidade instalada recorde pode ser atribuída à diminuição dos custos das fontes solar fotovoltaica e eólica (*onshore* e *offshore*) e ao aumento da competitividade nesses mercados.

Por outro lado, tal queda também foi consequência da desaceleração de mercados como no Japão e em alguns países emergentes, principalmente, a China, que reduziu seus novos investimentos em 32%. Vale ressaltar que os diversos leilões tanto de energia solar fotovoltaica quanto de energia eólica alcançaram preço que seriam considerados impraticáveis no mercado energético até poucos anos atrás. Por fim, apesar do ano ter contado com uma grande queda nos novos investimentos, o mercado de transações aumentou 17% comparando com 2015 ($110,3 bilhões em 2016), onde são contabilizadas, por exemplo, aquisições e refinanciamento de projetos, bem como a comercialização de ativos e dívidas entre corporações (BNEF, 2017).

Dessa forma, pode-se observar que os novos investimentos mundiais em energias renováveis apresentaram taxas que oscilaram ao longo dos últimos 7 anos e que essas variações acabam sendo provenientes, principalmente, das decisões políticas de governos associada às especulações econômicas de um mercado relativamente novo, que ainda se encontra em estágio de maturação, e vem buscando, a cada ano, uma maior representatividade no cenário energético mundial.

Para um maior detalhamento, encontram-se os dados históricos de 2010 a 2016 na tabela 2 do Apêndice dos investimentos no setor de energias renováveis para três níveis: cadeia de valor; região; e tecnologia.

5 ANÁLISE GLOBAL DE TENDÊNCIAS ECONÔMICAS

Esse capítulo busca realizar uma análise comparativa de alguns indicadores macroeconômicos, pois essas são algumas das informações que geram as expectativas de mercado de países ou grupos econômicos. Essa etapa de contextualização é, portanto, uma boa forma de compreender o cenário político-econômico que o investidor pretende atuar.

Vale ressaltar que informações relacionadas ao conhecimento geográfico e ao ambiente político e comercial locais são extremamente importantes, pois a soma desses dados auxilia na identificação de grupos ou países que apresentem as melhores oportunidades ou a capacidade um de país possuir desempenho superior a outros.

De um modo geral, ao procurar um ambiente para aplicar seus investimentos, os investidores procuram obter informações e estudar acerca da estabilidade da economia local. Para isso, alguns indicadores econômicos podem ser levados em consideração. Nesse estudo, foram analisados os seguintes indicadores:

- Produto Interno Bruto – PIB;
- Inflação;
- Taxa de desemprego;
- Classificação de risco de crédito.

5.1 Produto Interno Bruto - PIB

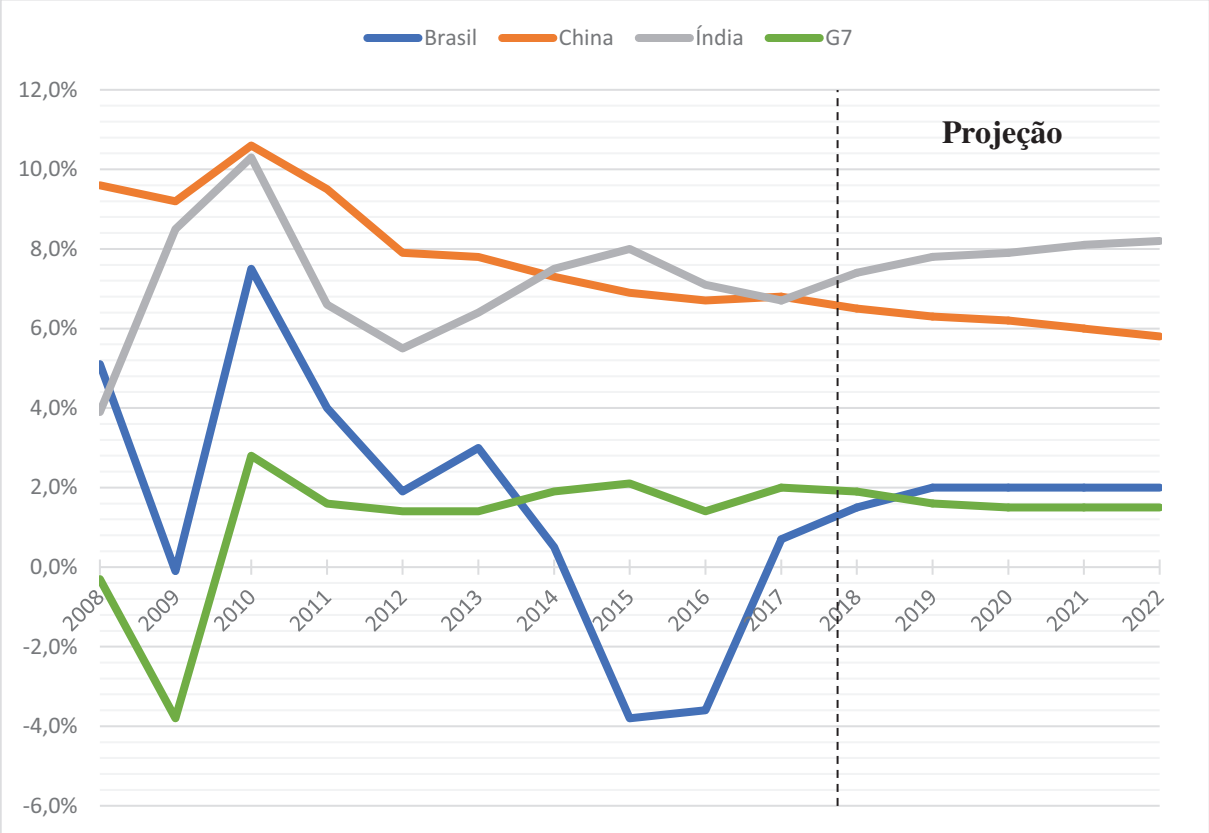
O PIB é um indicador que mede a atividade econômica de um país. Nele são contabilizados os valores finais de todos os bens e serviços que são produzidos e comercializados para um dado período temporal. Por outro lado, o crescimento do PIB mede o quão rápido a economia de um país cresce. Em 2016, os investimentos no setor de energia foram responsáveis por 2,2% do PIB mundial ($ 1,7 trilhões de dólares) (IEA, 2017).

Na Figura 6, é apresentada o gráfico do histórico da variação percentual anual do PIB de 2008 a 2017 e suas projeções até 2022 para o Brasil, a China, a Índia e o G7[6]. Nesse gráfico, é possível observar a crise mundial sendo retratada pelo declínio acentuado do PIB ao longo do ano de 2008 recuperando-se a partir de 2009. Diferentemente, do G7, a China e a Índia, que vinham apresentando um crescimento constantemente forte, tiveram suas taxas

[6] Grupo composto pelas sete maiores economias mundiais (Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido).

reduzidas, a partir de 2010, mas a valores ainda considerados bem expressivos na economia mundial. O Brasil, que vinha apresentando resultados satisfatórios até 2013, em 2014 e, principalmente, em 2015 e 2016 viu seus piores índices desde a década de 90.

Figura 6 – Gráfico da variação percentual anual do PIB



Fonte: IMF (2017a), Modificada pelo autor.

Ainda na Figura 6, é indicado os valores previstos para os próximos anos até 2022. Nesse contexto, é esperado que crescimento percentual do Brasil aumente mantenha-se próximo dos 2%. Para a China, é esperado que continue a tendência decrescente observada desde 2011. A Índia, que veio mostrando fortes índices, deve aumentar seu crescimento gradativamente ao longo dos próximos 5 anos. Já o grupo econômico G7 deve se manter economicamente equilibrado, evidenciando a estabilidade econômica desses países.

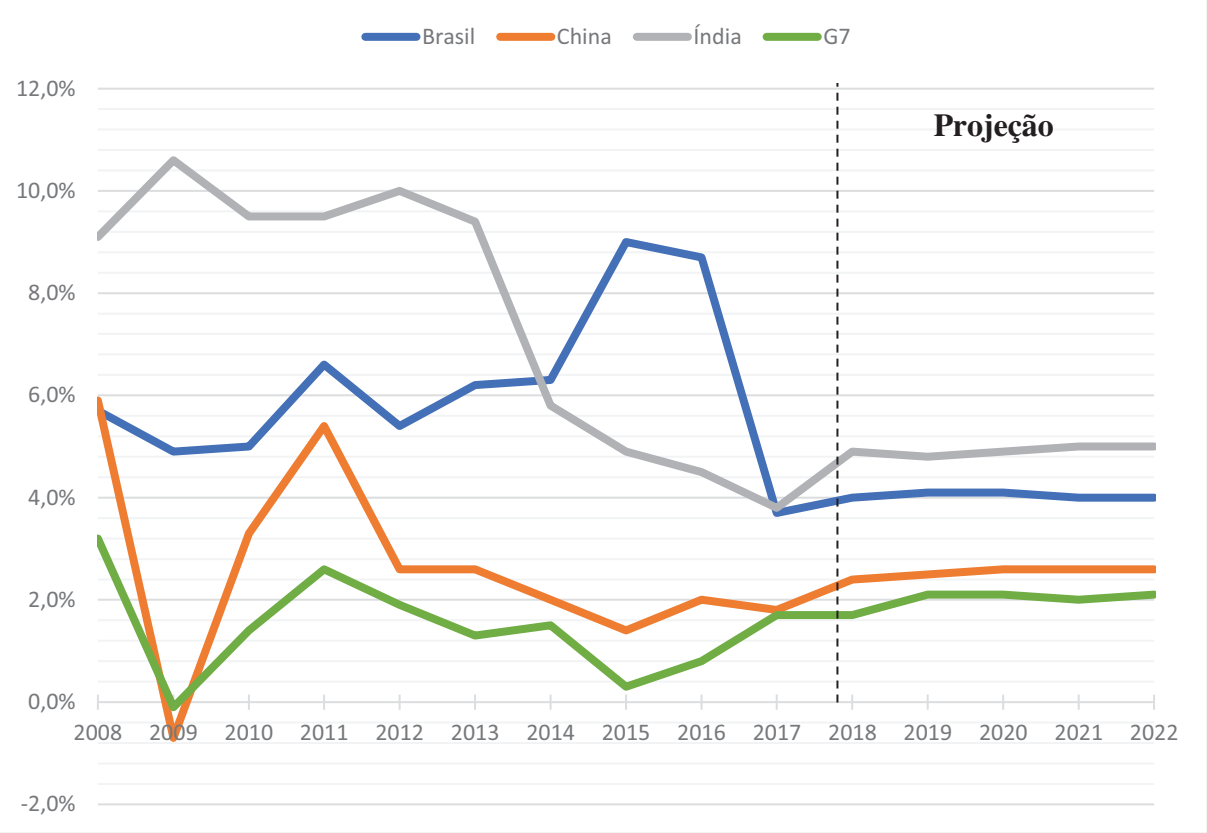
Posto isso, ao analisar um local para investir em energias renováveis, é provável que o investidor procure um país onde o PIB e sua taxa de crescimento seja mais forte. Sendo assim, esse é um dos motivos que justificam os significativos investimentos em energias renováveis na China nos últimos anos, que contou com um crescimento médio percentual do PIB ao longo da última década de 8,9%.

