

**FELIPE HUSADEL POYER**

**CENÁRIOS CLIMÁTICOS E NOVAS PERSPECTIVAS SOCIAIS PARA UMA REGIÃO DO NORTE  
DO ESTADO DA BAHIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Desastres  
Naturais, da Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Mestre em Desastres Naturais  
Orientador: Prof. Dr. Renato Ramos da Silva

**FLORIANÓPOLIS  
2018**

Poyer, Felipe Husadel

Cenários climáticos e novas perspectivas sociais para uma região do norte do estado da Bahia / Felipe Husadel Poyer ; orientador, Renato Ramos da Silva, 2018. 49 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais, Florianópolis, 2018.

Inclui referências

1. Desastres Naturais. 2. Mudanças Climáticas. 3. Estiagem Bahia. 4. Geração Eólica. I. Silva, Renato Ramos da. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais. III. Título.

**FELIPE HUSADEL POYER**

**CENÁRIOS CLIMÁTICOS E NOVAS PERSPECTIVAS SOCIAIS PARA UMA REGIÃO DO NORTE DO ESTADO DA BAHIA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Mestre em Desastres Naturais”, inserido na área de concentração de Desastres Naturais e Gestão de Riscos, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais.

Florianópolis, 04 de junho de 2018.

  
Prof. Dr. Janete Josina de Abreu  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Renato Ramos da Silva (Orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Reinaldo Haas  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Wendel Rondinelli Gomes Farias  
Universidade Federal de Santa Catarina



## RESUMO

Historicamente a região norte do estado da Bahia têm sofrido muitos eventos de estiagem. Os primeiros relatos acerca das dificuldades encontradas pelas populações locais são do ano de 1553 e, no decorrer dos tempos, muitos habitantes migraram para diferentes regiões do Brasil em busca de novas oportunidades. Neste estudo, foram analisados dados climáticos da região, as possíveis mudanças climáticas locais baseadas em modelos do projeto CMIP5 e as presumíveis mudanças sociais decorrentes destes cenários. As análises dos dados climáticos para a região dos municípios de Umburanas e Sento Sé (BA) mostram que a região possui uma correlação negativa entre a precipitação e a intensidade dos ventos. Os resultados mostram que períodos de baixa precipitação estão correlacionados com períodos de ventos mais intensos. As análises dos cenários climáticos para a região apontam para uma tendência de diminuição de precipitação para as próximas décadas, agravando, ainda mais, os problemas de estiagem. Por outro lado, as análises dos cenários de ventos mostram que estes devem ficar mais intensos no mesmo período, podendo contribuir para o aproveitamento do potencial eólico da região. Atualmente, a exploração do potencial eólico para a geração de energia elétrica tem causado mudanças sociais profundas na região, grande oferta de empregos e possibilidades de novas perspectivas de vida têm feito com que o fluxo migratório ocorra no sentido contrário. Apesar do possível crescente aumento da estiagem, pela primeira vez as perspectivas sociais para estes municípios são boas. O desenvolvimento econômico oriundo da exploração eólica possibilita que a população local tenha acesso a emprego e a uma melhor qualidade de vida. A expectativa de aumento do potencial eólico no decorrer do século garante que esta situação se sustente por um longo período.

**Palavras-chave:** Estiagem. Seca. Mudanças Climáticas. Potencial Eólico. Geração de Energia.

## **ABSTRACT**

The drought at the northeast states of Brazil is a well-known event, and an historical problem to the region. The first document reporting this hazardous situation dated back to 1553, and since the colonization period migratory movements have been made by many of the local population seeking for better opportunities in different parts of the country. This paper analyses social and climateological aspects of Umburanas and Sento Sé, small towns at the north of Bahia state. Based on the climate models of CMIP5 project, it is possible to predict the impacts of the climate change until the year 2100. The climatological results shows an inverse correlation between wind speed and cumulative precipitation at this region, during dry seasons, higher wind averages are verified, and on wet seasons lower winds averages are reported. For the future scenarios, the climate models predict a decrease at the precipitation average, and an increase at the mean wind values. The region that already has a great wind capacity to power generation, may have even better winds in the future, making the Umburanas and Sento Sé cities even better places to develop wind-farm projects. Nowadays it is already possible to verify a good social development of the region due to the construction of two big wind farms. These projects are bringing jobs and opportunities to the local population, and even with the increasing drought, the social perspectives for the region are still very good due to the growing wind potential.

**Keywords:** Drought, Climate Change, Wind Power, Power Generation

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AR5	Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
CLA	Camada Limite Atmosférica
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPCP	Global Precipitation Climatology Project (Projeto Climatológico Global de Precipitações)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
MME	Ministério de Minas e Energia
NCAR	National Center for Atmospheric Research (Centro Nacional de Pesquisa Atmosféricas)
NCEP	National Center for Environmental Prediction (Centro Nacional para Previsões Ambientais)
PDE	Plano de Desenvolvimento Energético
RCP8.5	Representative Concentration Pathways 8,5 W/m <sup>2</sup> (Caminhos Representativos de Concentração 8,5 W/m <sup>2</sup> )
TSM -	Temperatura da Superfície do Mar
ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical
ZCA -	Zona de Convergência dos Alíseos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz Energética Mundial e Matriz Energética Renovável Mundial.....	16
Figura 2 - Capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica no Brasil.....	17
Figura 3 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica no Brasil.....	18
Figura 4 - Local de estudo, municípios de Sento Sé e Umburanas, no norte do estado da Bahia.....	19
Figura 5 – Comunidade de Rodoleiro – Município de Umburanas. ....	20
Figura 6 – Comunidade de Rodoleiro – Município de Umburanas. ....	20
Figura 7 – Mapa do relevo da região de Umburanas e Sento Sé (BA), com a indicação da região de estudo (900m de altitude em relação ao nível do mar). ....	21
Figura 8 – Mapa do potencial eólico do estado da Bahia, velocidades do vento (m/s) a 70 m de altura. Está indicada a região de estudo.....	22
Figura 9 – Localização dos aerogeradores eólicos instalados na região dos municípios Sento Sé e Umburanas nos estado da Bahia. Cada ponto nas linhas representa um aerogerador.....	23
Figura 10 – Montagem dos aerogeradores do Complexo Eólico Campo Largo localizado no norte do estado da Bahia. ....	24
Figura 11 - Dados históricos da intensidade do vento (m/s), no local de estudo, baseados nos campos de reanálise NCEP/NCAR para o período entre 1961 e 1990, para a grade localizada em 10,43' de latitude sul e 41,19' de longitude oeste. ....	28
Figura 12 - Dados históricos da precipitação (mm), no local de estudo, baseados no projeto GPCP para o período entre 1979 e 1990, para a grade localizada em 10,43' de latitude sul e 41,19' de longitude oeste.....	29
Figura 13 – Índice pluviométrico médio mensal (mm) do estado da Bahia ao longo das estações do ano para o período 1979 a 2017, baseado nos dados do programa GPCP.....	30
Figura 14 – Anomalias referentes à precipitação acumulada (mm) e ao vento médio mensal (m/s) da região de estudo para o período de 1985 a 1990. ....	30
Figura 15 – Relação entre à precipitação mensal acumulada (mm) e o vento médio mensal (m/s), da região de estudo, para o período de 1979 a 1990. ....	31
Figura 16 - Variação da direção do vento médio, de acordo com a época do ano, para fevereiro (esquerda) e agosto (direita).....	31
Figura 17 – Umburanas – BA, período úmido (fevereiro).....	32
Figura 18 – Umburanas – BA, período seco (agosto).....	32
Figura 19 – Previsão média de ventos futuros (m/s) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis. ....	33
Figura 20 – Projeção da média das precipitações (mm) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis. ....	33
Figura 21 - Projeção média das temperaturas (°C) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis. ....	34
Figura 22–Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de março, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	34
Figura 23– Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	35
Figura 24 –Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.....	35
Figura 25 – Projeções para intensidade média dos ventos (m/s) do mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	36
Figura 26 –Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de agosto, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	36



Figura 27 – Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de agosto, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.....	37
Figura 28 – Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de agosto, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	37
Figura 29 – Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de agosto, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5. ....	37
Figura 30 – Histograma e <i>Box Plot</i> comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca das precipitações acumuladas (mm) para os meses de janeiro e fevereiro.....	38
Figura 31 – Histograma e <i>Box Plot</i> comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca das precipitações acumuladas (mm) para os meses de março a dezembro. ....	39
Figura 32 – Histograma e <i>Box Plot</i> comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca da intensidade média dos ventos (m/s) durante o período anual. ....	40

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação climática.....	25
Quadro 2 - Modelos climáticos globais do projeto CMIP5.....	25

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 REGIME DE CHUVAS E ESTIAGEM.....	15
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	16
2.3 REGIME DE VENTOS E PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	16
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>19</b>
3.1 LOCAL DE ESTUDO .....	19
<b>3.1.1 Geomorfologia</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1.2 Flora</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1.3 Climatologia</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1.4 Dados climáticos</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1.5 Cenários climáticos</b> .....	<b>27</b>
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	27
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CLIMATOLOGIA DA REGIÃO DE ESTUDO.....	28
4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS .....	32
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS CENÁRIOS PARA OS MESES DE MARÇO E AGOSTO .....	34
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA ANUAL DOS CENÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA.....	38
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA ANUAL DE DADOS FUTUROS DE VENTOS MÉDIOS.....	40
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>43</b>
<b>6 DISCUSSÃO FINAL</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A problemática da estiagem na Região Nordeste do Brasil é demasiada conhecida e tem sido muito estudada ao longo dos anos, principalmente na área denominada Polígono das Secas. Este polígono compreende as regiões áridas dos estados da Bahia, Paraíba, Ceará, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e norte de Minas Gerais, e se destaca por apresentar altas temperaturas, clima seco e baixa precipitação (ANJOS et al., 2017).

Esta região está localizada numa área com baixa influência de massas de ar úmidas e frias vindas do sul, fazendo com que as chuvas ocorram poucas vezes durante o ano. Por esse motivo, durante a maior parte do ano, a região permanece com uma massa de ar quente e seca (CORDEIRO; BEZERRA; MELLO, 2012).

Estes períodos de seca podem ser agravados por anos com baixa precipitação, principalmente durante períodos de ocorrência de anomalias quentes da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do atlântico tropical e do fenômeno *El Niño*, que altera a posição da Célula de Walker, produzindo movimentos subsidentes e baixa formação de nuvens e chuva na região (IPCC, 2014; MARENGO; ALVES; ALVALA, 2017).

Além dos impactos climáticos, advindos da baixa precipitação e consequente estiagem, as questões sociais oriundas deste processo são impactantes para toda a sociedade do local. A falta de água inviabiliza o desenvolvimento agrário, tanto para a produção de alimentos como de animais, causando falta de recursos financeiros para as comunidades locais e, conseqüentemente, fome e miséria. Os períodos de seca têm sido responsáveis por um grande processo migratório ao longo dos anos. Historicamente a falta de água nesta área fez muitas famílias deixar suas casas e procurar melhores oportunidades em outras regiões do Brasil (COELHO, 2012).

Recentes cenários climáticos, produzidos por modelos do sistema terrestre, mostram que esta região poderá ter uma diminuição da precipitação, nas próximas décadas, em decorrência das mudanças climáticas globais geradas, principalmente, pelo aumento da concentração dos gases de efeito estufa (IPCC, 2014; ; SILVA; HAAS, 2016; SILVA; CEPEL; BARRETO, 2016).

Apesar das questões relativas à estiagem e às diversas dificuldades expostas anteriormente, em contrapartida, o nordeste brasileiro é reconhecido mundialmente por ter um regime de ventos muito favorável para a exploração eólica. Nesta região, o fator de capacidade alcançado pelas usinas nacionais é bastante alto, se comparado à média mundial. Atualmente, parte da energia elétrica gerada na região é proveniente desta fonte e existe uma grande expectativa de crescimento para os próximos anos (AMARANTE; ZACK; BROWER, 2001; IPCC, 2011; MARENGO; ALVES; ALVALA., 2017; MME, 2014).

Esta condição climática privilegiada para a geração de energia eólica vem aos poucos alterando a situação econômica de algumas regiões do nordeste do Brasil. Com a implantação de grandes parques eólicos em regiões tradicionalmente castigadas pela seca, inclusive com a instalação de indústrias para suprir as demandas destas usinas, está sendo possível garantir trabalho e qualidade de vida para as populações destes locais.

Esta dissertação tem como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas no regime de ventos e chuvas dos municípios de Umburanas e Sento Sé (BA), correlacionando os resultados climáticos com as questões sociais da região. Aparentemente, existe uma relação inversa entre estas variáveis apontando que, à medida que o vento aumenta, as chuvas diminuem. A ausência de chuvas agrava os problemas oriundos da seca e da aridez da região, já o aumento dos ventos, no entanto, pode trazer benefícios econômicos e sociais advindos da instalação de parques eólicos para geração de energia elétrica, gerando riqueza para o local.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Os impactos das mudanças climáticas são percebidos de forma variada em diferentes regiões e comunidades. Em localidades com maior vulnerabilidade social e climática, este impacto é agravado, trazendo grandes problemas para as populações locais (OTTO et al., 2017; SANTOS, 2008).

A Região Nordeste do Brasil, historicamente, sempre sofreu com a estiagem. Os severos períodos secos marcaram a população dessa região desde a época da colonização portuguesa. (MATOS; CELINA; SALES, 2012).

Estudos recentes têm apontado que, com as mudanças climáticas, a problemática da seca no nordeste brasileiro deve se intensificar nas próximas décadas (GUIMARÃES et al., 2013; IPCC, 2014; MARENGO; ALVES; ALVALA, 2017; SILVA; HAAS, 2016). As baixas precipitações, degradação do uso da terra, desertificação, junto com as condições sociais da região, fazem da região um dos locais mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas no mundo (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014).

Resultados de simulações dos cenários climáticos sugerem que, além de um decréscimo nos volumes de precipitação, é percebido também um possível aumento na intensidade dos ventos de superfície (IPCC, 2014; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; SILVA; HAAS, 2016) o que podem contribuir para um aumento do potencial de geração de energia eólica da região.

Em todo mundo, a geração eólica expandiu-se de forma acelerada ao longo da última década, atingindo a escala de *gigawatts* (AMARANTE; ZACK; BROWER, 2001), e a expectativa é que entre 15% e 18% da eletricidade mundial, em 2050, seja gerada a partir desta fonte (IEA, 2013). O Brasil seguiu esta tendência e,

atualmente, a capacidade instalada eólica nacional para geração de energia elétrica é de 12,7 GW, sendo que a grande maioria está instalada, principalmente, no nordeste do país (MME, 2014; NASIMENTO, 2018). Existe, portanto, uma grande expectativa de expansão desta fonte na matriz energética brasileira, impulsionada pelo barateamento dos custos de implantação e pelo processo de descarbonização que está sendo incentivado globalmente com intuito de mitigar as Mudanças Climáticas (IPCC, 2011, 2014).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) elaborou uma série de estudos e modelos matemáticos e concluiu que a temperatura média da atmosfera vem aumentando e deverá aumentar nas próximas décadas. Com isso, deverá ocorrer maior frequência de eventos extremos e mudanças nos padrões espaciais de precipitação e ventos, entre outros (IPCC, 2014; MARENGO, 2007; MULUGETTA et al., 2014; SILVA & HAAS, 2016).

Os modelos do sistema climático mostram que a principal causa das mudanças que deverão ocorrer nas próximas décadas está associada às mudanças da superfície e ao aumento dos gases do efeito estufa, que são gerados principalmente durante a produção de energia. A atual matriz energética mundial produz grandes concentrações de gases que intensificam o efeito estufa, portanto, alternativas de geração de energia têm sido propostas como forma de amenizar as possíveis mudanças climáticas. Entre as principais sugestões para a mitigação climática estão a geração de energia por fontes renováveis, entre elas, a geração eólica (IPCC, 2011).

Nos municípios de Umburanas e Sento Sé, norte do estado da Bahia, é verificado que alterações positivas no regime de ventos podem estar correlacionadas com alterações negativas no regime de chuvas. Recentes estudos para a região mostram que os ventos locais são de grande qualidade para a geração eólica (AMARANTE; ZACK; BROWER 2001; SCHAEFFER, 2017; SILVA et al., 2016). Portanto, apesar de um possível aumento da estiagem na região, pode haver um maior aproveitamento da energia eólica através da instalação de usinas de geração de energia elétrica que, por sua vez, trazem benefícios sociais para a comunidade local. O aumento do regime de ventos pode ser um fator determinante para uma nova perspectiva de vida para estas populações.

Apesar do possível crescente aumento da estiagem, pela primeira vez as perspectivas sociais para estes municípios são boas. Atualmente, esta região possui dois grandes complexos eólicos em construção: o Complexo Eólico Campo Largo e o Complexo Eólico Umburanas. Estes parques têm capacidade instalada total de 683 MW, e empregam mais de 1500 trabalhadores em sua construção, sem considerar as obras das Linhas de Transmissão e Subestações para escoamento da energia gerada.

Dentro deste contexto, este estudo se propõe: analisar os regimes de ventos e chuva para os municípios de Umburanas e Sento Sé - BA; estimar os cenários de mudanças climáticas; discutir como estas mudanças podem afetar a vida das populações locais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

- Caracterizar a climatologia e analisar os impactos das mudanças climáticas no regime de ventos e de chuvas nos municípios de Umburanas e Sento Sé, no norte do estado da Bahia. Correlacionar um possível agravamento nas condições de seca da região, com um possível aumento no potencial eólico, mitigando, assim, alguns problemas sociais enfrentados pela população local.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a climatologia de ventos e chuvas da região de estudo.
- Avaliar cenários climáticos e seus reflexos, principalmente no regime de ventos e de chuva da região de estudo.
- Discutir as possíveis consequências sociais das alterações climáticas verificadas.
- Avaliar possíveis melhorias, para as comunidades locais, advindas das alterações verificadas nos regimes de ventos na região.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas últimas décadas, vários estudos científicos têm se voltado ao desenvolvimento de cenários de mudanças climáticas e os potenciais impactos na sociedade. Inicialmente, boa parte destes trabalhos foram desenvolvidos na análise das variações médias de temperaturas e de precipitação, focado, principalmente, na agricultura e nos recursos hídricos. Somente nas últimas décadas, verificou-se um aumento nos trabalhos voltados a analisar os impactos nestes diferentes cenários em decorrência da matriz energética, pois esta é a principal fonte de gases de efeito estufa. Atualmente, vários estudos têm sido feitos para avaliar os efeitos da mitigação climática, principalmente no investimento para a geração de energia por fontes renováveis (IPCC, 2011; SAILOR; SMITH; HART, 2008).

Estudos recentes têm procurado avaliar os impactos das mudanças climáticas em diversas localidades do mundo e muitos deles tratam exclusivamente da temática da estiagem, ou focam apenas nas alterações nos padrões dos regimes de ventos (FANT; SCHOLESSER; STRZPECK, 2015; MA et al., 2013; STADLER; DRYDEN; GREENE, 2015; WACHSMUTH et al., 2013). Não existem, atualmente, estudos que correlacionam os regimes de vento e de chuva com os aspectos sociais em se tratando, principalmente, da região norte do estado da Bahia.

A seguir, será apresentada a revisão bibliográfica em três seções distintas; uma com um enfoque político social, direcionada ao tema da estiagem no nordeste brasileiro e outras duas com um enfoque nos fenômenos físicos, direcionadas às mudanças nos regimes de ventos oriundos das mudanças climáticas. Todas as seções serão focadas, principalmente, na região norte do estado da Bahia, que será o local de estudo deste trabalho.

### 2.1 REGIME DE CHUVAS E ESTIAGEM

O fenômeno climático da seca é causado pela falta, ou insuficiência, de precipitações numa região por um longo período de tempo (normalmente maior que uma estação) o que, pode ocasionar consideráveis desequilíbrios hidrológicos (MEIRA, 1982). Este fenômeno possui um caráter permanente e caracteriza-se pelo esgotamento da umidade do solo, morte das plantas por falta de água, depleção do suprimento de água subterrânea e redução, e eventual cessação, do fluxo dos cursos de água (EAKIN et al., 2014; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

O primeiro registro de seca no interior da Bahia é de 1553, feita pelo padre Aspiculeta Navarro, fenômeno este que continua se repetindo ao longo dos séculos, provocando episódios de fome, escassez de alimentos, movimentos migratórios e demais sofrimentos para a população local. Fazendo com que muitos buscassem melhores condições de vida na cidade de Salvador ou em outras regiões do Brasil (GONÇALVES, 2000).

Esta situação já se repetiu inúmeras vezes desde 1553. No ano de 1877, o nordeste brasileiro vivenciou o maior desastre natural já ocorrido em terras brasileiras, chamada de “A Grande Seca”. Estima-se que a estiagem que ocorreu durante os anos de 1877, 1878 e 1879 causou a morte de, aproximadamente, 500 mil pessoas (GARCIA, 2010).

Segundo estudos recentes, entre os anos de 2000 e 2014, o território do estado da Bahia apresentou queda do nível das chuvas, redução da cobertura vegetal nativa e aumento no índice de aridez e das áreas com risco de desertificação. Esta condição poderá continuar se agravando entre os anos de 2021 a 2050, podendo ocorrer um aumento da temperatura de até 1°C e diminuição das precipitações em relação ao clima atual (DOURADO, 2018)

Alguns autores mostram que as mudanças climáticas podem ser responsáveis por grandes processos migratórios no futuro (MCMICHAEL; BARNETT, 2012) e, no nordeste brasileiro, este processo já vem sendo verificado ao longo dos anos (COELHO, 2012).

A seca tem motivado a população da região nordeste à migração em busca de áreas mais favorecidas de recursos e de trabalho. Muitos têm recorrido ao deslocamento para o Sudeste do país com o intuito de fugir das dificuldades, enquanto outros sobrevivem dos recursos públicos de caráter emergencial (FRANCISCA, 2013).

A irregularidade de chuvas na região denominada “Polígono das Secas” é percebida tanto no tempo como no espaço. A escassez de água é um fator determinante ao baixo desenvolvimento socioeconômico e, até mesmo, à subsistência da população. Os efeitos das secas e sua ocorrência são bem conhecidos e remetem aos primórdios da história da região (SOBRINHO; JÂNIO; SOUSA, 2016).

Com as situações extremas de estiagem, a agricultura de subsistência torna-se impraticável devido a diminuição da água disponível para irrigação. Os açudes secam, morrem as culturas e os peixes. A contaminação da água causa, ainda, vítimas de doenças infectocontagiosas e gastrointestinais, como efeitos colaterais de maiores desconfortos ao organismo humano, sobretudo em idosos e crianças (FRANCISCA, 2013).

A imprevisibilidade da variabilidade climática influencia na ineficiência dos planos de ação mobilizados para neutralizar ou mesmo evitar as consequências da estiagem prolongada. O retardo às tomadas de decisão, a limitação de recursos, bem como a lenta execução das obras projetadas, têm adiado a viabilidade de água para o semiárido. (FRANCISCA, 2013).

A falta de chuvas em uma região pode ser administrada de forma a não comprometer a sobrevivência das comunidades locais e a própria seca não pode ser definida apenas a partir da intensidade e frequência das precipitações (ANDRADE, 1985). O Índice de Severidade de Seca, de Palmer, é uma das metodologias disponíveis para caracterização da seca a partir de variáveis meteorológicas e é calculado o total de precipitação requerida para manter uma área, em um determinado período, sob condições de economia estável (NKEMDIRIM, 2015; PAULO, 2004).

## 2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) desenvolveu quatro projeções acerca das concentrações de gases de efeito estufa até o ano de 2100. Estes diferentes cenários avaliam a evolução, ao longo dos anos, de diversos fatores, como emissão e concentração de gases efeito estufa, tipo de cobertura terrestre, interação com os oceanos. Esta metodologia tem sido revisada ao longo dos anos e, à medida que novos estudos são feitos, a revisão dos cenários é atualizada através do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) que coordena os trabalhos de avaliação dos modelos climáticos e seus resultados (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012). No quinto relatório de avaliação (AR5), do IPCC, foram feitos vários progressos na representação física dos modelos. Entre estes, foi aperfeiçoada a correlação entre o aquecimento dos oceanos e a diminuição na sua capacidade de absorção de dióxido de carbono da atmosfera. Portanto, tem-se melhorado a representação do balanço de radiação do sistema terrestre (razão entre a quantidade de energia solar que entra e sai do planeta Terra) (IPCC, 2014).

Estes diferentes cenários são chamados de “Caminhos Representativos de Concentração” (Representative Concentration Pathway – RCP) e apresentam diferentes evoluções de concentrações de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para o ano de 2100 em *Watts* por  $m^2$ . Estes cenários de emissões foram desenvolvidos para auxiliar os pesquisadores acerca do resultado das políticas de combate às mudanças climáticas no futuro (MOSS et al., 2010). O relatório AR5 parte de um cenário mais otimista, RCP2.6 (2,6  $W/m^2$ ), onde se considera o resultado de políticas que estimulam a redução de GEE em contraste com um cenário mais pessimista, RCP8.5 (8,5  $W/m^2$ ), onde não há aplicação de nenhum tipo de política mitigadora; havendo ainda dois cenários intermediários: RCP4.5 e RCP6.0 (IPCC, 2014).