5.2 Inflação

Outro importante indicador é a inflação de um país. Ela mostra o nível de preço geral de bens e serviços de uma economia ao longo de um período temporal. A maioria dos economistas são a favor de uma taxa de inflação baixa e constante, pois uma alta taxa de inflação ou deflação pode ameaçar a economia através da perda do poder aquisitivo da moeda.

Na Figura 7, estão apresentadas o histórico das taxas de inflação de 2008 a 2017 estabelecidas por algumas economias mundiais, bem como as projeções de 2018 a 2022. Nele, pode-se perceber a instabilidade econômica da Índia e do Brasil, que a partir de 2014 teve seus índices elevados a taxas acima de 8,5%. Entretanto, é esperado que a inflação no Brasil seja reduzida e estabilizada em 4% nos próximos anos. A Índia, que apresentou taxas bem elevadas (acima de 9%) em anos anteriores, espera alcançar uma taxa estabilizada em 5% ao ano. A China, que tem apresentado algumas oscilações, deve passar por um leve crescimento percentual nos próximos anos devido à desaceleração da economia local já prevista, mas sem ultrapassar a marca de 3%. Quanto ao G7 é esperado que a taxa de inflação fique por volta de 2%, reforçando a relativa estabilidade econômica dos países participantes do grupo.

Figura 7 – Gráfico da taxa de inflação em porcentagem anual

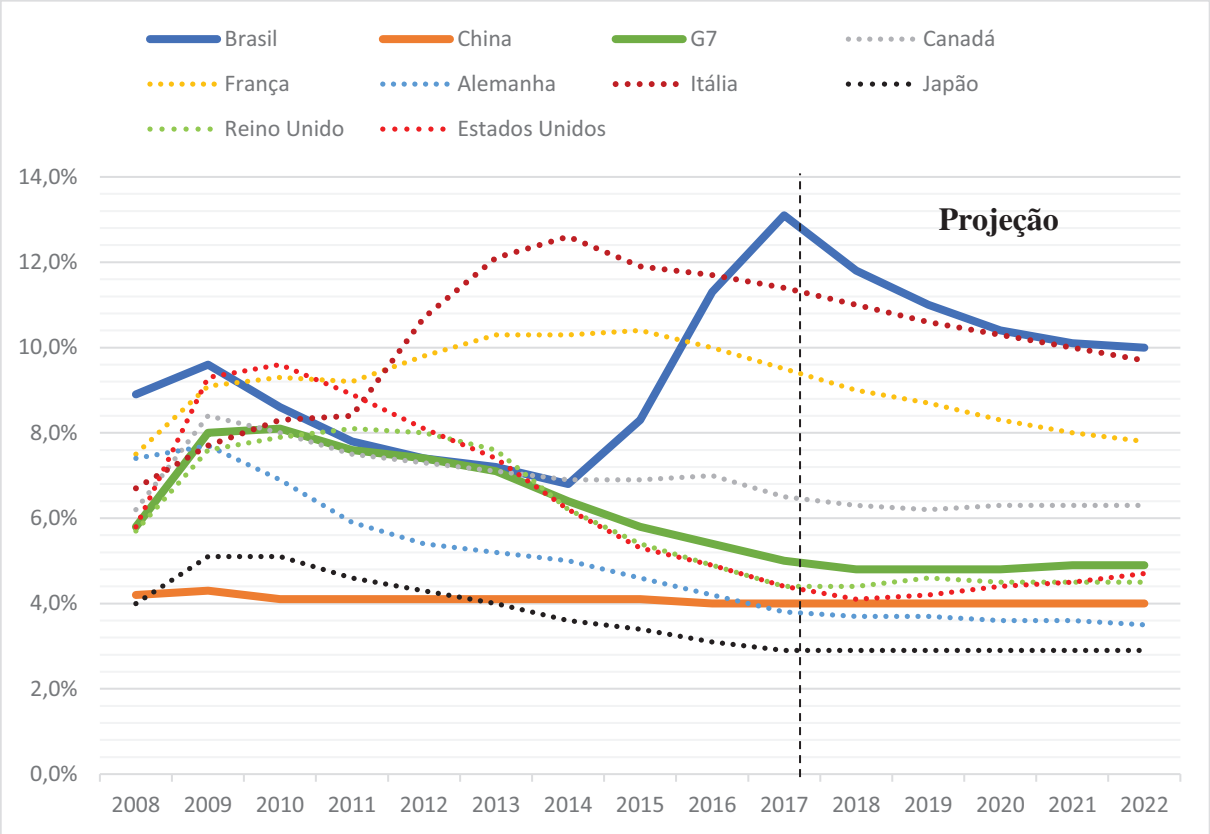


Fonte: IMF (2017b), Modificada pelo autor.

5.3 Taxa de desemprego

A taxa de desemprego é outro fator que reflete a economia de um país. Ela mede os efeitos dos eventos econômicos, sendo um poderoso reflexo do que outros indicadores mostram. O Gráfico 8 mostra a taxa desemprego de diferentes países com suas variações e tendências de 2008 até 2022.

Figura 8 – Gráfico da taxa de desemprego



Fonte: IMF (2017c), Modificada pelo autor.

O Brasil que historicamente apresenta elevadas taxas de desemprego, vinha com uma tendência decrescente desde 2009, mas teve seu indicador registrando um forte aumento em 2015 devido a maior recessão econômica já registrada na história do país. Essa recessão foi consequência tanto da crise econômica quanto da crise política que o país vem enfrentando ao longo dos últimos anos. A expectativa é que a economia nacional se recupere nos próximos anos, mas suas taxas devem permanecer por volta de 10%.

A China se mostrou constante ao longo dos anos com índices um pouco acima de 4% e é esperado que essa tendência seja mantida até 2022. Os dados da Índia não foram disponibilizados.

As taxas do G7 foram desmembradas por país, pois, apesar de formarem as sete maiores economias do mundo, seus valores são bastante contrastantes. A Itália vem apresentando taxa elevadas desde 2012 (acima de 10%), seguida pela França. O Canadá tem registrado taxas próximas a marca de 7%. Os Estados Unidos e o Reino Unido passaram os últimos anos com números e tendências semelhantes próximas a 5% em 2016. A Alemanha vem conseguindo reduzir a taxa de desemprego desde 2010, logo após a crise financeira mundial, e, atualmente, possui uma taxa de desemprego próxima a 4% com previsão de estabilidade em 3,5%. Finalmente, o Japão vem apresentando a menor taxa desde 2013 e projeção para não mais que 3% até 2022.

5.4 Avaliação de risco de crédito

A classificação de risco de crédito, último indicador a ser avaliado, também possui uma grande importância e é realizada por agências de classificação de risco especializadas e independentes como *Fitch, Moody's* e *Standard & Poor's (S&P)*, por exemplo.

Essas agências avaliam tanto o risco econômico quanto o risco político do país. O primeiro está relacionado à medição da capacidade nacional em pagar a sua obrigação de dívida, enquanto o segundo está associado à disposição para tal. Após considerar as perspectivas de crescimento econômico, padrão de vida, taxa de inflação, nível de renda, força da moeda e estabilidade política, as agências atribuem uma avaliação de crédito e suas respectivas previsões.

Com isso, a avaliação do risco de crédito de um país é uma das formas de supervisionar um país no campo do investimento. A Tabela 1 apresenta a avaliação de risco de crédito para alguns países. O cenário positivo indica que o país está experimentando uma tendência financeira e econômica favorável. Se essa tendência continua, o país possui uma boa possibilidade de ter sua avaliação atualizada e melhorada. Caso contrário, um cenário negativo indica que o país está tendo uma tendência financeira e econômica desfavorável. Se essa tendência persistir, poderá ocorrer um rebaixamento na avaliação. Um cenário estável significa que o país está experimentando uma economia estável. No Apêndice encontra-se a Tabela 6 com a classificação explicativa das notas de risco de crédito.

Dessa forma, uma melhoria na avaliação do crédito irá diminuir os custos de empréstimos o que pode melhorar a situação financeira assim como a econômica. Sendo assim, um rebaixamento pode contar com a possibilidade de aumento dos custos de empréstimos o que pode dificultar os investimentos realizados naquele país.

Tabela 1 – Avaliação de risco crédito para 2018 segundo S&P, Moody's e Fitch.

País		S&P	Moody's	Fitch
	Brasil	BB -	Ba2 ↓	BB ↓
	China	A+	A1	A+
	Índia	BBB -	Baa2	BBB -
G7	**Alemanha**	AAA	Aaa	AAA
	Canadá	AAA	Aaa	AAA
	França	AA	Aa2	AA
	Itália	BBB	Baa2 ↓	BBB
	Japão	A+	A1	A
	Reino Unido	AA ↓	Aa2	AA ↓
	Estados Unidos	AA+	Aaa	AAA

Fonte: Trading Economics (2018); Country Economy (2018)

A Alemanha e o Canadá apresentam as melhores classificações entre os países analisados, seguida pelo Estado Unidos com perspectiva econômica estável. A França e o Reino Unido possuem uma classificação alta, mas com perspectiva econômica diferentes. A França com uma perspectiva estável e o Reino Unido com uma projeção parcialmente negativa. A China e o Japão possuem avaliações semelhantes com uma nota média alta e perspectiva parcialmente positiva. A Itália e a Índia apresentam perspectivas parcialmente estáveis e possuem notas média-baixas. Por último, o Brasil é classificado, atualmente, com uma nota de não-investimento especulativo para um cenário negativo e, portanto, não está enquadrado no grupo de investimento. Vale ressaltar que em 2014, início da recessão, sua classificação era média baixa e teve suas classificações revistas e rebaixadas pelas três agências ao longo dos últimos anos em consequência de uma das maiores recessões da sua história e de especulações no cenário político do país.

6 METAS E POLÍTICAS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Após analisar os índices macroeconômicos, é de grande importância analisar as questões que podem vir a viabilizar a utilização de diferentes tipos de fontes renováveis na matriz energética de um país.

Para isso, as seguintes seções apresentam questões relacionadas aos interesses de utilização de fontes energéticas mais sustentáveis e às diferentes políticas adotadas mundialmente na atualidade. Por fim, serão levadas em consideração uma breve análise econômica dos custos de energia solar fotovoltaica e energia eólica.

6.1 Metas em Energias Renováveis

As metas em energias renováveis podem assumir diversas formas para os diferentes países. Entretanto, todas elas representam, de alguma maneira, o comprometimento daquela nação em relação às questões ambientais. O controle das emissões de GEE, por exemplo, é uma dessas ações. Essas metas podem ser estabelecidas de diversas formas, sendo mais ou menos ambiciosas ou de curto a longo prazo. Elas também podem atuar tanto no cenário estadual, regional ou nacional de um país, bem como nos diferentes setores de energias renováveis: geração de energia; aquecimento e resfriamento; e transporte. Entretanto, nesse trabalho, serão abordadas apenas as diferentes questões do setor de geração de energia adotadas pelos países.