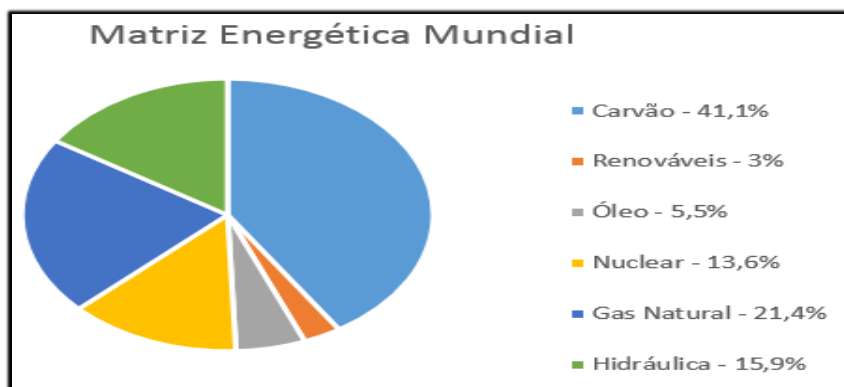
Os cenários representam possíveis mudanças futuras no sistema climático causadas, principalmente, por ações antropogênicas que, por sua vez, contribuem para o agravamento das consequências destas mudanças. Nestas previsões são consideradas influências de diversos fatores: físicos, ecológicos, biológicos, sociais, econômicos e tecnológicos que tem contribuições nas emissões de GEE (IPCC, 2014).

O relatório AR5, do IPCC, aponta que o aumento da média global da temperatura terrestre, muito provavelmente, está relacionada com o aumento das concentrações de GEE na atmosfera e estes, por sua vez, aumentaram devido a um processo antropogênico. O estudo sugere que as emissões destes gases está associada com os processos atuais de produção de energia, sendo estes os principais responsáveis pelo processo de mudanças climáticas em andamento (IPCC, 2011, 2014).

## 2.3 REGIME DE VENTOS E PRODUÇÃO DE ENERGIA

A demanda por energia tem aumentado e o crescimento demográfico e consequente avanço econômico têm feito com que a busca por este recurso seja cada vez maior. O desenvolvimento das cidades, e o modo de vida moderno, faz com que a necessidade energética seja contínua e, nos dias atuais, todos os serviços básicos para a sobrevivência humana estão atrelados ao consumo de energia elétrica (BRETT, 2008). Inicialmente, esta demanda era atendida exclusivamente pela queima de combustíveis fósseis e causou um rápido aumento nas concentrações de gases do efeito estufa. Atualmente, a queima destes combustíveis continua sendo maioria na matriz energética mundial. No entanto, aos poucos, as fontes energéticas renováveis têm apresentado uma maior participação, conforme apresentado na Figura 1 (IPCC, 2011; SILVA et al., 2016).

Figura 1- Matriz Energética Mundial e Matriz Energética Renovável Mundial.



Fonte: IPCC, 2011

Estudos recentes têm mostrado que o regime de ventos global poderá ser significativamente alterado no próximo século (PRYOR; BARTHELMIE, 2010; STADLER et al., 2015; TOBIN et al., 2014; WACHSMUTH et al., 2013). De maneira geral, espera-se que a região do hemisfério norte do globo tenha um decréscimo nos padrões



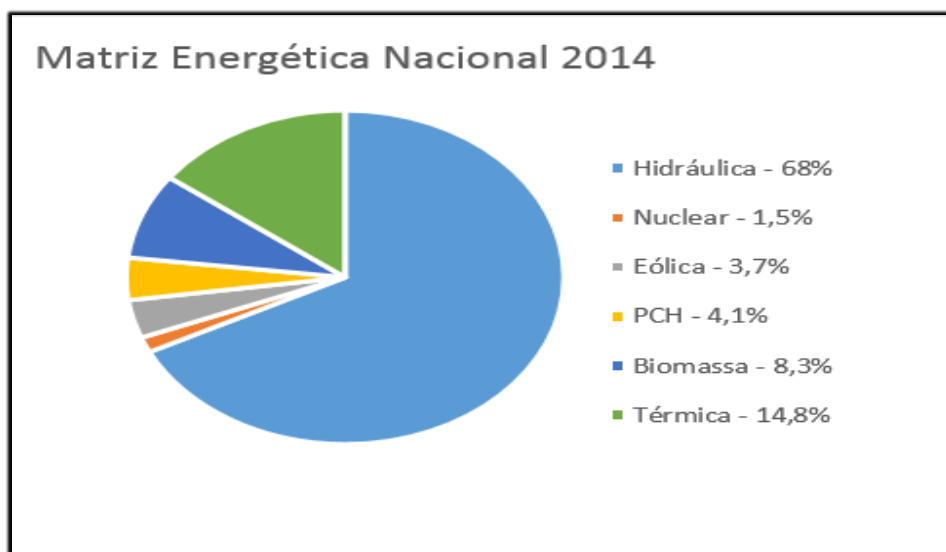
de vento associado com o aquecimento global. Esta mudança deverá ocorrer devido ao aumento das temperaturas na região do Polo Norte, que diminui a diferença de temperatura em relação a Linha do Equador, e a diminuição deste gradiente afeta diretamente o regime de ventos. Já no hemisfério sul, este comportamento não é verificado pois, com a predominância de regiões oceânicas em relação às partes terrestres, as diferentes velocidades de aquecimento da água em relação à terra, faz com que a diferença de temperaturas se mantenha elevada, contribuindo para uma intensificação dos regimes de velocidade dos ventos (KARNAUSKAS; LUNDQUIST; ZHANG, 2017).

No Brasil, as mudanças climáticas poderão ser percebidas nos ventos da Região Nordeste e Sul, onde poderá ocorrer um possível aumento de velocidade, principalmente no primeiro semestre, que é tradicionalmente a temporada de menor intensidade contribuindo, assim, para um maior fator de capacidade dos empreendimentos eólicos das regiões (PEREIRA et al., 2013). Na Região Nordeste, além de um aumento da intensidade dos ventos de superfície, é verificado também um possível decréscimo nos volumes de precipitação (IPCC, 2014; SILVA & HAAS, 2016).

O estado da Bahia está entre as melhores regiões do mundo para o aproveitamento eólico, não apenas pelo potencial de ventos alísios, como também pela crescente demanda de energia resultante de seu desenvolvimento econômico (AMARANTE; ZACK; BROWER, 2001). As estratégias governamentais estão alinhadas para a promoção do desenvolvimento autossustentável do estado da Bahia, com base na utilização dos recursos ambientais disponíveis. A necessidade de ampliação da oferta de energia elétrica no estado, em bases econômica e ambientalmente sustentáveis, estabelece condições propícias para a implantação de empreendimentos eólio-elétricos (PAPYRUS, 2016).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2024, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) incorpora uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta energética no período de 2015 a 2024. Para este período é previsto um aumento de 41,1% ao ano, na demanda atual por energia e, para atender esta carga, é previsto a inserção de novas usinas para geração de energia elétrica na matriz nacional (MME, 2014). Neste novo cenário, está previsto 24 GW de usinas eólicas, representando 11,6% da matriz energética nacional futura, conforme Figura 2 e Figura 3 (MME, 2014; NASCIMENTO, 2018).

Figura 2 - Capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica no Brasil.



Fonte: PDE, 2014.

Figura 3 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica no Brasil.



Fonte: PDE, 2014.

À medida em que os impactos das mudanças climáticas se farão sentir desde o presente até as décadas futuras, a análise de adaptação deve ser feita com base em cenários futuros para o setor energético, e não apenas com base no setor energético atual. Dessa forma, faz-se necessário criar um cenário de referência para o setor energético que sirva de base de comparação para a avaliação de impactos de mudanças climáticas (SCHAEFFER, 2017).

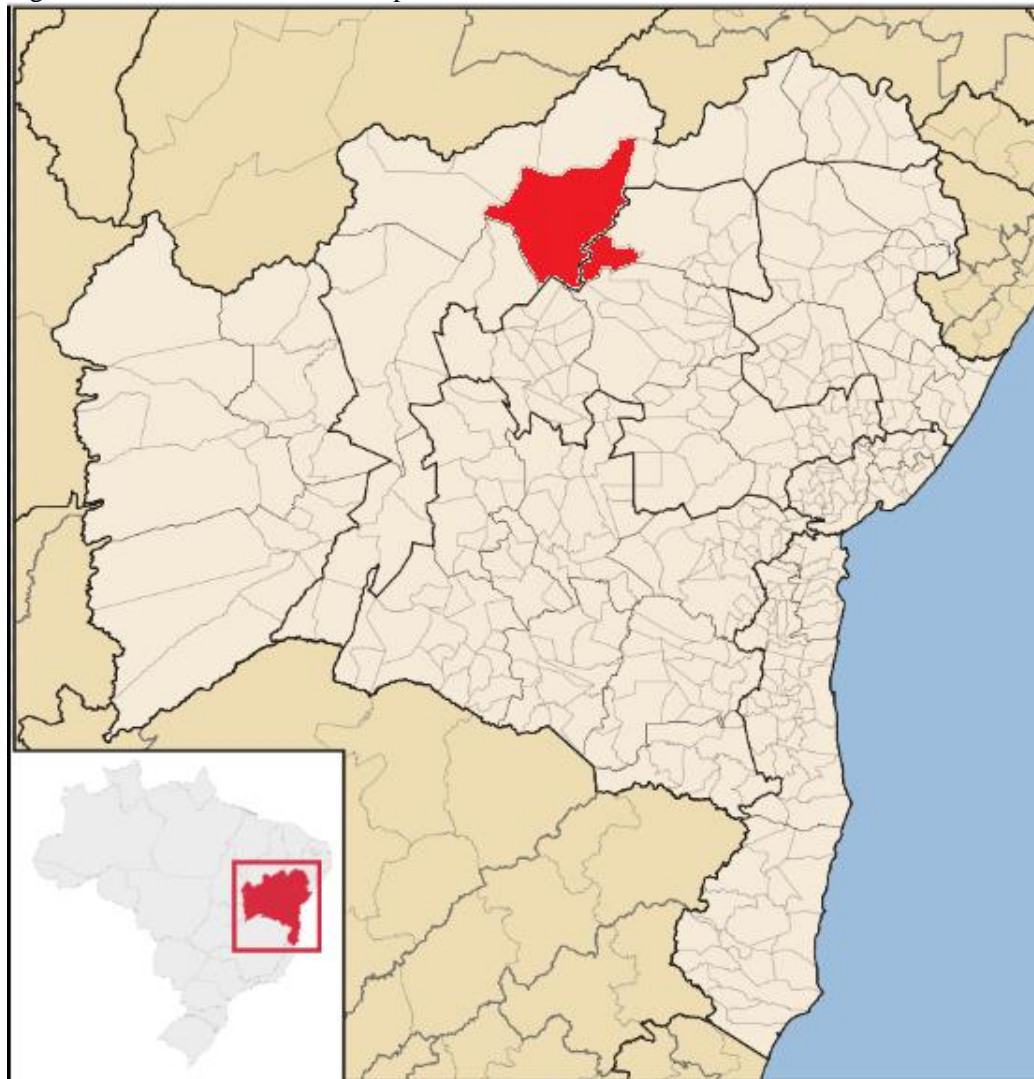
No decorrer do período de vigência do PDE 2024 e durante todo o século XXI, os relatórios divulgados pelo IPCC preveem um expressivo aquecimento global, causado principalmente pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). As mudanças climáticas provocadas por este aquecimento afetam o nível do mar, a temperatura e a acidez dos oceanos, extensão e espessura do gelo nos polos, regime de ventos e disponibilidade de água no planeta (IPCC, 2014; MARENGO, 2007).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

O local do estudo está situado no norte do estado da Bahia, e compreende os municípios de Sento Sé e Umburanas (Mesorregiões do Vale do São Francisco, e Centro Norte), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Local de estudo, municípios de Sento Sé e Umburanas, no norte do estado da Bahia.



Fonte: Wikipedia

De acordo com o Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal, os dois municípios pertencentes ao local de estudo possuem notas muito baixas em relação à média nacional. Sento Sé ocupa a 5.429ª posição entre os municípios brasileiros, e Umburanas não aparece na listagem. A população habita, na sua maioria, a zona rural que carece de condições básicas de infraestrutura e que sofre, historicamente, com grandes períodos de estiagem (FIRJAN, 2011). A Figura 5 e Figura 6 são da Comunidade de Rodoleiro, pertencente ao município de Umburanas, e retratam bem as dificuldades enfrentadas pela população local.

Figura 5 – Comunidade de Rodoleiro – Município de Umburanas.



Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2015.

Figura 6 – Comunidade de Rodoleiro – Município de Umburanas.

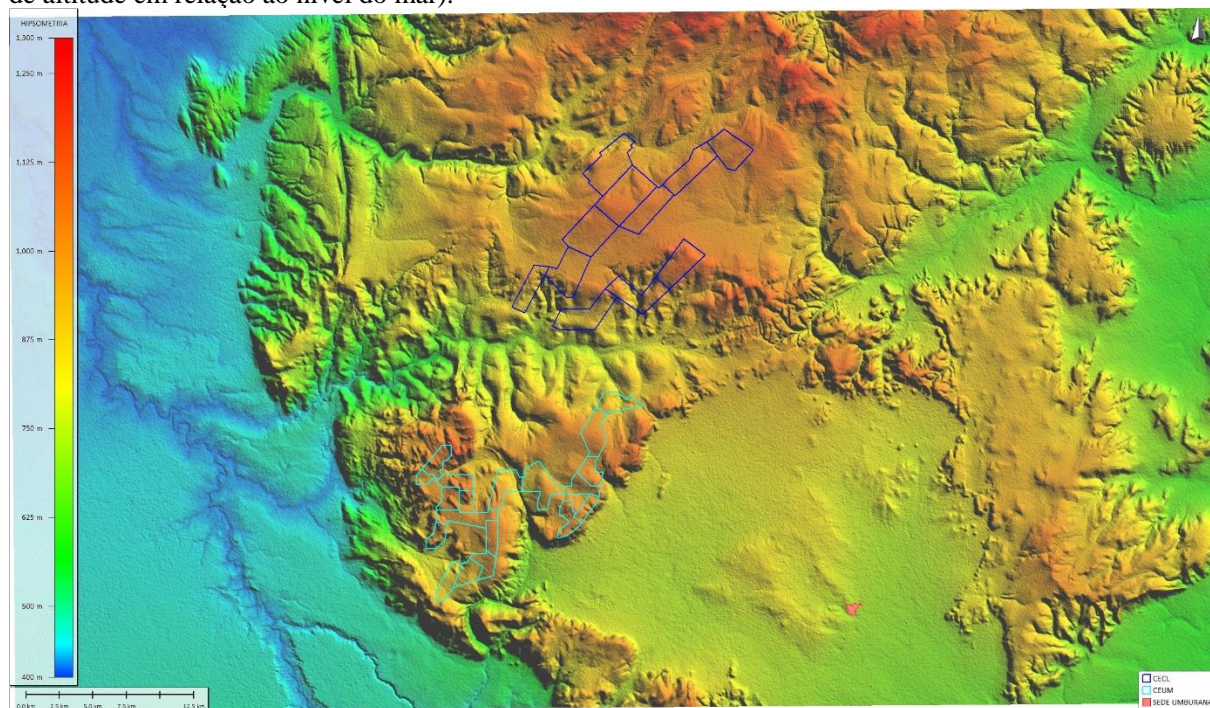


Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2015.

Diferente dos outros estados da região, que tem maior incidência de ventos no litoral, a Bahia concentra seu potencial eólico no interior, o que permite que investimentos sejam realizados e empregos sejam gerados em zonas economicamente menos favorecidas (PAPYRUS, 2016).

Na Figura 7 é apresentado o mapa do relevo da região de Umburanas e Sento Sé, no estado da Bahia, onde é possível perceber, através da técnica de hipsometria (representação de relevo através de cores), que o local é uma região de altitude com aproximadamente 900 metros de altitude em relação ao nível do mar (AMPLA; QUIFEL, 2011a). Na Figura 7 também é possível perceber o local de implantação dos Complexos Eólicos de Umburanas e Campo Largo, através dos traços sob o relevo, e na Figura 8 fica demonstrado o excelente potencial eólico da região do estudo.

Figura 7 – Mapa do relevo da região de Umburanas e Sento Sé (BA), com a indicação da região de estudo (900m de altitude em relação ao nível do mar).

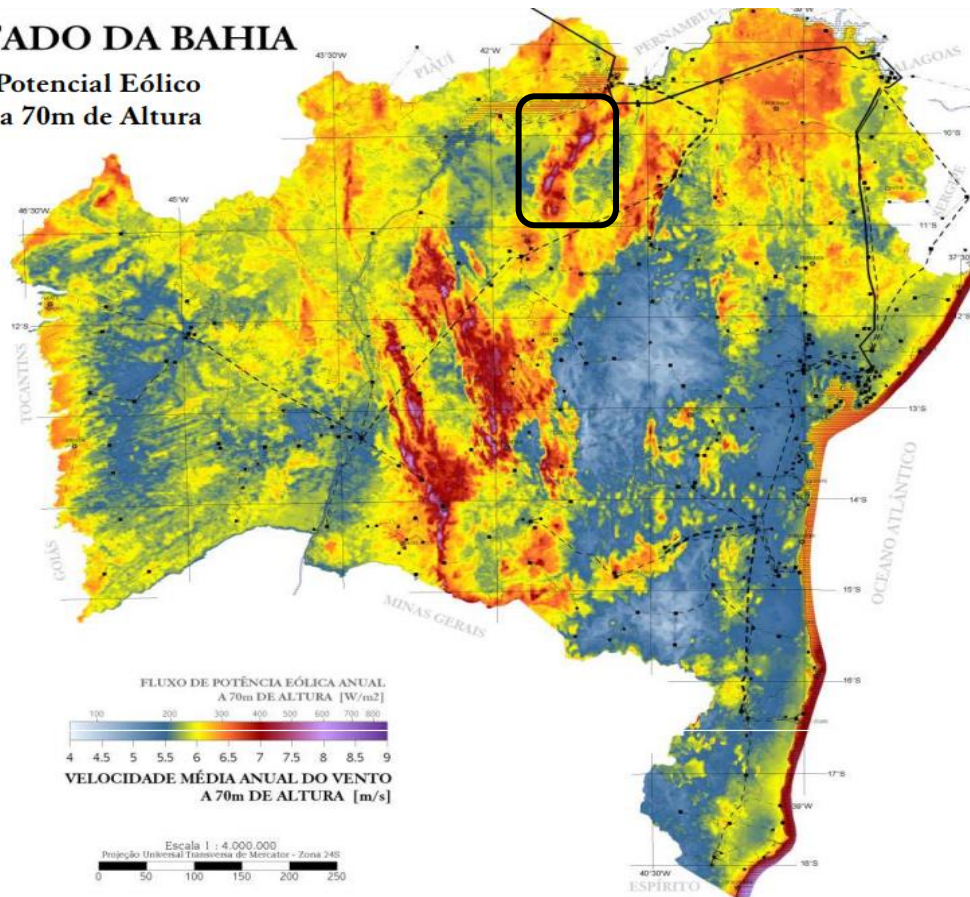


Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2018.

Figura 8 – Mapa do potencial eólico do estado da Bahia, velocidades do vento (m/s) a 70 m de altura. Está indicada a região de estudo.

## ESTADO DA BAHIA

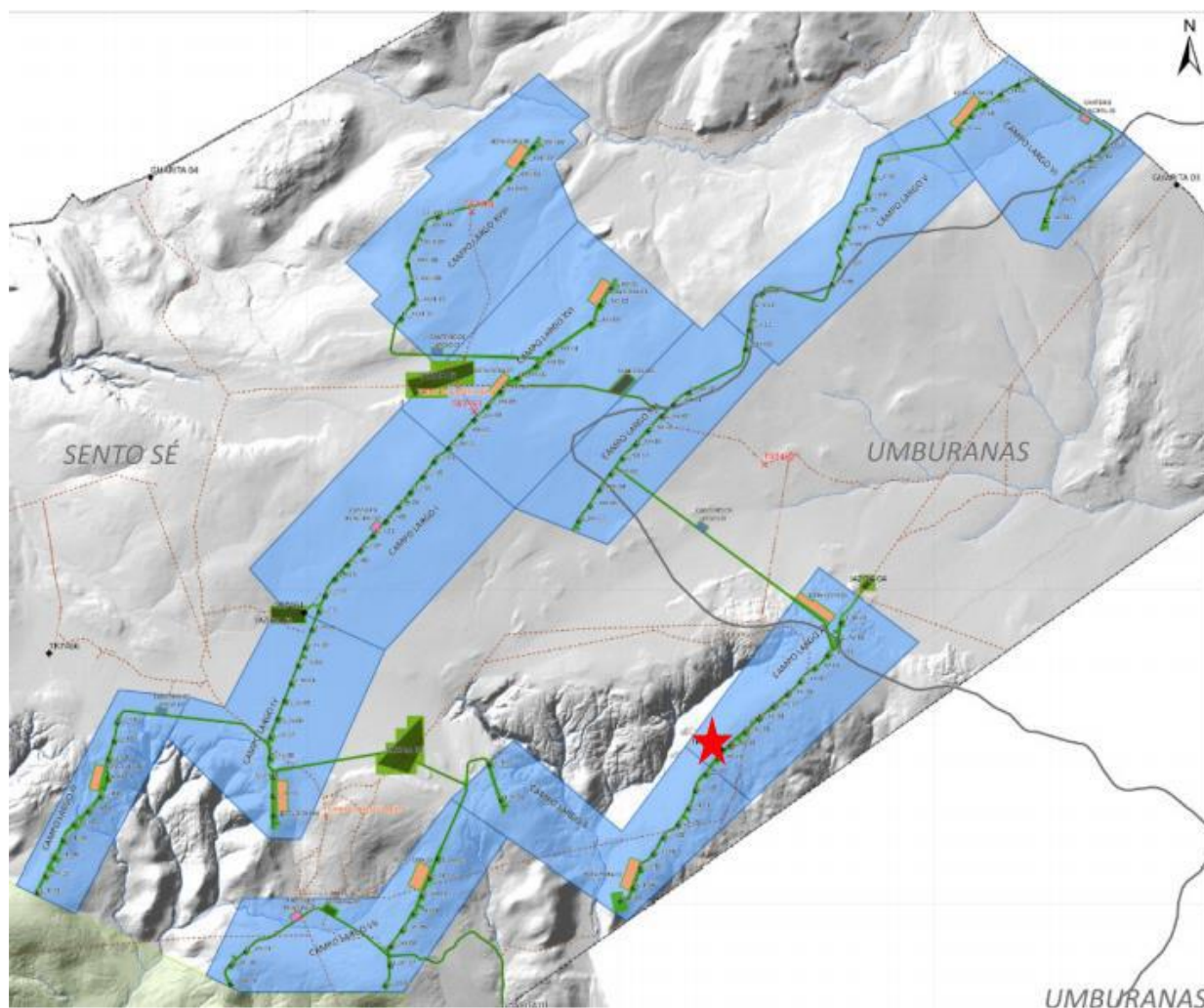
### Potencial Eólico a 70m de Altura



Fonte; Atlas eólico da Bahia, 2013.

A escolha do local está relacionada com o Complexo Eólico Campo Largo e o Complexo Eólico Umburanas, empreendimentos para geração de energia elétrica, que estão sendo implantados nestes municípios. A Figura 9 apresenta o diagrama de localização dos aerogeradores do Complexo Eólico Campo Largo e na Figura 10 são apresentadas fotos ilustrando a situação atual deste empreendimento.

Figura 9 – Localização dos aerogeradores eólicos instalados na região dos municípios Sento Sé e Umburanas no estado da Bahia. Cada ponto nas linhas representa um aerogerador.



Fonte: ENGIE Brasil Energia , 2017.

Figura 10 – Montagem dos aerogeradores do Complexo Eólico Campo Largo localizado no norte do estado da Bahia.



Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2018.

### 3.1.1 Geomorfologia

Segundo estudo feito para implantação do projeto eólico, na região predomina a presença de maciços residuais e a geomorfologia da área apresenta simplicidade em termos de feições, com relevo acidentado e dissecado. No que toca à topografia, conforme constatado nos dados altimétricos gerados a partir de sensor, o terreno, por vezes, é ondulado com alguns desníveis. As curvas de nível atingem valores que variam entre 815 e 1131 metros, com elevações e rebaixamentos gradativos (AMPLA; QUIFEL, 2011a).

### 3.1.2 Flora

A caatinga, vegetação caducifólia espinhosa, é o principal ecossistema existente na região Nordeste do Brasil, ocupando quase a totalidade da área pertencente aos estados nordestinos e ao norte de Minas Gerais. É um ecossistema único pois, embora se localize em área de clima semiárido, apresenta um número expressivo de *taxon* raros e/ou endêmicos (GIULIETTI et al., 2004).

No caso da Bahia, o bioma caatinga ocupa a maior parte das regiões Nordeste e Central do estado. Na localidade de Umburanas e Sento Sé encontraram-se áreas de bioma da caatinga onde as condições climáticas



influenciam a vegetação local, como campos rupestres e cerrados. Por outro lado, a existência dessas condições possibilita a penetração de espécies características desta vegetação, naturalmente adaptadas às condições secas (AMPLA; QUIFEL, 2011b).

### 3.1.3 Climatologia

Embora o Nordeste Brasileiro possua uma diversidade de paisagens, predomina espacialmente o regime climático semiárido de caráter nitidamente sazonal, marcado por alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, temperaturas sempre elevadas e uma elevada taxa de evaporação (FRANCISCA, 2013; SANTOS, 2008).

As variações climáticas, da região em análise, estão associadas ao regime pluviométrico influenciado por precipitações orográficas e temperaturas mais baixas em decorrência da altitude. A direção dos ventos sofre variações, influenciados pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), conforme verificado na Figura 16 - Variação da direção do vento médio, de acordo com a época do ano, para fevereiro (esquerda) e agosto (direita). Figura 16 (AMPLA; QUIFEL, 2011a; MARENGO; ALVES.; ALVALA et al., 2017).