Em sequência, o Acordo de Paris será brevemente descrito já que sua realização foi de uma importância fundamental para fomentar essas questões ambientais e, principalmente, as questões climáticas que foram levantadas pela comunidade científica ao longo dos anos.

6.1.1 Acordo de Paris

Ao final de 2015, a 21ª Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC, realizada em Paris, teve como uma de principais metas estabelecer um acordo mundial envolvendo a princípio 195 países e tem como um de seus objetivos:

> Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo dos 2ºC acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5ºC acima dos níveis pré-industriais,

reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos das mudanças climáticas. (UNFCCC, 2015).

Para que os objetivos sejam alcançados, foi adotada uma abordagem *bottom-up* em que os países delinearam seus próprios compromissos no que foi chamado de Contribuições Nacionalmente Determinadas[7] (NDCs, na sigla em inglês), onde foram apresentadas as contribuições de cada país para diminuir as emissões de GEE respeitando os cenários socioeconômico de cada região ou nação.

Apesar dos compromissos de NDCs apresentados pelos países incluírem diferentes setores da economia, todos eles evidenciaram que a adoção de tecnologias de energia renovável é uma ferramenta bastante eficaz para alcançar os objetivos propostos pelo Acordo de Paris. Posto isso, futuras metas podem ser delineadas tomando como referência os modelos sustentáveis já adotados nos últimos anos por algumas nações (REN21, 2016).

Mesmo que essas metas estabelecidas sejam uma importante ferramenta de propagação de ideias e do comprometimento das nações perante às questões ambientais já evidenciadas, elas por si só não são garantias de sucesso ou cumprimento. Portanto, muitos países em desenvolvimento enfatizaram a necessidade de ajuda financeira internacional como condicional para o cumprimento das metas propostas.

Atualmente, o Acordo de Paris conta com o compromisso de 173 países e assinatura de 197 nações. A Nicarágua e a Síria, que até então eram os únicos países que não haviam assinado o acordo, confirmaram suas participações ao final do segundo semestre de 2017. Já, os Estados Unidos, que, atualmente, são o segundo maior emissor de CO_2 no mundo, anunciaram sua saída do acordo em julho de 2017 alegando divergências de interesses do atual governo. O presidente do país justificou que o tratado não era vantajoso para a economia norte americana, impactando com um custo de $ 3 trilhões de dólares em PIB e perda de mais de 6 milhões de empregos associados à indústria do carvão (THE GUARDIAN, 2017).

6.2 Políticas em Energias Renováveis

Tendo em vista o cumprimento das metas delineadas pelos países, faz-se necessário a criação de políticas atuantes nessa área, pois serão através delas onde as ações adequadas serão fomentadas a fim de que as mudanças propostas ocorram de forma eficiente e no prazo estipulado.

---

[7] *Nationally Determined Contributions (NDC)*

Logo, no contexto de políticas aplicadas às energias renováveis, é fundamental ter em mente que a política e a economia estão interligadas. Portanto, as medidas políticas adotadas pelos governos sempre terão consequências diretas ou indiretas e positivas ou negativas sobre a economia de um país. Com isso, as políticas governamentais possuem um papel essencial sobre o setor de energias renováveis.

Apesar dos países e estados possuírem diferentes cenários políticos, um dos principais objetivos das gestões atuais é a diversificação da matriz de geração de energia elétrica. Essa diversificação é realizada por meio do aumento da participação das energias renováveis visando a redução da dependência em combustíveis fósseis e, consequentemente, a redução das emissões de carbono. Entretanto, é necessário que haja o aumento da competitividade no mercado energético dos recursos renováveis em relação as fontes mais tradicionais de geração de energia e que políticas com foco em novas fontes alternativas sejam amplamente adotadas por diversos países.

Algumas das políticas nacionais para promoção de um ambiente favorável para o setor de energias renováveis são classificadas em:

- Políticas regulatórias
    - Tarifas *feed-in*
    - Sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*)
    - Leilões
- Incentivos ficais
- Financiamento público

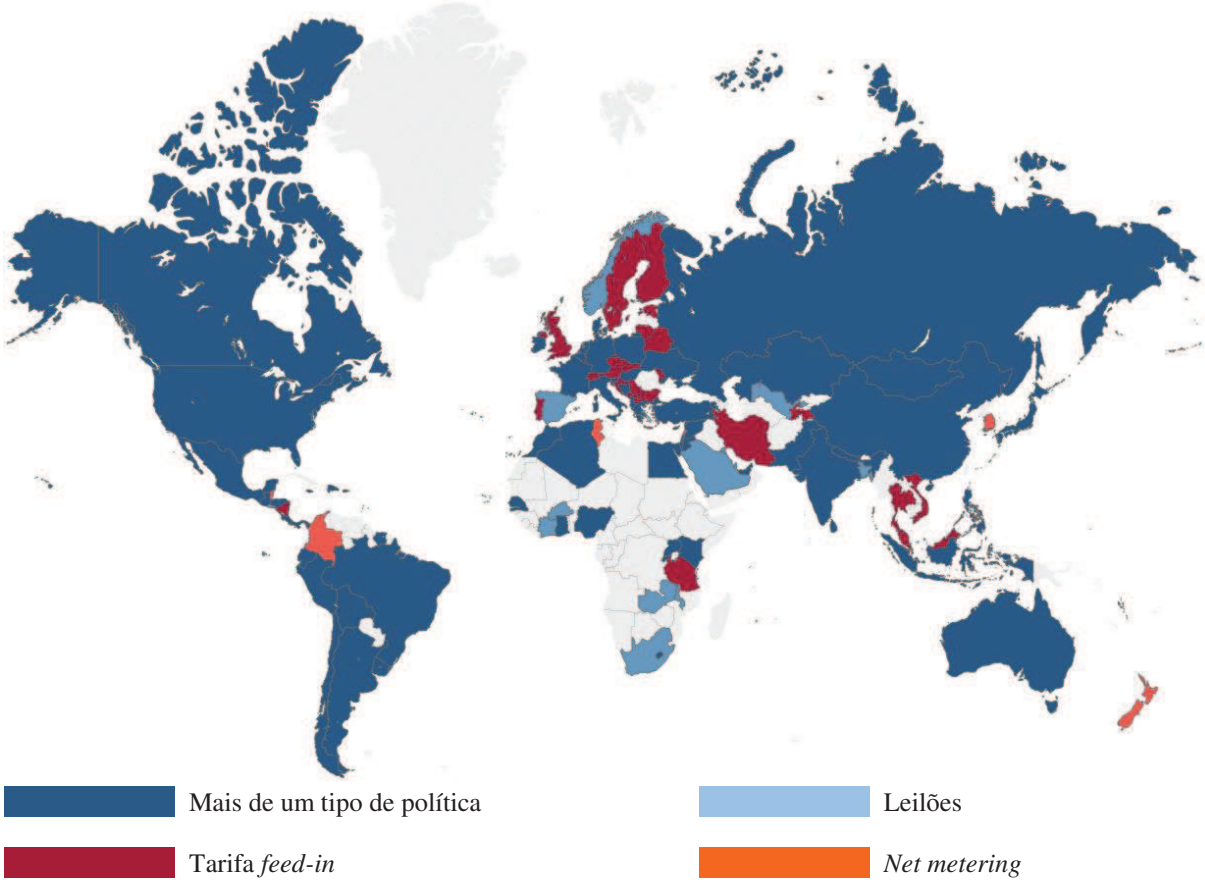
De um modo geral, as tarifas *feed-in* são as políticas mais comuns adotadas pelos países. Elas consistem em um modelo que garante aos geradores renováveis de energia pagamentos específicos (unidade monetária/kWh) durante um período temporal fixado, por exemplo. Elas também podem estabelecer regulamentos para os geradores associados à interconexão e à venda de energia para a rede de distribuição. Quanto ao nível de incentivo, ele tanto pode ser através da garantia de pagamento de preços mínimos quanto através do pagamento acima do preço da energia no mercado tradicional.

A política energética *net metering* é bastante utilizada para promover o setor de pequena escala de geração distribuída, permitindo que os geradores tenham uma compensação energética ou financeira pela geração excedente. Já no setor de geração em larga escala, os leilões para comercialização de energia fazem parte da política regulatória largamente adotada.

Em relação aos incentivos fiscais e ao financiamento público, muitos países têm utilizado esses mecanismos com o intuito de impulsionar alguns setores do mercado de energias renováveis. Em muitos casos, esse estímulo se dá por meio de isenções fiscais, por exemplo, como as ocorridas para as instalações solares residenciais na Europa. Uma outra abordagem dos governos são os subsídios orientados para projetos com base em tecnologias renováveis, como também o financiamento para linhas de pesquisa e desenvolvimento voltadas para esse ramo.

Na Figura 9, é apresentado um mapa esquemático de todos os países que fazem uso de políticas regulatórias de um ou mais de um tipo. Os países indicados em azul escuro são aqueles que adotam mais de uma política de suporte. Já aqueles que não apresentam nenhuma coloração, não possuem, nenhum tipo de política regulatória voltada para o setor de geração de energia. Ao final de 2017, 122 países aderiram a criação de políticas regulatórias no setor energético e 66 deles fazem o uso de mais de um tipo de política.

Figura 9 – Mapa esquemático das políticas regulatórias adotadas mundialmente.



Fonte: REN21 (2017)

Essas três políticas regulatórias citadas podem atuar combinadas ou em diferentes setores ou níveis energéticos em um país onde haja distintos mercados de atuação.

Vale ressaltar que as políticas nacionais apresentadas (políticas regulatórias, incentivos fiscais e financiamento público) estão constantemente em discussão e revisão tanto nos modelos de atuação, quanto nas taxas e isenções aplicadas. Essas medidas são necessárias, pois elas devem ser ajustadas alinhando-se às constantes mudanças do mercado em resposta a alguns fatores como as inovações tecnológicas do setor, a queda dos preços dessas tecnologias bem como as mudanças da opinião pública.

Com isso, alguns países podem estabelecer uma participação mínima de geração através de fontes renováveis ou fonte renovável especificada. Dessa maneira, o governo cria um ambiente específico com uma margem para futuros investimentos. Intuitivamente, quanto maior for a diferença entre a participação de energia renovável atual e a meta a ser alcançada, maior será o espaço para os investimentos em energia renovável. De forma semelhante, quanto maior for o comprometimento em alcançar essas metas, maior será o potencial para novos investimentos no setor.

7 FATORES ECONÔMICOS E PERSPECTIVAS

Diversos fatores econômicos influenciam nos preços das energias renováveis e, nesse capítulo, o foco será nas fontes solar fotovoltaica e eólica. Logo, serão apresentadas as tendências nos preços de tais fontes e serão levadas em consideração os níveis setoriais que tem contribuído para isso.

Entretanto, antes de discutir tais questões deve-se ter em mente que existem diversas formas de quantificar os preços dessas fontes. As duas principais formas são por unidade de capacidade instalada (unidade monetária/kW) e por unidade de energia gerada (unidade monetária/MWh) (IEA, 2016). Nesse trabalho será dada maior ênfase à segunda forma de análise, que diz respeito aos custos nivelados de eletricidade[8] (LCOE, na sigla em inglês) que serão discutidos em sequência.

7.1 Levelized Cost of Electricity – LCOE

Tendo em vista uma análise mais econômica, o LCOE é definido como a receita média necessária por unidade de eletricidade gerada para ter uma taxa de retorno sobre todo o investimento do projeto levando em consideração sua vida útil ou ciclo de vida (WEC, 2016). Esse parâmetro também pode ser utilizado de forma comparativa buscando evidenciar o custo para a geração de energia elétrica entres tipos de usina em um país ou região.

Para uma análise básica é levado em consideração o custo total do ciclo de vida do empreendimento pelo tempo total de geração de energia elétrica. Equacionando tem-se que:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{custo total do ciclo de vida}}{\text{tempo total de geração de energia elétrica}} \tag{1}$$

Nesse caso são contabilizados:

- Custo de investimento de capital – inclusas todas as despesas iniciais;
- Custo médio ponderado de capital – taxa de retorno sobre o investimento total necessário para cumprir as obrigações financeiras com credores, acionistas e outros provedores de capital;
- Custos de operação e manutenção.

[8] *Levelized Cost of Electricity*

Entretanto, alguns fatores relacionados aos custos adicionais associados às expansões e/ou às melhorias no sistema de transmissão podem ser introduzidos nos cálculos iniciais. Para uma análise mais refinada e mais próxima do mercado de energia, é importante incluir os custos de combustíveis, os custos de emissões de carbono e os custos de desativação da usina dependendo do empreendimento.

Portanto, o valor do LCOE calculado é de grande importância no cenário econômico, não sendo útil apenas a nível individual. Como dito anteriormente, um de seus objetivos é checar a viabilidade econômica para realizar uma comparação entre empreendimentos ou tecnologias a serem utilizadas, a fim de evidenciar a vantagem econômica entre eles. Para esse trabalho, serão utilizados os dados históricos e projeções dos LCOEs de projetos divulgados pelos relatórios da Agência Internacional de Energias Renováveis[9] (IRENA, na sigla em inglês).

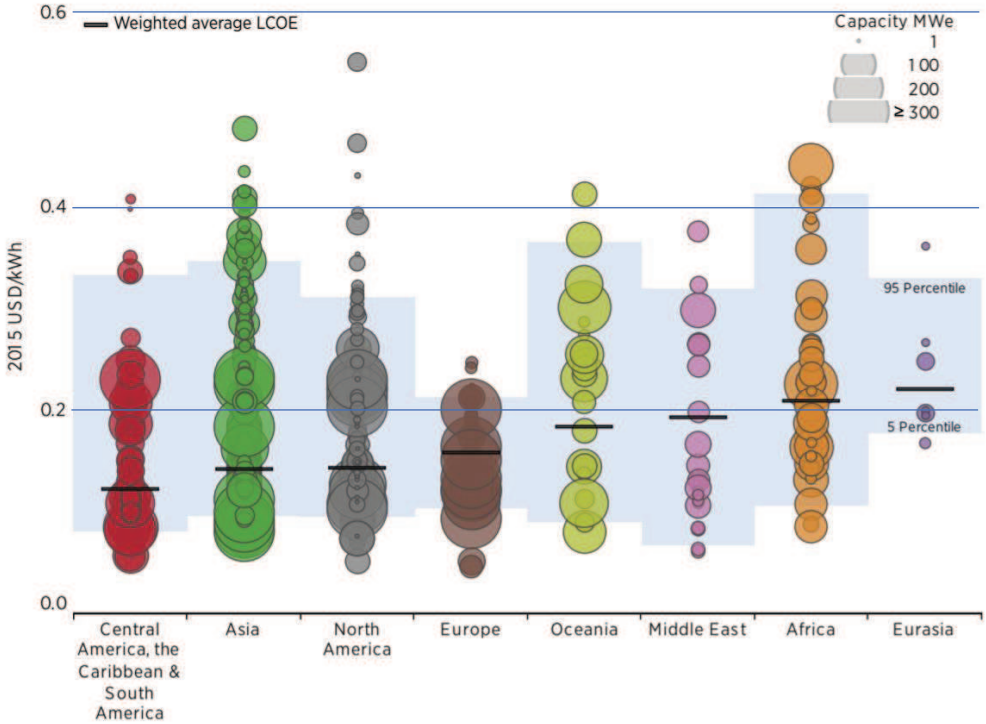
7.2 Solar Fotovoltaica

Os custos da tecnologia solar fotovoltaica vêm diminuindo ao longo dos anos e essa tecnologia tornou-se um seguimento bastante atrativo. Em 2015, o LCOE médio ponderado global da energia solar fotovoltaica diminuiu cerca de 58% entre 2010 e 2015. Entretanto, nos anos de 2013 e 2014 essa redução de custos não foi muito evidenciada. A desaceleração ocorrida nesse período pode ser atribuída à mudança dos investimentos de países com menor custo no mercado, como a Alemanha, para países de maior custo, como os Estado Unidos e o Japão (IRENA, 2016).

Na Figura 10, tem-se de forma ilustrativa e quantitativa o LCOE dos projetos de energia solar fotovoltaica para os diferentes continentes entre os anos de 2014 e 2015. Cada projeto está representado por um único círculo de acordo com a região geográfica. Os tamanhos dos círculos correspondem à capacidade instalada em MW segundo a legenda. Os traços pretos ilustrados são os LOCEs médio ponderado para cada uma das oito regiões apresentadas. Por fim, as faixas em azul claro ao fundo do gráfico compreendem o 5º percentil e o 95º percentil dos empreendimentos.

[9] *International Renewable Energy Agency*

Figura 10 – LCOE dos projetos de energia solar fotovoltaica de 2014 – 2015

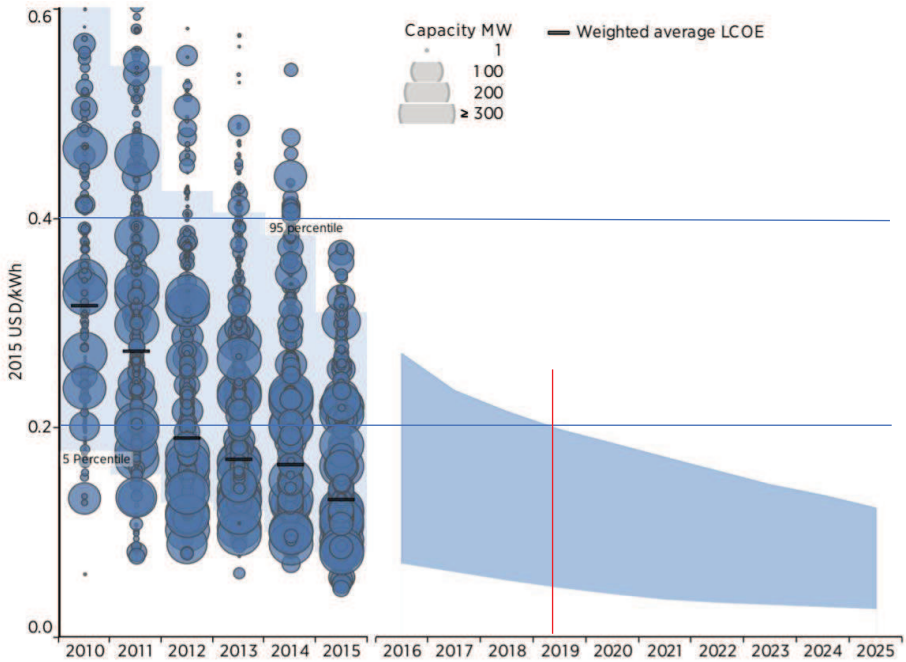


Fonte: IRENA (2016).

Posto isso, a Europa apresentou os menores valores de LCOE dos empreendimentos, com 95% deles a um custo um pouco maior que 0,2 USD/kWh. As Américas Central e do Sul e a região do Caribe, apesar de apresentarem alguns empreendimentos com custo mais elevado, possuem o LCOE médio ponderado mais baixo de todas as regiões, com um pouco mais que 0,1 USD/kWh.

Na Figura 11, está apresentado um histórico mundial do LCOE para empreendimentos fotovoltaicos assim como suas projeções até 2025. Tendo em vista a tendência decrescente evidenciada nos últimos anos, as projeções apontam que, em 2019, 95% dos projetos globais terão o LCOE abaixo de 0,2 USD/kWh e revelam que em 2025 esses custos podem ficar ainda menores, entre 0,03 USD/kWh e 0,12 USD/kWh.

Figura 11 – LCOE dos empreendimentos de energia solar fotovoltaica



Fonte: IRENA (2016).

Discutido as questões gerais dos custos para a tecnologia solar fotovoltaica, serão analisados os custos setoriais. Para isso, eles serão divididos em dois setores: custo do módulo e o custo do sistema.