A correta classificação climática deve considerar, além dos regimes térmicos, as características pluviais e hídricas. A interdependência entre estes diferentes parâmetros, resultará no balanço climatológico local e, conseqüentemente, será possível determinar o clima regional e o respectivo mesoclima (AMPLA; QUIFEL, 2011a).

De forma a padronizar as classificações climáticas para diferentes locais e permitir a correlação entre eles, são utilizados métodos empíricos reconhecidos. Desta forma é possível comparar o clima de diferentes regiões do globo utilizando um modelo comum. No Quadro 1, são apresentados as Classificações Climáticas para a região do estudo, de acordo com o método de Köppen (GEIGER; KÖPPEN, 1936) e de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 2007).

Quadro 1- Classificação climática

Modelo	Classificação	Descrição
Thornthwaite	DdB'4a' (semiárido)	Semiárido
Köppen	BSwh	Deserto ou semideserto quente (temperatura anual média do ar igual ou superior a 18 °C)

Fonte: Köppen., 1936; Thornthwaite, 2007.

O clima semiárido é caracterizado pela baixa umidade e pouco volume pluviométrico. Segundo Verhey (2006), o clima semiárido apresenta precipitação de chuvas anuais média entre 200 mm e 500 mm. A temperatura média anual é de 26,0°C, sendo a amplitude térmica média anual de 3,4°C (PAPYRUS, 2016).

### 3.1.4 Dados climáticos

Dados climáticos de ventos foram avaliados para a região de estudo baseados em campos oriundos do Projeto de Reanálises do National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) (KALNAY et al., 1996). Estes dados globais possuem resolução espacial de 2,5 x 2,5 graus de latitude-longitude, estão disponíveis para o período entre 1948 e 2017 e foram produzidos a partir de observações feitas ao longo do tempo.

Estes dados auxiliaram na caracterização das variabilidades climáticas verificadas para o local de estudo, incluindo variações da periodicidade sazonal ([www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html)).

Dados de precipitação foram obtidos a partir do projeto Global Precipitation Climatology Project (GPCP) para o período 1979 a 2017, com resolução de 2,5 x 2,5 graus de latitude-longitude. Estes dados foram usados para caracterizar a climatologia pluviométrica da região de estudo (ADLER et al., 2003).

Dados de cenários climáticos para a região foram obtidos a partir do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5) e são resultado de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa, forçadas pelas concentrações estimadas de gases de efeito estufa para o século XXI (IPCC, 2014; TAYLOR et al., 2012). Estas simulações contribuíram para elaboração dos relatórios do IPCC (SILVEIRA et al., 2013). No presente estudo foi usado o cenário RCP8.5, pois análises recentes apontam que este deve ser o cenário mais provável (RAFTERY et al., 2017). As análises dos cenários basearam-se em estimativas decenais para o período entre 2000 e 2100.

Os modelos globais utilizados no projeto CMIP5 e seus respectivos Centros de Pesquisas, são apresentados no Quadro 2 (IPCC, 2014).

Quadro 2 - Modelos climáticos globais do projeto CMIP5

Modelo	País	Centros de Pesquisa	Referências
ACCESS1.0	Austrália	Centre for Australian Weather and Climate Research	(Bi et al., 2013)
ACCESS1.3			

BNU-ESM	China	Beijing Normal University	(Xin, Wu, Li J, Wang, & Li, 2012)
CCSM4	EUA	Comunity Earth System Model	(Meehl, Washington, & Arblaster, 2013)
CESM1(BGC)			(Hurrell et al., 2013)
CESM1(CAM5)			
CESM1(FASTCHEM)			
CESM1(WACCM)			
CMCC-CESM	Itália	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	(Ogli, Anzini, Ichi, & Ddo, 2011)
CMCC-CM			
CMCC-CMS			
CNRM-CM5	França	National Centre for Meteorological Research	(Voldoire et al., 2013)
CSIRO-Mk3.6.0	Austrália	Bureau of Meteorology	(Rotstayn et al., 2011)
CanCM4	Canadá	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	(Von Salzen et al., 2013)
CanESM2			
EC-EARTH	Europa	European Network for Earth System	(Hazeleger et al., 2012)
FGOALS-g2	China	Chinese Academy of Sciences	(Li et al., 2014)
FGOALS-g1			
FGOALS-s2			
GFDL-CM2.1	EUA	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	(Donner et al., 2011)
GFDL-CM3			
GFDL-ESM2G			
GFDL-ESM2M			
GISS-E2-H	EUA	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	(Molod et al., 2012)
GISS-E2-H-CC			
GISS-E2-R			
GISS-E2-R-CC			
HadCM3	Inglaterra	Met Office Hadley Centre	(Hinton et al., 2011)
HadGEM2-A			
HadGEM2-CC			
HadGEM2-ES			
HadGEM2-AO	Coreia	Korea Meteorological Administration	(Collins et al., 2011)
INM-CM4	Rússia	Russian Institute for Numerical Mathematics	(Volodin, Dianskii, & Gusev, 2010)
IPSL-CM5A-LR	França	Institut Pierre-Simon Laplace	(Denvil et al., 2013)
IPSL-CM5A-MR			
IPSL-CM5B-LR			
MIROC-ESM	Japão	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo)	(Sakamoto, Komuro, & Nishimura, 2012)
MIROC-ESM-CHEM			
MIROC4h			
MIROC5			
MPI-ESM-LR	Alemanha	Max Planck Institute for Meteorology	(Giorgetta et al., 2013)
MPI-ESM-MR			
MPI-ESM-P			
MRI-AGCM3-2H	Japão	Meteorological Research Institute	(Yukimoto, Adachi, Hosaka, & Sakami, 2012)
MRI-AGCM3-2S			
MRI-CGCM3			
MRI-ESM1			

NorESM1-M	Noruega	Norwegian Meteorological Institute	(Iversen et al., 2012)
NorESM1-ME			

Fonte: IPCC, 2014.

As análises foram feitas para a região de estudo que, para os dados climáticos, representa a área da grade localizada em 10,43' de latitude sul e 41,19' de longitude oeste.

### 3.1.5 Cenários climáticos

Na presente pesquisa, buscou-se encontrar uma relação entre a variabilidade das precipitações com os regimes de ventos da região norte do estado da Bahia, a partir do resultado dos modelos climáticos, utilizando como base o cenário mais pessimista, RCP8.5, pois novos estudos sugerem que este deve ser o cenário mais provável (RAFTERY et al., 2017).

Diferente dos demais cenários, o RCP8.5 não considera nenhum tipo de política para promover a mitigação de emissão de GEE e, por isso, é considerado o cenário base em comparação com os demais. Ele representa a evolução das concentrações de GEE na atmosfera terrestre, caso se mantenha as taxas de emissões atuais. Considera também um aumento populacional heterogêneo e mantém as taxas atuais de crescimento, resultando em 12 bilhões de pessoas no ano de 2100; considera pouco avanço tecnológico em eficiência energética e, conseqüentemente, um aumento da demanda energética proporcional a este aumento demográfico (RIAHI et al., 2011).

## 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE

A primeira parte da análise foi feita com dados do passado, obtidos a partir dos projetos Reanálises e GPCP (conforme apresentado no item 3.1.4), e buscou correlacionar a dependência entre a intensidade média dos ventos e as precipitações acumuladas médias para a região de estudo. De forma estatística, esta relação pode ser mensurada através do Coeficiente de Determinação entre séries.

Dentro do projeto CMIP5 os cenários (RCP's) e a denominação das variáveis são padronizadas de forma que seja possível a comparação entre os parâmetros de forma coerente. No presente estudo, foram utilizadas as variáveis "*sfcWind*" e "*precip*" para o cálculo do valor médio da intensidade do vento e da precipitação na região em análise.

Para verificar a evolução dos valores destas variáveis ao longo do tempo da análise, inicialmente foi feita uma comparação dos valores acumulados a cada 10 anos, de forma a obter a função de tendência entre as décadas. Posteriormente, foi feita uma análise estatística para verificar a tendência das séries. Nestas análises, primeiramente, foram utilizados histogramas e, depois, foi incluída a utilização de *box plots*, de forma a verificar a significância das possíveis mudanças na concentração dos dados de cada série.

Estas análises permitiram comparar as alterações das variáveis e comprovar as tendências obtidas através da estimativa da evolução dos dados ao longo das décadas. Foram comparadas duas séries de dados originadas dos mesmos modelos climáticos, sendo uma referente aos dados da primeira metade do século (2000 – 2050) e outra com os dados referentes à segunda metade do século (2050 – 2100). Este procedimento permitiu verificar o comportamento dos dados ao longo dos anos e identificar possíveis tendências de alteração.

## 4 RESULTADOS

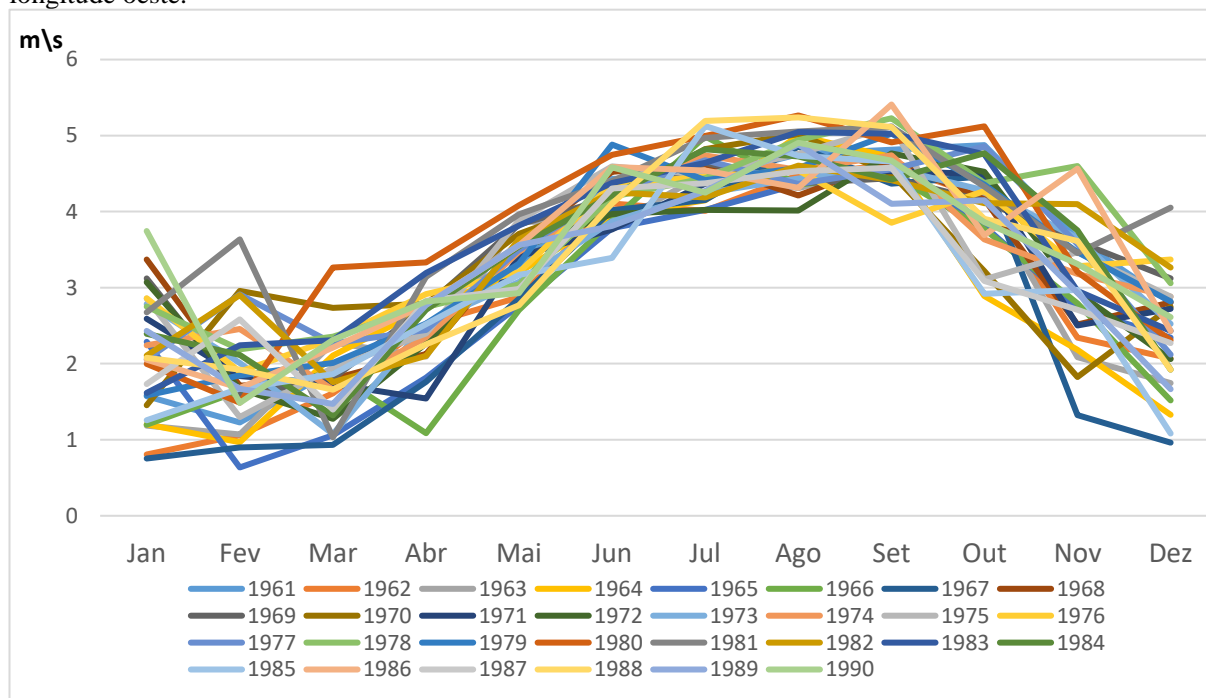
Nesta seção são apresentados os resultados tanto para a caracterização da climatologia da região de estudo, utilizando dados reais verificados até o ano de 1990, como para as análises estatísticas futuras, utilizando dados estimados até o ano de 2100.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CLIMATOLOGIA DA REGIÃO DE ESTUDO

Conforme já apresentado no item 3.2, a partir dos dados observados ao longo dos anos para as grandezas de ventos e chuvas no local de estudo, foi possível caracterizar a climatologia e a sazonalidade da região. Na Figura 11 é possível verificar as alterações na intensidade do vento ao longo do período e, na Figura 12, é possível fazer o mesmo tipo de análise para a precipitação.

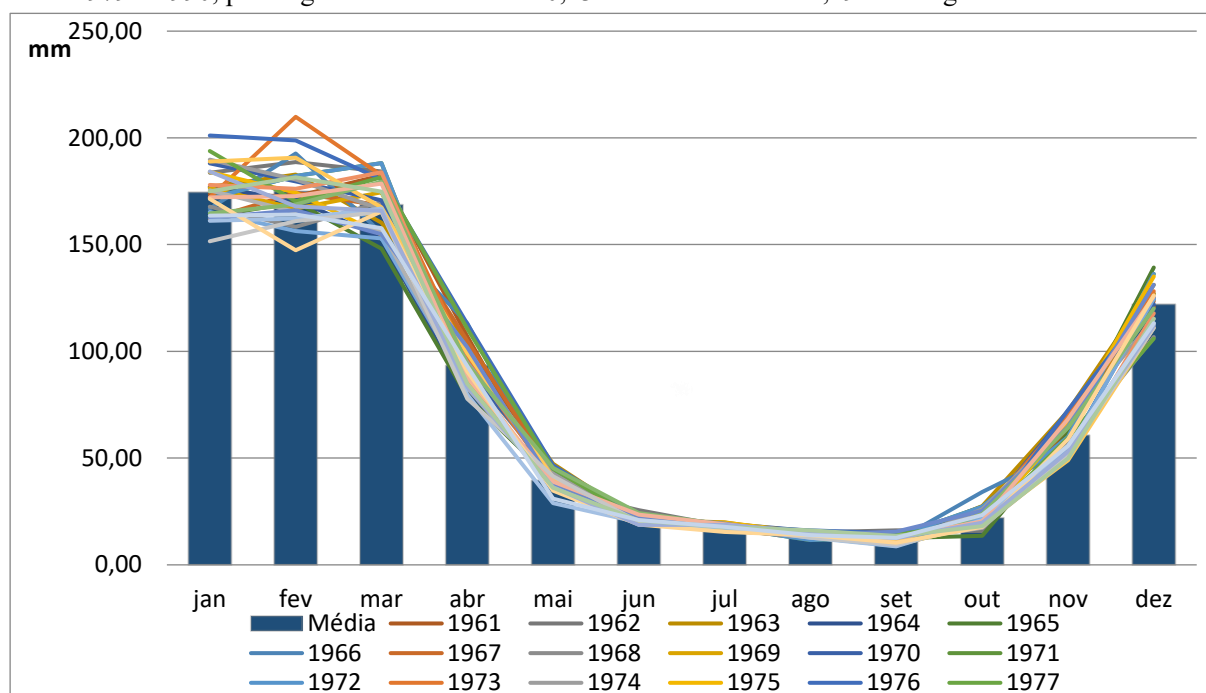
Em ambas as figuras é possível verificar claramente o regime de sazonalidade de cada variável, e a relação inversa entre elas. O período de ventos fortes está associado com o período de baixa precipitação, e o oposto também é verificado. Nos meses de verão (i.e., dezembro a fevereiro) nota-se uma maior variabilidade dos ventos e das chuvas. Esta maior variação está associada à formação de chuvas que alteram localmente os regimes de ventos.

Figura 11 - Dados históricos da intensidade do vento (m/s), no local de estudo, baseados nos campos de reanálise NCEP/NCAR para o período entre 1961 e 1990, para a grade localizada em 10,43' de latitude sul e 41,19' de longitude oeste.



Fonte: Projeto Reanalises, 1996.

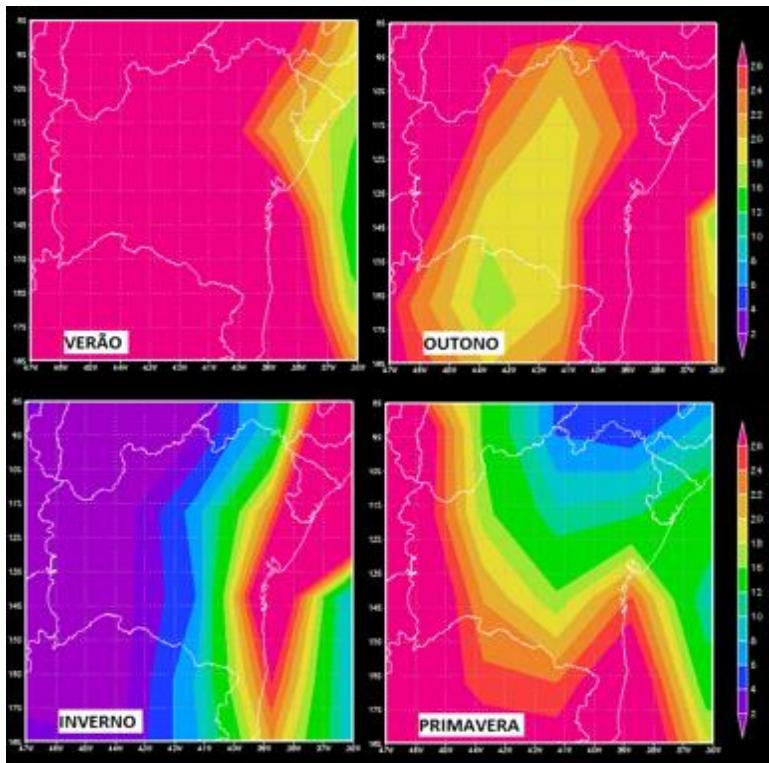
Figura 12 - Dados históricos da precipitação (mm), no local de estudo, baseados no projeto GPCP para o período entre 1979 e 1990, para a grade localizada em 10,43' de latitude sul e 41,19' de longitude oeste.



Fonte: Projeto GPCP, 2003.

Em complemento à Figura 12, na Figura 13 é possível verificar a alteração das precipitações acumuladas por mês (em mm), no estado da Bahia, ao longo do ano. Esta climatologia mostra que ocorre maiores precipitações no período de verão, janeiro a março, e outono, abril a junho. No período de inverno, julho a setembro, as precipitações ocorrem predominantemente na região costeira do continente e no período de primavera, outubro à dezembro, as precipitações ocorrem mais no sul do estado.

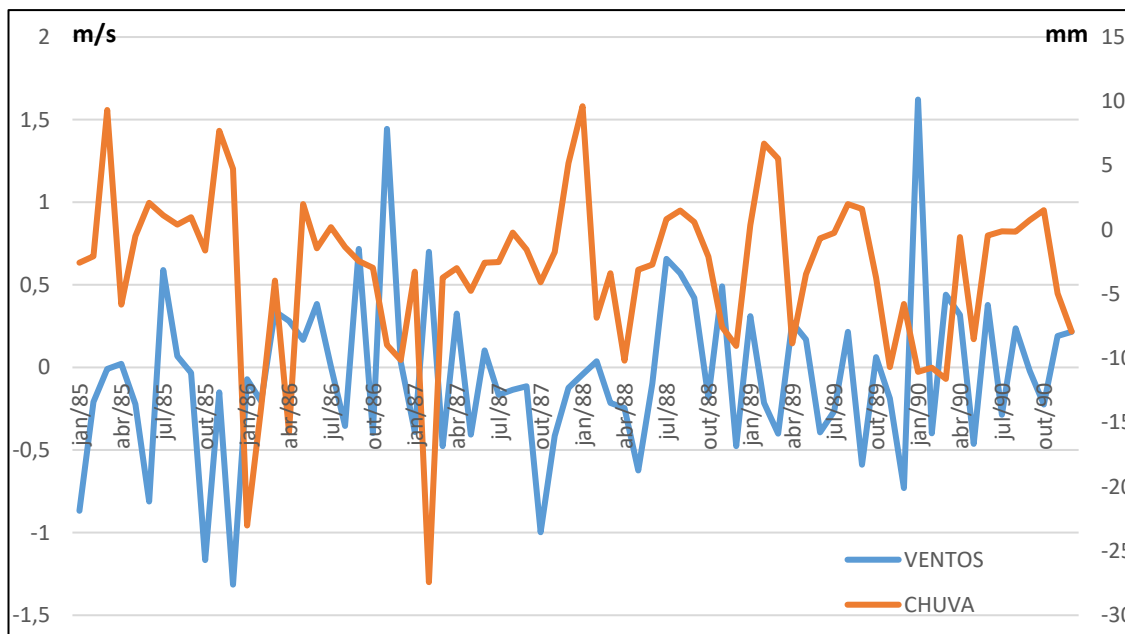
Figura 13 – Índice pluviométrico médio mensal (mm) do estado da Bahia ao longo das estações do ano para o período 1979 a 2017, baseado nos dados do programa GPCP.



Fonte: Projeto GPCP, 2003.

A relação inversa entre os ventos e as chuvas na região ficam bem caracterizadas na Figura 14. A análise da série temporal mostra que anomalias positivas no regime de ventos geralmente estão associadas com anomalias negativas no regime de chuvas, e anomalias positivas nos regimes de chuvas estão associadas com anomalias negativas no regime de ventos. Estas anomalias foram obtidas após a remoção do ciclo sazonal climático.

Figura 14 – Anomalias referentes à precipitação acumulada (mm) e ao vento médio mensal (m/s) da região de estudo para o período de 1985 a 1990.

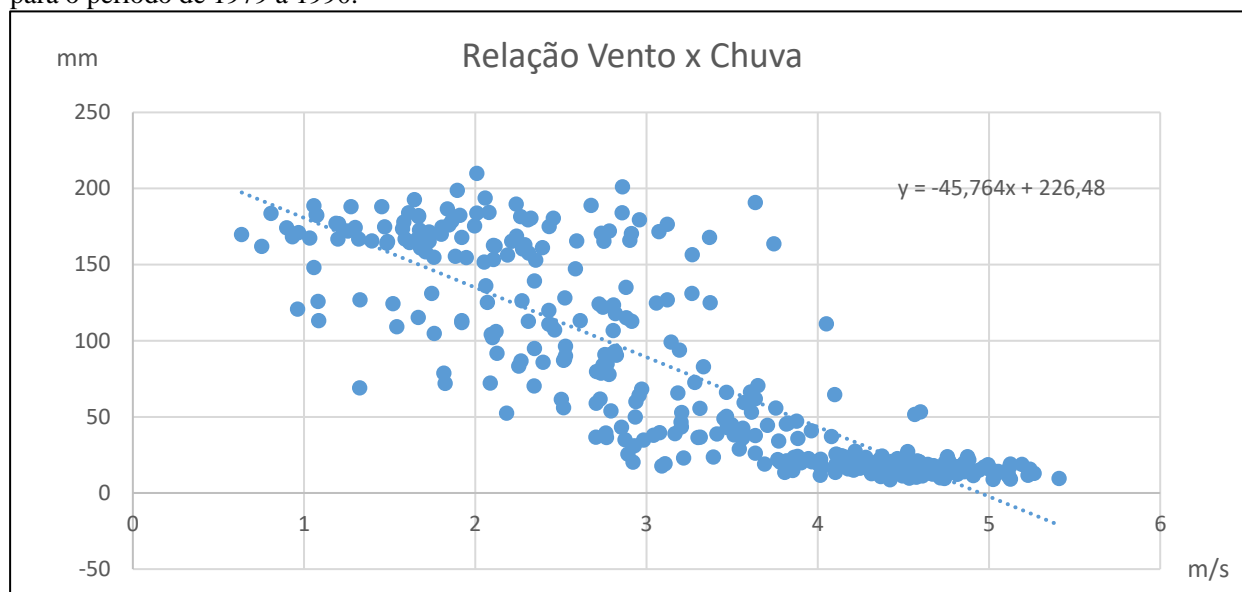


Fonte: Projetos GPCP 2003 e Reanálises, 1996.

Na Figura 15, é verificado que existe uma relação inversa entre as anomalias de vento e precipitação. Em geral, altas precipitações estão associadas com ventos fracos e ventos mais altos ocorrem em períodos de ausência

ou de mínima precipitação. Esta relação é comprovada estatisticamente através do Coeficiente de Determinação entre as séries. O coeficiente obtido de 0,7236 indica que 72,36% dos dados de precipitação estão inversamente correlacionados com os dados médios dos ventos.

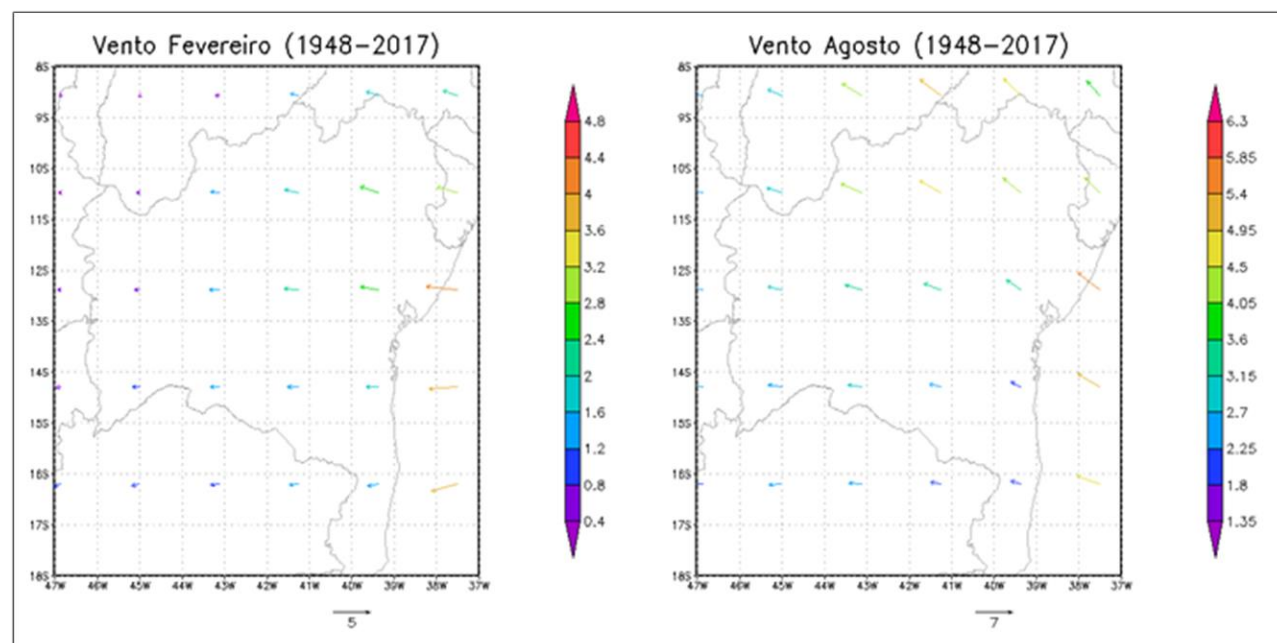
Figura 15 – Relação entre a precipitação mensal acumulada (mm) e o vento médio mensal (m/s), da região de estudo, para o período de 1979 a 1990.