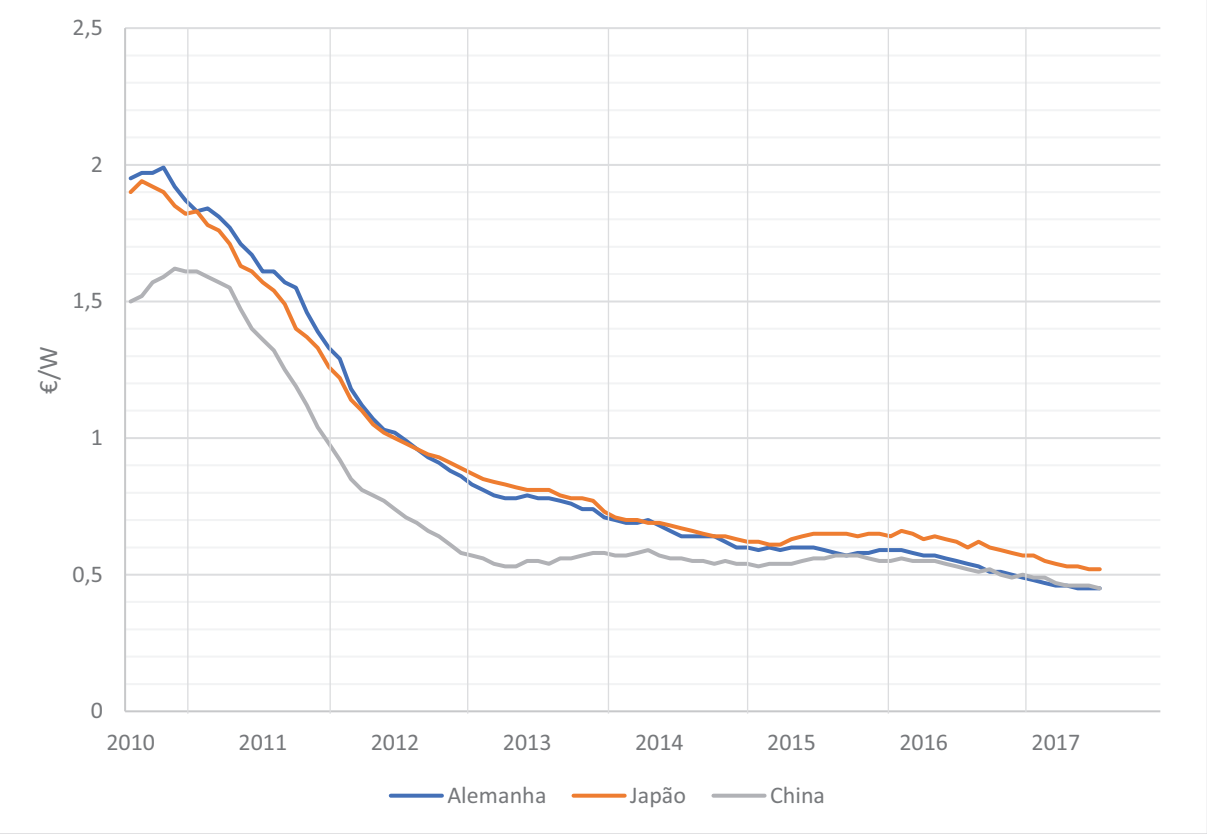
Quanto a tecnologia utilizada em módulos fotovoltaicos, sabe-se que existem três tipos: primeira geração; segunda geração; e terceira geração. A primeira delas engloba as tecnologias de silício cristalino e são largamente comercializados, dominando o atual mercado solar fotovoltaico. A segunda geração conta com a tecnologia de filmes finos, onde são utilizados semicondutores para a fabricação de células de micrômetros de espessura. Atualmente, essa tecnologia possui uma pequena parcela comercial e encontra-se em fase desenvolvimento e aprimoramento. Já a terceira geração envolve diversas tecnologias como as células solares orgânicas. Entretanto, elas possuem pouquíssima penetração comercial e ainda se encontram em fase de desenvolvimento laboratorial.

Posto isso, a análise de custo ficará restrita apenas no estudo de módulos fotovoltaicos que utilizam a tecnologia do tipo silício cristalino por serem a mais largamente utilizada no mercado solar fotovoltaico.

Na Figura 12 é apresentado o preço para esse tipo de módulo desde 2010 para Alemanha, Japão e China. Pode-se perceber uma queda acentuada nos preços a partir de 2011, seguido por um período de pequenas reduções a partir de meados de 2013. Atualmente, os

preços da Alemanha e da China encontram-se no mesmo patamar, com o valor um pouco abaixo de 0,5 €/W. Ao passo que o Japão registrou um leve aumento a partir de 2015 e possui, atualmente, o preço um pouco acima de 0,5 €/W.

Figura 12 – Gráfico dos preços de módulos do tipo silício cristalino



Fonte: PvXchange (2017), Modificada pelo autor.

Com a redução dos preços dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino nos últimos anos, espera-se que eles continuem com essa leve tendência descendente. Dessa forma, quantificar essa redução está diretamente associada com o aprimoramento da tecnologia de fabricação desses painéis, bem como nas técnicas para o aumento da eficiência dos mesmos nas diferentes formas cristalinas utilizadas.

Em relação ao custo do sistema solar fotovoltaico, ele pode ser divido em três subgrupos: *hardware*; instalação; e custos menores. O primeiro está relacionado aos custos de equipamentos que não incluem o módulo, ou seja, cabeamento, conexão à rede e sistemas de monitoramento e controle. Os custos relacionados a instalação envolvem tanto as questões elétrica quanto a mecânica, bem como suas inspeções. Já os custos menores englobam o financiamento, a aquisição e o design do sistema, por exemplo.

Posto isso, os custos do sistema solar fotovoltaico variam bastante entre os países. Isso reside no fato deles apresentarem diferentes cenários econômicos e políticos que acabam por influenciar tanto nas taxas de financiamento e aquisição para a implementação desse tipo de tecnologia, como também na mão de obra especializada no estágio de instalação dos equipamentos.

Quanto a expectativa para a redução dos custos desse tipo de sistema, ela vai depender de como o mercado local desenvolver-se-á. Para o caso de países onde a tecnologia ainda não se encontra em um estágio maduro é esperado que, se aplicados investimentos e incentivos necessários para uma adequada estruturação de mercado, esses países em questão provavelmente irão passar por etapas semelhantes vivenciadas por aqueles que já possuem não só a tecnologia, mas principalmente um mercado mais sólido como a Alemanha, por exemplo.

Dessa forma, é esperado que até 2025 os custos do sistema solar fotovoltaico tenham sido reduzidos em 66% em relação a 2015, com a projeção para os subgrupos de *hardware*, instalação e custos menores responsáveis por uma parcela de 36%, 25% e 39%, respectivamente, na redução total dos custos do sistema (IRENA, 2016).

Por fim, é esperado que essa tendência nas reduções de custos no mercado de energia solar fotovoltaica continue nos próximos anos. Entretanto, essas reduções podem ter como principal agente o setor de custos do sistema ao invés do setor de placas solares, que vem passando por um período de leve estagnação nos preços já evidenciado anteriormente. Dessa forma, é esperado que o custo do sistema apresente um maior potencial de redução em relação aos custos dos módulos, pois é nele onde estão concentrados alguns agentes considerados ineficientes sob a ótica econômica.

Para exemplificar tais questões, atualmente, os mercados mais jovens de energia solar fotovoltaica importam e utilizam muito das tecnologias implementadas em países já bem estabelecidos nesse cenário econômico. Portanto, a implementação da tecnologia sem as devidas adaptações locais pode resultar em sistemas de instalação superdimensionados ou inadequados, gerando assim custos desnecessários.

Posto isso, com o amadurecimento do mercado local, acredita-se que a busca por profissionais especializados aumente a fim de que essa adequação da tecnologia importada ocorra de modo a reduzir tais custos.

7.3 Eólica

O setor de energia eólica *onshore* foi um dos pioneiros entre as novas fontes alternativas de energia no que diz respeito aos novos investimentos de larga escala mundial. Além dessa tecnologia ter impulsionando o mercado energético de diversos países, ela também serviu como modelo de mercado para que o setor de energias renováveis como um todo ganhasse mais espaço e credibilidade mundialmente. Dessa forma, houve um interesse crescente por parte de investidores e governos em explorar as outras fontes alternativas de energia através de investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

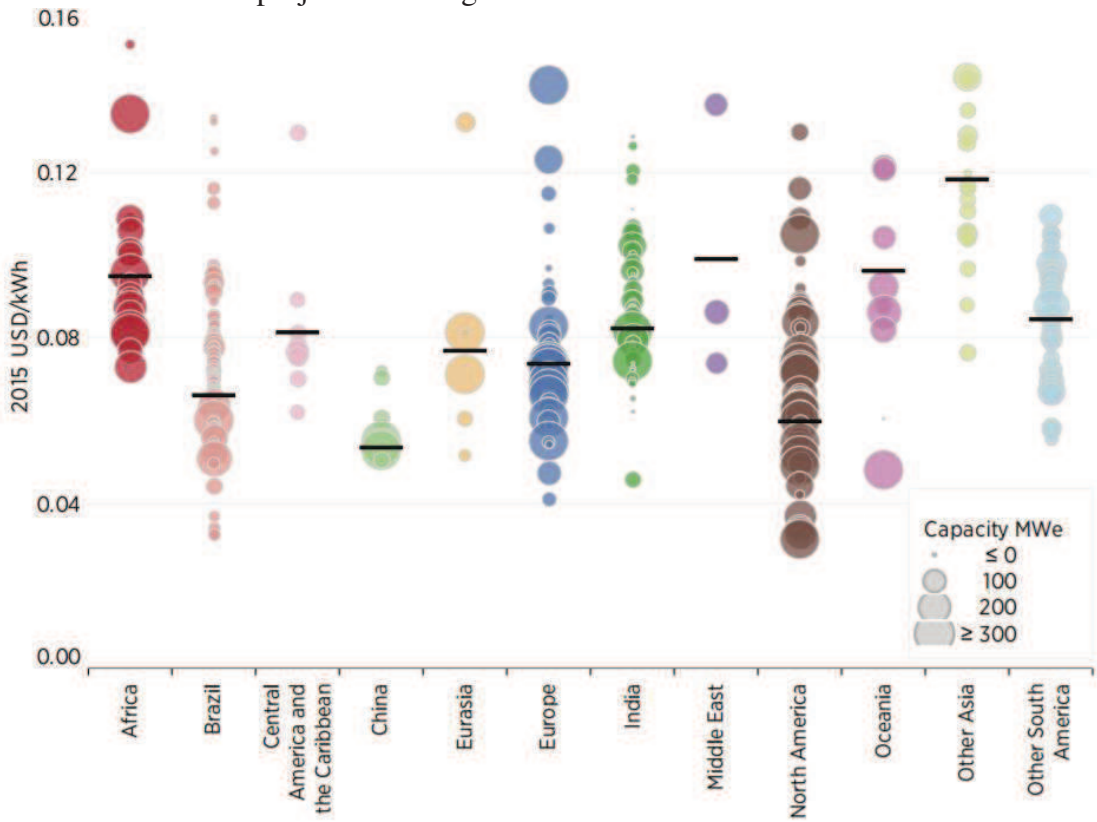
O setor de energia eólica pode ser dividido em dois: *onshore* e *offshore*. Nesse estudo será analisada apenas as questões associadas ao primeiro deles, pois o desenvolvimento do setor eólico *offshore* vem sendo concentrado na Europa e por isso pode não corresponder ao seu futuro desenvolvimento em outras regiões geográficas. Portanto, todos os dados e informações apresentados em sequência serão exclusivos da energia eólica *onshore*.

Posto isso, será analisado, primeiramente, o LCOE dos empreendimentos e em seguida serão levadas em consideração os setores da cadeia produtiva que impactam no valor final, bem como suas projeções e perspectivas para redução de custos.

Na Figura 13, são apresentados de forma comparativa o LCOE de projetos eólicos de alguns países e regiões para os anos de 2014 e 2015 levando também em consideração a capacidade instalada dos empreendimentos. Nessa figura, cada projeto é representando por um círculo com a cor correspondente à região ou ao país em questão. A capacidade instalada do empreendimento em MW está associada ao tamanho dos círculos. Já as listras pretas representam os LCOEs médio ponderados de cada uma das regiões geográficas analisadas.

Pode-se constatar, na Figura 13, que o LCOE varia bastante entre os países e as regiões, sendo a China o local com o menor valor médio ponderado, em torno de 0,05 USD/kWh. Entretanto, ao levar em consideração apenas as regiões continentais, a América do Norte conta com o menor valor médio ponderado, 0,06 USD/kWh, seguida pela Europa e Eurásia com médias ligeiramente inferiores a 0,08 USD/kWh.