Fonte: Projeto GPCP e Reanálises, 1996 e 2003.

A variação da posição geográfica da ZCIT ao longo do ano influencia diretamente a intensidade e direção dos ventos na região norte do estado da Bahia. Analisando os dados históricos do projeto Reanálises, é possível verificar que no mês de agosto, quando a ZCIT se encontra mais afastada do local de estudo, os ventos são mais fortes (podendo chegar à 6.3 m/s) e a direção predominante é a sudeste. Já no mês de fevereiro, a ZCIT está próxima da região de estudo, os ventos são mais fracos (máximo observado 4,8 m/s), e a direção do vento predominante é de leste conforme Figura 16.

Figura 16 - Variação da direção do vento médio, de acordo com a época do ano, para fevereiro (esquerda) e agosto (direita).



Fonte: Projeto Reanálises, 1996.

Nas Figura 17 e Figura 18, são apresentadas imagens do local de estudo (Umburanas, BA). As fotos foram tiradas exatamente do mesmo local, em diferentes meses do ano (fevereiro e agosto), sendo possível verificar a mudança na paisagem devido à sazonalidade pluviométrica da região. Na Figura 17, é possível verificar que a vegetação se encontra mais verde e com maior cobertura, enquanto na Figura 18 é apresentada uma vegetação mais seca.

Figura 17 – Umburanas – BA, período úmido (fevereiro).



Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2016.

Figura 18 – Umburanas – BA, período seco (agosto).



Fonte: ENGIE Brasil Energia, 2016.

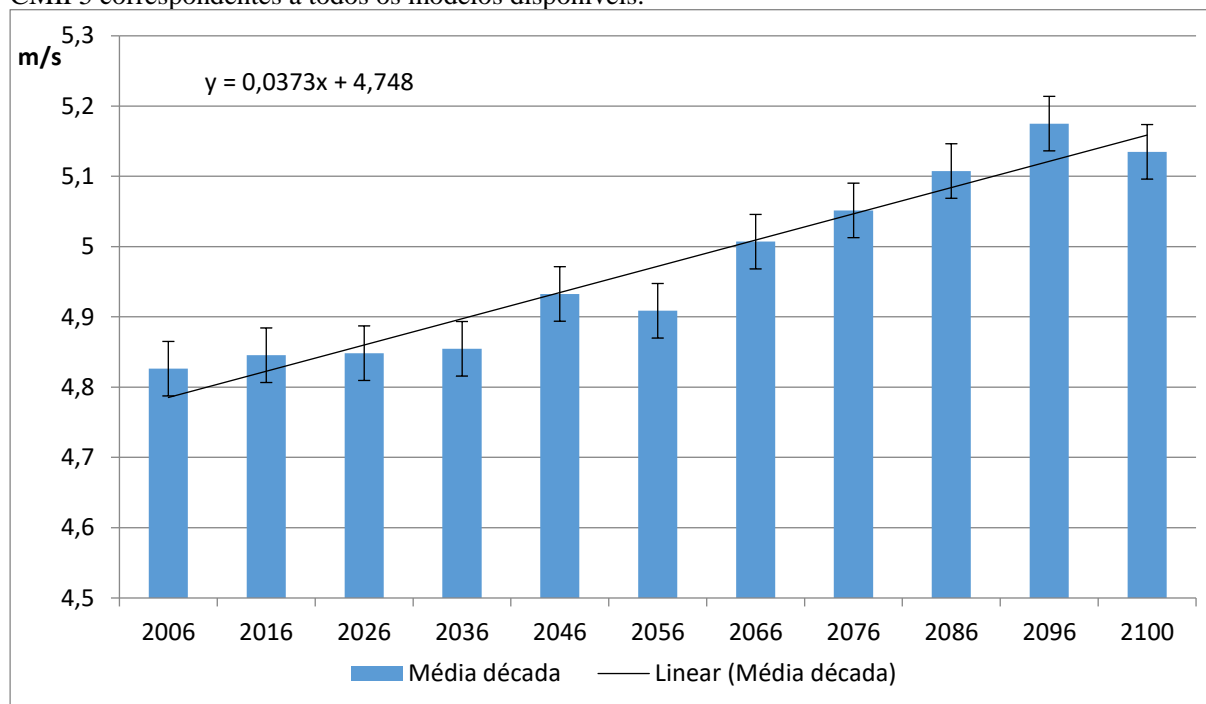
#### 4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS

Conforme apresentado no item 3.2, a partir da média dos dados obtidos dos diferentes modelos climáticos utilizados no projeto CMIP5, e referenciados para o local de estudo, foi possível analisar, em escala decenal, a evolução local dos cenários de vento e precipitação. Desta maneira, foi possível traçar a função de tendência, sendo mensurado o aumento ou diminuição das referidas variáveis.

Figura 19 é possível verificar a evolução da intensidade média do vento ao longo dos anos. A partir de análise estatística da função de tendência, é possível verificar que tanto o coeficiente angular como o coeficiente linear são positivos, demonstrando um relativo aumento da intensidade dos ventos da ordem de 3,73 cm/s por década.



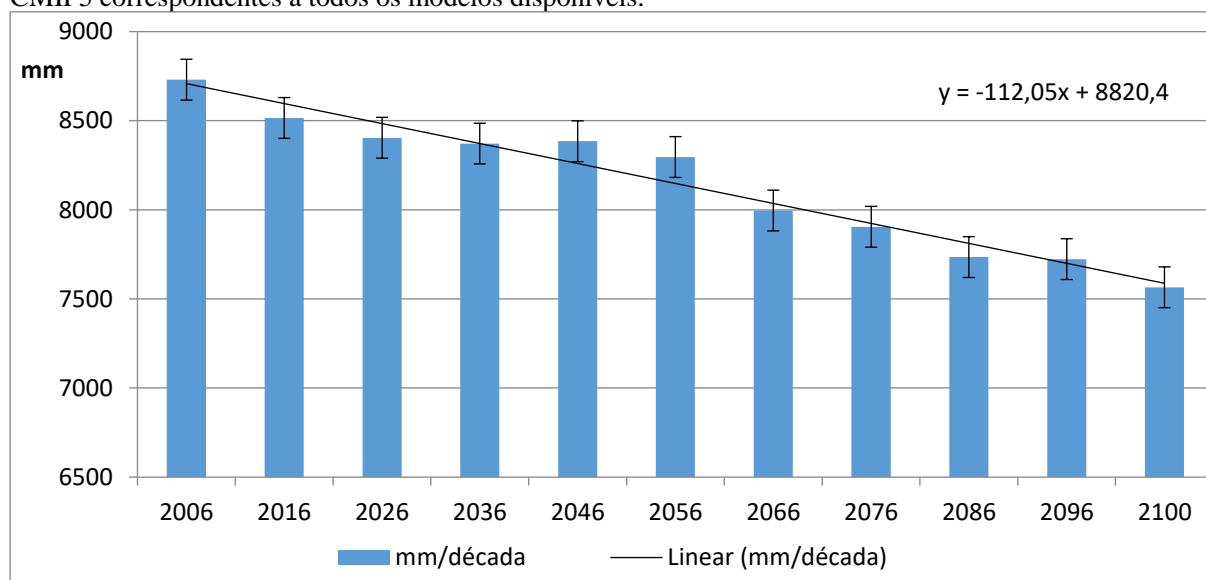
Figura 19 – Previsão média de ventos futuros (m/s) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis.



Fonte: IPCC, 2014.

Da mesma forma, na Figura 20, é possível verificar a evolução dos cenários de precipitação acumulada ao longo dos anos. A partir da função de tendência, é possível constatar que o coeficiente angular apresenta valor negativo e o coeficiente linear apresenta valor positivo, demonstrando um relativo decaimento dos valores acumulados de precipitação (mm) da ordem de 112 mm por década.

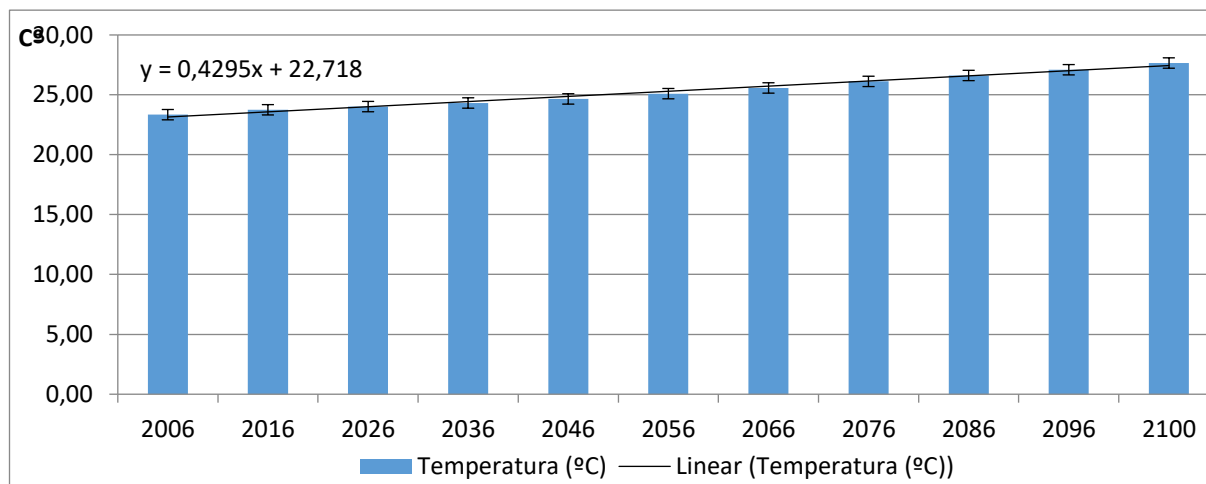
Figura 20 – Projeção da média das precipitações (mm) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis.



Fonte: IPCC, 2014.

Indiretamente, a temperatura está relacionada com o regime de ventos e chuvas da região. Na Figura 21 é possível verificar a evolução dos valores médios de temperatura local ao longo das décadas. Novamente, é possível verificar que os coeficientes angulares e lineares da função tendência apresentam valores positivos, indicando um aumento ao longo dos anos, podendo chegar a um incremento de 4° C ao final do século.

Figura 21 - Projeção média das temperaturas (°C) por décadas, obtidos a partir dos cenários RCP8.5 do projeto CMIP5 correspondentes a todos os modelos disponíveis.



Fonte: IPCC, 2014.

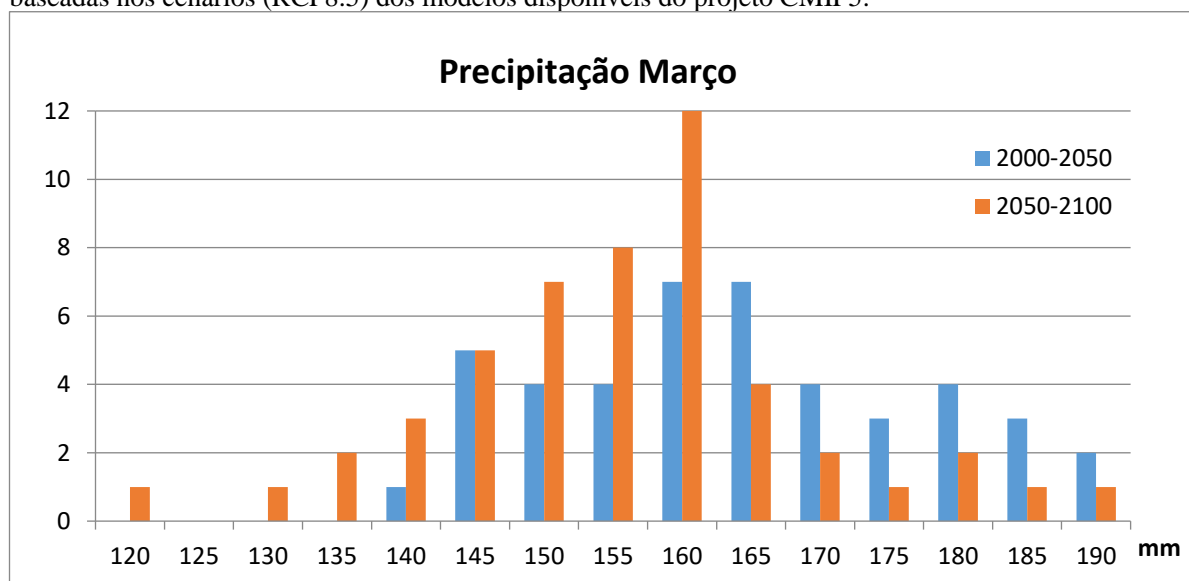
#### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS CENÁRIOS PARA OS MESES DE MARÇO E AGOSTO

Além das análises dos valores médios ao longo das décadas, conforme explicado no item 3.2, foram feitas também análises através de histogramas e *box plots* das previsões futuras obtidas pelos modelos climáticos.