Figura 13 – LCOE dos projetos de energia eólica de 2014 – 2015

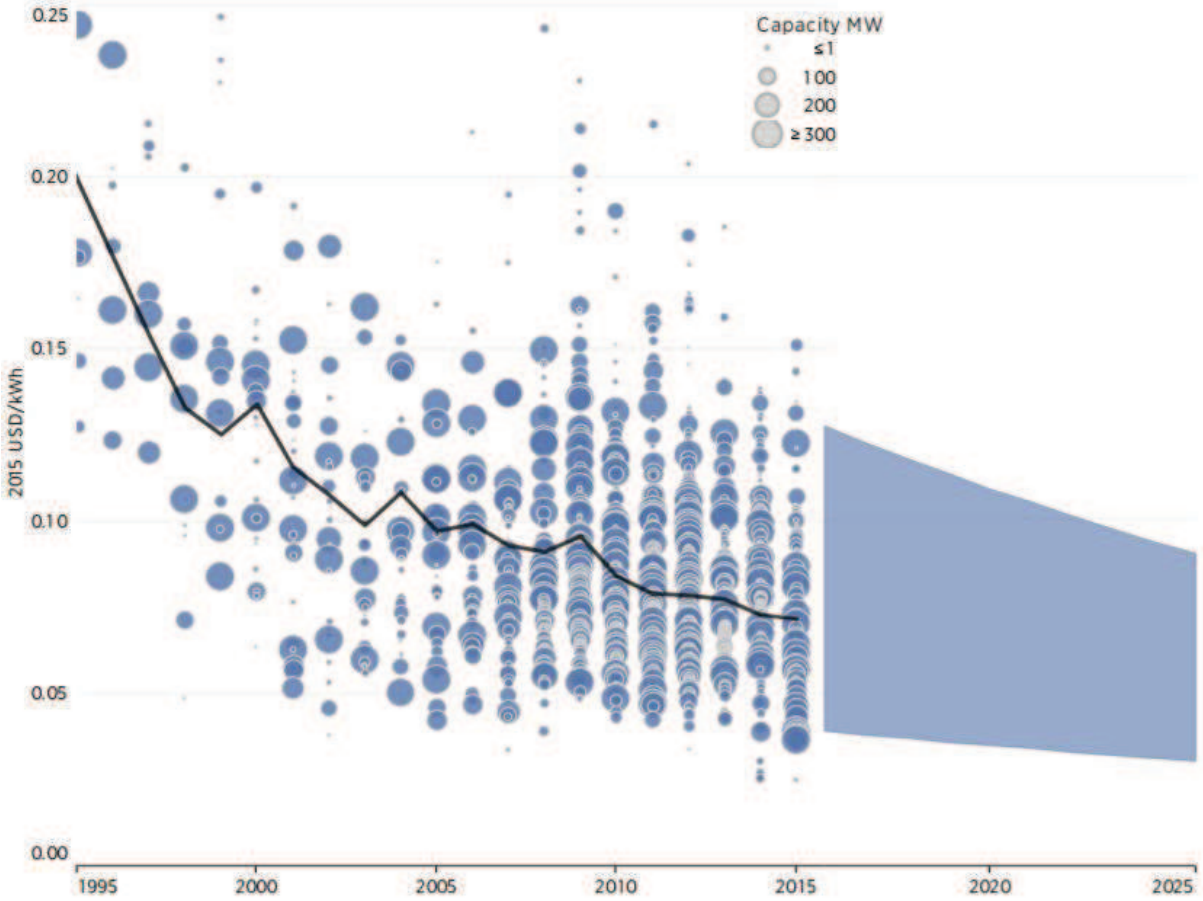


Fonte: IRENA (2016).

Assim como a China e a Índia, os dados do Brasil estão apresentados separadamente por possuir um cenário diferente daqueles registrados pelo seu continente. Se por um lado o Brasil registrou um valor médio de quase 0,07 USD/kWh e com os empreendimentos de maior capacidade abaixo do valor médio ponderado, por outro lado os outros países da América do Sul registraram um valor mais elevado, acima e 0,08 USD/kWh.

Na Figura 14, são apresentadas informações relacionadas ao LCOE dos projetos de geração de energia eólica para um histórico de 20 anos (1995 – 2015), bem como a perspectiva até 2025. Cada projeto é representado por um círculo cuja capacidade instalada está associada ao tamanho do mesmo e a linha preta representando o LOCE médio ponderado mundial. A partir de 2016, são apresentadas as projeções mundiais desse custo até 2025 através da área em azul que compreende as projeções do 5° percentil até o 95° percentil dos projetos.

Figura 14 – LCOE dos empreendimentos de energia eólica



Fonte: IRENA (2016).

Em 1995, o LCOE médio ponderado mundial registrou um custo de 0,20 USD/kWh. Após duas décadas, esse valor reduziu 67%, registrando 0,06 USD/kWh. As projeções para até 2025 é que o LCOE continue a apresentar uma queda gradativa, principalmente na porção superior da área, que compreende o 95° percentil dos projetos. Em 2025, é esperado que a porção inferior não registre menos que 0,03 USD/kWh e que a superior não seja maior que 0,09 USD/kWh.

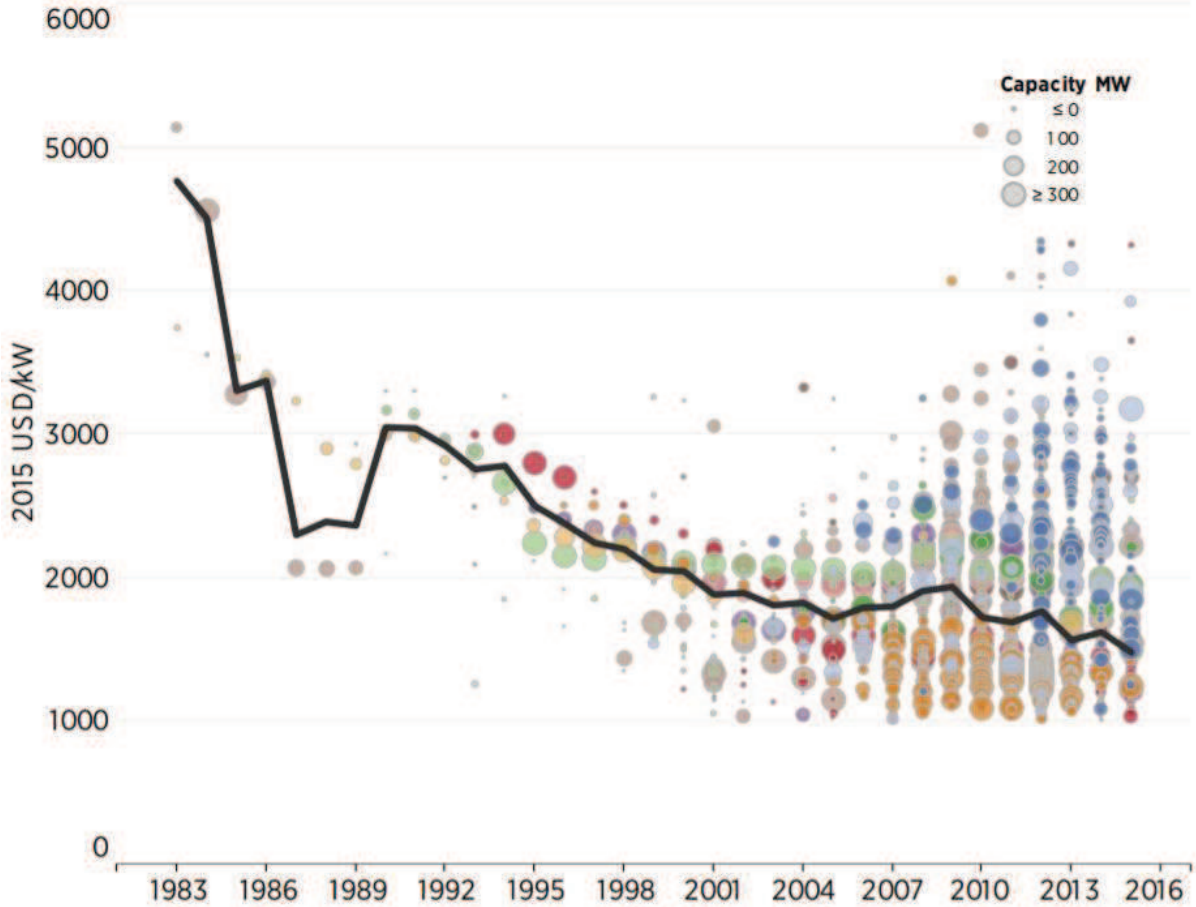
Posto isso, os LCOEs dos empreendimentos de geração de energia eólica também variam bastante entre as regiões e os países. Essa variabilidade está associada aos diversos fatores que influenciam nos custos. A flutuação dos preços da matéria prima para a construção de aerogeradores como o aço, bem como a variedade dos custos locais para a construção da usina são alguns dos fatores que causam essas divergências nos valores entre as regiões.

Os custos setoriais devem, portanto, ser levados em consideração para se ter uma melhor análise e perspectiva do setor eólico *onshore*. Consequentemente, serão analisados três

fatores que impactam nos valores finais desses projetos eólicos: custos totais de instalação, fator de capacidade e custos com operação e manutenção (O&M).

A Figura 15 apresenta o histórico dos custos totais de instalação dos projetos eólicos de 12 países[10]. O custo médio de instalação dos parques eólicos caiu 67% entre 1983 e 2015. Vale ressaltar que essa queda está relacionada a alguns fatores, como os estudos mais precisos de previsão de ventos no local onde pretende-se instalar os parques eólicos, os avanços tecnológicos de turbinas e torres eólicas, o crescimento da economia de escala, que gerou maior competição entre os fornecedores, bem como as melhorias na cadeia logística do setor eólico. Portanto, acredita-se que essa tendência decrescente nos custos de instalação continue nos próximos anos e que até 2025, esses custos de instalação caiam em média 12% em relação a 2015, que foi de 1560 USD/kWh (IRENA, 2016).

Figura 15 – Histórico dos custos totais de instalação de projetos eólicos



Fonte: IRENA (2016).

[10] Alemanha, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Índia, Itália, Reino Unido e Suécia

Em relação ao fator de capacidade de uma usina eólica, ele é definido como a relação entre a produção efetiva de energia da usina pela energia que poderia ser produzida se a mesma funcionasse na sua potência nominal por um determinado período de tempo (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009). Dessa forma, o fator de capacidade varia segundo a região e depende de diversos fatores como do recurso eólico local, da eficiência e confiabilidade da turbina, da adequação do aerogerador para o local do projeto e do gerenciamento do projeto o qual pode ser submetido a uma possível redução pelo operador da rede (WEC, 2016).

Posto isso, uma das formas de aumentar o fator de capacidade é através da otimização do recurso eólico, que geralmente está associado a alturas mais elevadas. Outra forma é por meio do aumento da área varrida pelas pás da turbina. De um modo simplificado, esses dois fatores são combinados quando é feito o uso de aerogeradores mais altos. Pois quanto mais alta a torre, melhor será a qualidade do recurso eólico no local, o que permite fazer o uso de pás maiores e, consequentemente, aumenta a área varrida pela mesma. O resultado final é um maior potencial para geração de energia elétrica. Dessa forma, os estudos mais detalhados e precisos de previsão de vento e do local de instalação dos parques eólicos tem permitido um aumento gradativo no fator de capacidade, juntamente com o desenvolvimento de materiais que permitem a utilização de turbinas cada vez maiores.

De um modo geral, em relação aos custos de O&M, sabe-se que os projetos eólicos mais recentes possuem um menor custo que os projetos mais antigos e que, ao longo de sua vida útil, é esperado que esses custos tendam a aumentar. Entretanto, não existem dados muito precisos a nível mundial do real custo que a O&M tem no LCOE do empreendimento. Essa falta de precisão nos dados reside no fato da tecnologia eólica ter mudado bastante nos últimos anos. Consequentemente, os projetos mais recentes e modernos ainda não possuem o tempo de operação suficiente para analisar o aumento desses custos ao longo de sua vida útil.

Além disso, a O&M está diretamente relacionada com aumento do fator de capacidade. Pois, com o uso de *software* mais avançados de modelagem meteorológica e de fadiga de materiais é possível prever com mais eficiência tanto a produção de energia das turbinas quanto a fadiga de seus componentes. Tudo isso melhora o gerenciamento dos parques eólicos por meio de manutenções preditivas. Os resultados são componentes mais confiáveis, redução do tempo de inatividade dos aerogeradores e, consequentemente, otimização da operação associada a redução de custos com manutenções não programadas.

Em relação ao fator de capacidade, o valor médio mundial é em torno de 28%. Acredita-se que com os novos desenvolvimentos de tecnologias no setor eólico e com melhorias nos sistemas de O&M preditiva, o fator de capacidade médio mundial possa ser superior a 30% (GWEC, 2016).

Por fim, os três setores analisados (custos totais, fator de capacidade e O&M) possuem diferentes contribuições no potencial de redução do LCOE. O fator de capacidade conta com a maior porcentagem, 49%. Já os custos totais, conta com 34% e a O&M com 17%. Entretanto, essas projeções ficam sujeitas às incertezas do mercado dos países. Principalmente daqueles que ainda tem um grande potencial eólico a ser explorado como o Brasil e outros países emergentes (IRENA, 2016).

8 CONCLUSÃO

Com esse estudo, foi possível traçar um panorama geral do cenário das energias renováveis, contextualizando tanto a área de investimentos desse setor quanto o amadurecimento das fontes solar fotovoltaica e eólica no mercado energético.

Para isso, primeiramente, foram levantadas as questões associadas às crescentes emissões de GEE e à intensificação gradual que as principais discussões internacionais associadas ao aquecimento global ganharam ao longo dos anos. Portanto, foi nesse cenário que as fontes renováveis de energia ganharam mais destaque mundialmente.

Tendo em vista uma expectativa de forte crescimento do consumo energético mundial, principalmente, por parte dos países não membros da OECD, faz-se necessário a implementação de políticas suporte voltadas para as energias renováveis nessas nações, visando uma participação complementar ou substitutiva aos combustíveis fósseis. Além disso, é imprescindível a atuação combinada de governos e investidores a fim de atender as demandas ambientais e econômicas.

Com a análise dos investimentos, pôde-se perceber, no período analisado, que os novos investimentos em energias renováveis sofreram interferência provenientes tanto de instabilidades políticas quanto da redução gradativa dos custos das fontes eólica e solar fotovoltaica.

No que diz respeito às instabilidades políticas, foram analisados quatro indicadores macroeconômicos que refletem as expectativas de mercado e influenciam na tomada de decisão dos investidores, além de metas e políticas de suporte atuantes em energias renováveis, que motivam os grandes investimentos no setor e viabilizam a inserção dessas fontes no mercado energético mundial.

Em relação a gradativa redução de custos, o foco foi nos setores solar fotovoltaico e eólico, visto que são as novas fontes alternativas de energia com maior atuação mundial no período analisado. Dessa forma, o LCOE foi parâmetro econômico utilizado para o estudo dessa redução de custos.

Para os empreendimentos fotovoltaicos, o LCOE médio ponderado global reduziu 58% entre 2010 e 2015, enquanto os empreendimentos eólicos *onshore* reduziu 67% em vinte anos (1995 e 2015). Para até 2025, é esperado que ambos seguimentos continuem reduzindo esse parâmetro.

Nessas projeções também foi avaliado o potencial de redução dos custos setoriais no LCOE dessas duas fontes energéticas. No setor solar fotovoltaico, é esperado que o custo do sistema tenha maior contribuição nessa redução nos próximos anos, pois é nesse seguimento onde estão concentrados os fatores que são mais sensíveis às variações de mercado como linhas de financiamento e mão de obra especializada.

Já na eólica *onshore*, esse maior potencial de redução fica a cargo do aumento do fator de capacidade dos aerogeradores, que envolve diferentes estágios do projeto. Entretanto, essas projeções ficam condicionadas às instabilidades e ao desenvolvimento dos mercados energéticos de países emergentes que ainda têm muito potencial eólico a ser explorado.

Finalmente, pode-se perceber que as novas fontes renováveis de energias tem um potencial de crescimento muito grande. Entretanto, esse desenvolvimento é influenciado diretamente pelo comportamento dos mercados energéticos, que são movidos tanto pelas questões ambientais e sociais, mas que dependem fortemente das decisões e dos interesses políticos das nações.

REFERÊNCIAS

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. United Nations Environment Programme. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2017**. Frankfurt, abr. 2017. 89 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2016**. Frankfurt, mar. 2016. 84 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2015**. Frankfurt, mar. 2015. 85 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2014**. Frankfurt, abr. 2014. 84 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2013**. Frankfurt, jun. 2013. 88 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2012**. Frankfurt, jun. 2012. 82 p.

____. **Global Trends in Renewable Energy Investments 2011**. Frankfurt, jun. 2011. 61 p.

____. **Global Trends in Sustainable Energy Investments 2010:** Analysis of trends and issues in the financing of renewable energy and energy efficiency. Frankfurt, jul. 2010. 61 p.

COUNTRY ECONOMY. **Sorvereigns Ratings List.** Disponível em: <http://countryeconomy.com/ratings>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ENERDATA. **Global Energy Statistical Yearbook 2017**: CO_2 emissions from fuel combustion. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/co2-fuel-combustion/CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html>. Acesso em: 13 set. 2017.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Energy Outlook 2016.** Brussels, 2016. 41 p. Disponível em: <https://megujuloszovetseg.hu/images/megujulok/Global%20Wind%20Energy%20Outlook%202016.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

THE GUARDIAN. **Full text of Trump's speech:** 'Draconian' Paris accord dumped. 2017. Disponível em: <https://www.theguardian.com/us-news/2017/jun/02/full-text-of-trumps-speech-draconian-paris-accord-dumped>. Acesso em: 02 ago. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. Paris, 2016. 684 p.

____. **World Energy Investment 2017:** Investment trends in 2016. 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/wei2017/>. Acesso em: 6 ago. 2017.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **World Economic Outlook (October 2017)**: Gross Domestic Product Database. 2017a. Disponível em: <http://www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO/1>. Acesso em: 15 nov. 2017.

____. **World Economic Outlook (October 2017)**: Inflation Database. 2017b. Disponível em: <http://www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO/2>. Acesso em: 15 nov. 2017.

____. **World Economic Outlook (October 2017)**: People Database. 2017c. Disponível em: <http://www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO/3>. Acesso em: 15 nov. 2017.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Data & Statistics.** Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>. Acesso em: 20 set. 2017.

____. **The power to change**: solar and wind cost reduction potential to 2025. 2016. 112 p. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017.

LEE, Cheuk Wing; ZHONG Jin. Top Down Strategy for renewable energy investment: Conceptual framework and implementation. **Renewable Energy**, v. 68, p.761-773, ago. 2014.

MANWELL, James; MCGOWAN, Jon; ROGERS, Anthony. **Wind energy explained:** theory, design and application. 2. ed. UK: Wiley, 2009.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **A ONU e o meio ambiente.** Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 20 mar. 2017.

PVXCHANGE. **Prince index:** database. 2017. Disponível em: <http://www.pvxchange.com/priceindex/Default.aspx?template_id=1&langTag=en-GB>. Acesso em: 14 dez. 2017.

RENWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Global Status Report**: Renewables 2016. Paris, 2016. 272 p. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

____. **Global Status Report**: Renewables 2017. Paris, 2017. 302 p. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

Senado Federal. História: a Rio-92 e as conferências anteriores à Rio+20. **em Discussão!**, Brasília, n. 11, p.12-17, maio 2012. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/NOTICIAS/JORNAL/EMDISCUSSAO/upload/201202 - maio/pdf/em discussão!_maio_2012_internet.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

TANG, Amy; CHIARA, Nicola; TAYLOR, John E.; Financing renewable energy infrastructure: Formulation, pricing and impact of a carbon revenue bond. **Energy Policy**, v. 45, p.691-703, jun. 2012.

TRADING ECONOMICS. **Credit Rating.** Disponível em: <https://tradingeconomics.com/country-list/rating>. Acesso em: 15 jan. 2018.

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Conference).** Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>. Acesso em: 20 abr. 2017.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **United Nations Framework Convention on Climate Change**. 1992. 25 p. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

____. **Paris Agreement**. 2015. 27 p. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf >. Acesso em: 10 abr. 2017.

____. **Kyoto Protocol**. 2017. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 21 jun. 2017.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTATION. **International Energy Outlook 2017:** Analysis & Projections. 2017. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/ieo_tables.php>. Acesso em: 30 set. 2017.

WORLD ENERGY CONCIL. **World Energy Resources:** Wind 2016. 2016. 69 p. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Wind_2016.pdf>. Acesso em: 4 set. 2017.

WÜSTENHAGEN, Rolf; MENICHETTI, Emanuela; Strategic choices for renewable energy investment: Conceptual framework and opportunities for further research. **Energy Policy**, v. 40, p.1-10, jan. 2012.

APÊNDICE

Tabela 2 – Histórico de novos investimentos em energias renováveis em USD bilhões

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Novos investimentos globais em energias renováveis	243,6	281,2	255,5	234,4	278,2	312,2	241,6
Crescimento percentual	36,6%	15,4%	-9,1%	-8,3%	18,7%	12,2%	-22,6%
Por região							
Brasil	7,4	10,3	8,1	4,4	8,2	7,1	6,8
Índia	9,0	13,7	8,0	6,6	8,4	9,6	9,7
Oriente médio e África	4,2	3,2	10,2	9,2	8,4	11,4	7,7
Américas (exceto EUA e Brasil)	12,4	9,5	10,4	12,3	14,0	13,1	6,1
Estados Unidos	35,3	49,6	40,6	33,8	38,4	51,4	46,4
Asia e Oceania (exceto China e Índia)	20,0	25,1	30,9	45,3	50,5	46,1	26,8
Europa	113,9	123,8	88,9	59,4	63,0	58,1	59,8
China	41,4	46,0	58,3	63,3	87,3	115,4	78,3
Por tecnologia							
Biomassa	16,6	19,9	13,5	12,4	10,8	6,7	6,8
Geotérmica	2,9	3,9	1,6	2,9	2,9	2,3	2,7
Biocombustíveis	10,5	10,6	7,2	5,2	5,3	3,5	2,2
Marinha	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Pequena Hidrelétrica	8,1	7,5	6,4	5,6	6,4	3,5	3,5
Solar	103,6	154,9	140,6	119,1	143,9	171,7	113,7
Eólica	101,6	84,2	84,4	89,0	108,5	124,2	112,5
Por cadeia de valor							
Pesquisa tecnológica							
P&D governamental	4,9	4,8	4,7	5,2	4,5	4,4	5,5
P&D cooperativo	3,9	4,5	4,2	4	3,9	4,2	2,5
Desenvolvimento/Comercialização							
Venture capital	8,1	5,1	4,2	2,3	2,8	3,5	3,3

Manufatura							
Privare equity expansion capital	5,5	2,4	1,7	1,4	1,8	1,9	2,2
Mercado público	10,8	9,9	4	10,3	15,9	13,3	6,3
Projetos							
Asset finance	153,6	181,7	166,8	158,3	191,1	231,3	184,2
re-invested equity	1,5	1,8	2,6	1	3,3	6,1	2,9
Capacidade distribuída de pequena escala	62,2	75,2	71,6	54,4	60	55,5	39,8

Fonte: BNEF (2017); IRENA (2017)

Tabela 3 – Capacidade instalada anual em energias renováveis por tecnologia em MW

Ano	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
Capacidade Instalada anualmente	54.367	74.759	85.358	73.781	89.350	122.632	130.702
Energia Solar	16.804	31.309	30.466	37.347	37.422	48.085	70.873
Energia Eólica	32.542	39.369	49.662	31.961	46.551	65.079	51.201
Outras	5.021	4.081	5.230	4.473	5.377	9.468	8.628
Biomassa	4.491	3.617	4.685	6.633	4.466	5.768	7.645
Energia Geotérmica	221	-109	467	305	671	391	780
Biocombustíveis	150	90	192	-18	-90	113	0
Energia Marinha	2	254	3	-1	1	6	3
Pequena Hidrelétrica	157	229	-117	-2.446	329	3.190	200
Percentual							
Energia Solar	30,9%	41,9%	35,7%	50,6%	41,9%	39,2%	54,2%
Energia Eólica	59,9%	52,7%	58,2%	43,3%	52,1%	53,1%	39,2%
Outras	9,2%	5,5%	6,1%	6,1%	6,0%	7,7%	6,6%

Fonte: IRENA (2017)

Tabela 4 – Variação percentual anual do PIB

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Brasil	5,1%	-0,1%	7,5%	4,0%	1,9%	3,0%	0,5%	-3,8%	-3,6%	0,7%	1,5%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
China	9,6%	9,2%	10,6%	9,5%	7,9%	7,8%	7,3%	6,9%	6,7%	6,8%	6,5%	6,3%	6,2%	6,0%	5,8%
Índia	3,9%	8,5%	10,3%	6,6%	5,5%	6,4%	7,5%	8,0%	7,1%	6,7%	7,4%	7,8%	7,9%	8,1%	8,2%
G7	-0,3%	-3,8%	2,8%	1,6%	1,4%	1,4%	1,9%	2,1%	1,4%	2,0%	1,9%	1,6%	1,5%	1,5%	1,5%
Alemanha	0,8%	-5,6%	3,9%	3,7%	0,7%	0,6%	1,9%	1,5%	1,9%	2,0%	1,8%	1,5%	1,4%	1,3%	1,2%
Canadá	1,0%	-2,9%	3,1%	3,1%	1,7%	2,5%	2,6%	0,9%	1,5%	3,0%	2,1%	1,7%	1,7%	1,8%	1,8%
Estados Unidos	-0,3%	-2,8%	2,5%	1,6%	2,2%	1,7%	2,6%	2,9%	1,5%	2,2%	2,3%	1,9%	1,8%	1,7%	1,7%
França	0,2%	-2,9%	2,0%	2,1%	0,2%	0,6%	0,9%	1,1%	1,2%	1,6%	1,8%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
Itália	-1,1%	-5,5%	1,7%	0,6%	-2,8%	-1,7%	0,1%	0,8%	0,9%	1,5%	1,1%	0,9%	1,0%	0,9%	0,8%
Japão	-1,1%	-5,4%	4,2%	-0,1%	1,5%	2,0%	0,3%	1,1%	1,0%	1,5%	0,7%	0,8%	0,2%	0,7%	0,6%
Reino Unido	-0,6%	-4,3%	1,9%	1,5%	1,3%	1,9%	3,1%	2,2%	1,8%	1,7%	1,5%	1,6%	1,7%	1,7%	1,7%

Fonte: IMF(2017a)

Tabela 5 – Taxa de inflação em porcentagem anual

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Brasil	5,7%	4,9%	5,0%	6,6%	5,4%	6,2%	6,3%	9,0%	8,7%	3,7%	4,0%	4,1%	4,1%	4,0%	4,0%
China	5,9%	-0,7%	3,3%	5,4%	2,6%	2,6%	2,0%	1,4%	2,0%	1,8%	2,4%	2,5%	2,6%	2,6%	2,6%
Índia	9,1%	10,6%	9,5%	9,5%	10,0%	9,4%	5,8%	4,9%	4,5%	3,8%	4,9%	4,8%	4,9%	5,0%	5,0%
G7	3,2%	-0,1%	1,4%	2,6%	1,9%	1,3%	1,5%	0,3%	0,8%	1,7%	1,7%	2,1%	2,1%	2,0%	2,1%
Alemanha	2,8%	0,2%	1,1%	2,5%	2,1%	1,6%	0,8%	0,1%	0,4%	1,6%	1,5%	2,0%	2,1%	2,3%	2,5%
Canadá	2,4%	0,3%	1,8%	2,9%	1,5%	0,9%	1,9%	1,1%	1,4%	1,6%	1,8%	2,1%	1,9%	2,0%	1,9%
Estados Unidos	3,8%	-0,3%	1,6%	3,1%	2,1%	1,5%	1,6%	0,1%	1,3%	2,1%	2,1%	2,6%	2,4%	2,2%	2,3%
França	3,2%	0,1%	1,7%	2,3%	2,2%	1,0%	0,6%	0,1%	0,3%	1,2%	1,3%	1,6%	1,7%	1,7%	1,8%
Itália	3,5%	0,8%	1,6%	2,9%	3,3%	1,2%	0,2%	0,1%	-0,1%	1,4%	1,2%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%
Japão	1,4%	-1,3%	-0,7%	-0,3%	-0,1%	0,3%	2,8%	0,8%	-0,1%	0,4%	0,5%	1,1%	1,6%	1,3%	1,6%
Reino Unido	3,6%	2,2%	3,3%	4,5%	2,8%	2,6%	1,5%	0,0%	0,7%	2,6%	2,6%	2,2%	2,1%	2,0%	2,0%

Fonte: IMF(2017b)

Tabela 6 – Histórico da taxa de desemprego

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Brasil	8,9%	9,6%	8,6%	7,8%	7,4%	7,2%	6,8%	8,3%	11,3%	13,1%	11,8%	11,0%	10,4%	10,1%	10,0%
China	4,2%	4,3%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
Índia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G7	5,8%	8,0%	8,1%	7,6%	7,4%	7,1%	6,4%	5,8%	5,4%	5,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,9%	4,9%
Alemanha	7,4%	7,7%	6,9%	5,9%	5,4%	5,2%	5,0%	4,6%	4,2%	3,8%	3,7%	3,7%	3,6%	3,6%	3,5%
Canadá	6,2%	8,4%	8,0%	7,5%	7,3%	7,1%	6,9%	6,9%	7,0%	6,5%	6,3%	6,2%	6,3%	6,3%	6,3%
Estados Unidos	5,8%	9,3%	9,6%	8,9%	8,1%	7,4%	6,2%	5,3%	4,9%	4,4%	4,1%	4,2%	4,4%	4,5%	4,7%
França	7,5%	9,1%	9,3%	9,2%	9,8%	10,3%	10,3%	10,4%	10,0%	9,5%	9,0%	8,7%	8,3%	8,0%	7,8%
Itália	6,7%	7,7%	8,3%	8,4%	10,7%	12,1%	12,6%	11,9%	11,7%	11,4%	11,0%	10,6%	10,3%	10,0%	9,7%
Japão	4,0%	5,1%	5,1%	4,6%	4,3%	4,0%	3,6%	3,4%	3,1%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%
Reino Unido	5,7%	7,6%	7,9%	8,1%	8,0%	7,6%	6,2%	5,4%	4,9%	4,4%	4,4%	4,6%	4,5%	4,5%	4,5%

Fonte: IMF(2017c)

Tabela 7 – Classificação das notas de risco de crédito.

Grupo	S&P	Moody's	Fitch	Nota	Capacidade em atender os compromissos financeiros
Grupo de investimento	AAA	Aaa	AAA	Prime	Extremamente elevada
	AA+	Aa1	AA+	Alta	Muito forte
	AA	Aa2	AA		
	AA-	Aa3	AA-		
	A+	A1	A+	Média alta	Elevada, mas pode de alguma forma estar susceptível a mudanças adversas das condições econômicas
	A	A2	A		
	A-	A3	A-		
	BBB+	Baa1	BBB+	Média baixa	Adequada, mas situações econômicas adversas podem levar a um enfraquecimento dessa capacidade
	BBB	Baa2	BBB		
	BBB-	Baa3	BBB-		
Grupo especulativo	BB+	Ba1	BB+	Não-investimento especulativo	Menos vulnerável a curto prazo. Está exposto a incertezas e adversidades financeiras, econômicas e comerciais, que pode levar a uma capacidade inadequada
	BB	Ba2	BB		
	BB-	Ba3	BB-		
	B+	B1	B+	Altamente especulativo	Mais vulnerável. Está mais exposto a incertezas e adversidades financeiras, econômicas e comerciais, que provavelmente impossibilitará o cumprimento dos compromissos
	B	B2	B		
	B-	B3	B-		
	CCC+	Caa1	CCC+	Risco substancial	Atualmente vulnerável. Depende de condições econômicas, financeiras e comerciais favoráveis para atender os compromissos financeiros
	CCC	Caa2	CCC		
	CCC-	Caa3	CCC-		
	CC	Ca	CC	Extremamente especulativo	Altamente vulnerável atualmente

Fonte: Country Economy (2017)