O mês de Março é um período tradicionalmente chuvoso na região, conforme verificado na Figura 12. A análise estatística dos dados do cenário para a pluviometria do local demonstra que, ao longo do próximo século, poderá ocorrer uma diminuição nestes montantes. Comparando as duas metades do século, verifica-se, através do histograma, Figura 22, um aumento na ocorrência de precipitações com valores inferiores à 140 mm mensais no período de 2050 a 2100 e no gráfico de *box plot*, Figura 23, é possível perceber que este mesmo período (2050 à 2100) apresenta uma diminuição do valor da mediana em comparação com a série 2000 -2050.

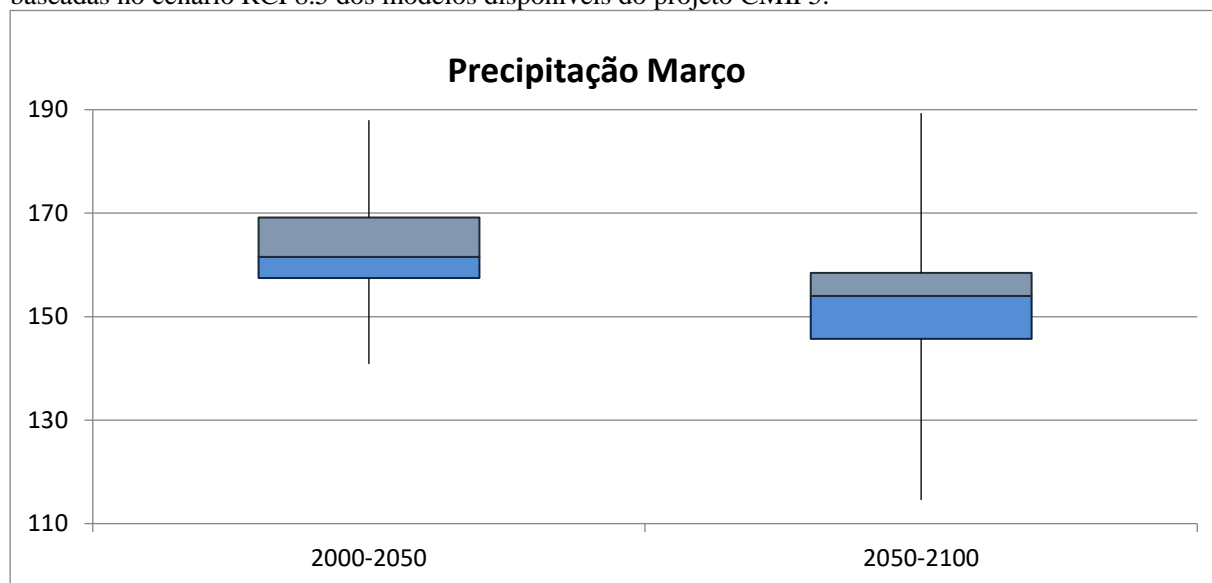
Além da tendência de diminuição da precipitação acumulada no local, verificado na Figura 20, o histograma, Figura 22, mostra também uma diminuição na ocorrência de eventos com maior precipitação na segunda metade do século.

Figura 22–Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de março, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



Fonte: IPCC, 2014

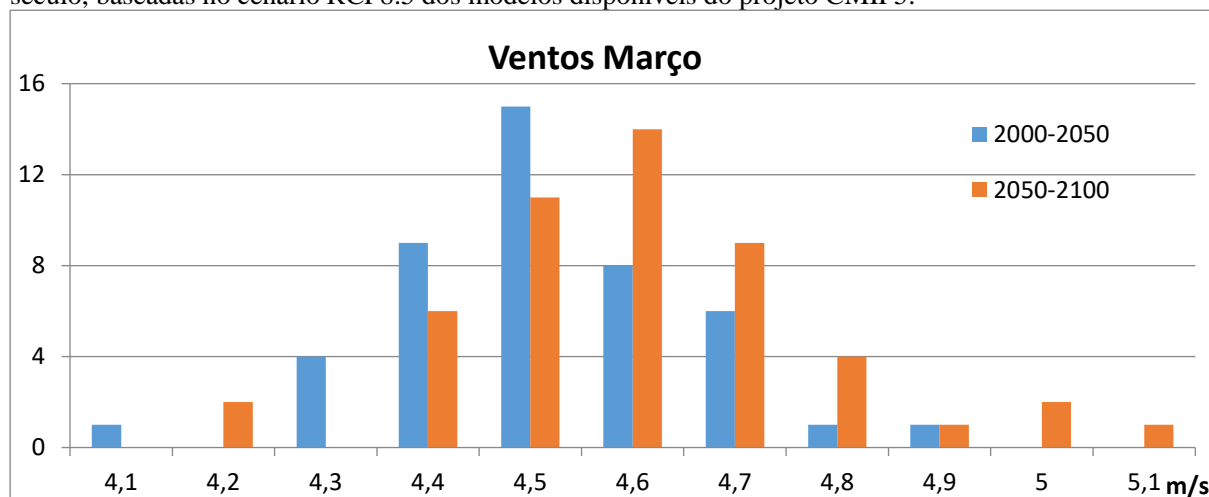
Figura 23– Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



Fonte: IPCC, 2014

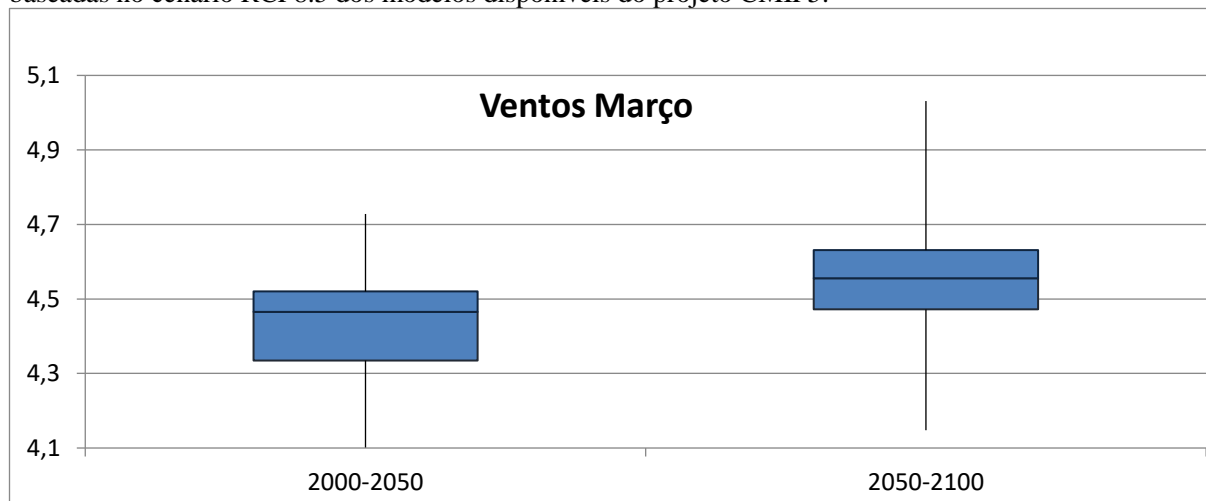
Utilizando a mesma metodologia estatística para avaliar os dados da velocidade média dos ventos durante o mês de março, que é um mês tradicionalmente com ventos de baixa intensidade, conforme apresentado Figura 11, verifica-se uma tendência contrária em comparação com os dados pluviométricos. No histograma, Figura 24, é apresentado um aumento na ocorrência de eventos de maior magnitude na segunda metade do século (2050-2100). No gráfico de *box plot*, Figura 25, é apresentada uma pequena alteração positiva para os valores médios da intensidade dos ventos, verificado através do aumento do valor da mediana da série 2050-2100 em comparação com a série 2000-2050. Nota-se que deveremos ter uma maior frequência de eventos extremos a partir da segunda metade do século.

Figura 24 –Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



Fonte: IPCC, 2014

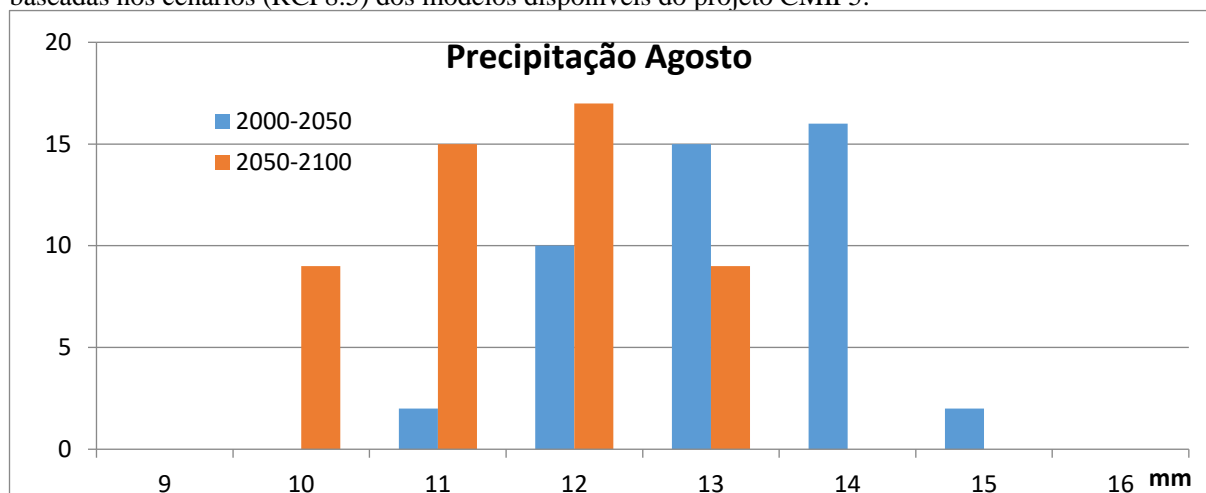
Figura 25 – Projeções para intensidade média dos ventos (m/s) do mês de março, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



Fonte: IPCC, 2014.

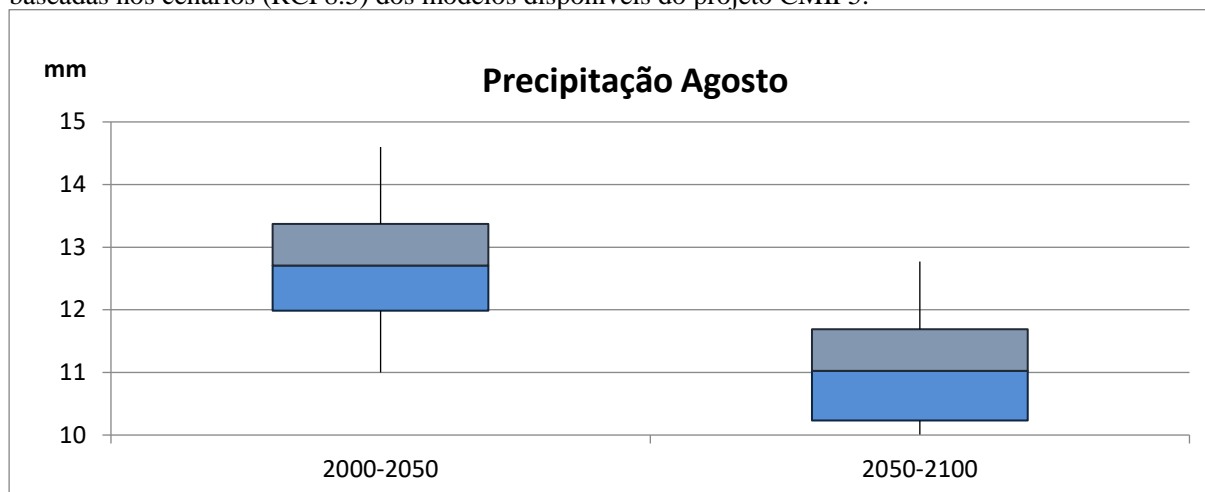
Fazendo a mesma análise para o mês de agosto, que é reconhecidamente um mês de ventos de grande intensidade e chuvas de baixo volume, é possível perceber o mesmo comportamento dos dados. Tanto os histogramas, Figura 26 e Figura 28, como os gráficos de box plot, Figura 27 e Figura 29, evidenciam que a segunda metade do século XXI apresenta a tendência de ventos mais intensos e precipitações acumuladas menores.

Figura 26 – Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de agosto, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



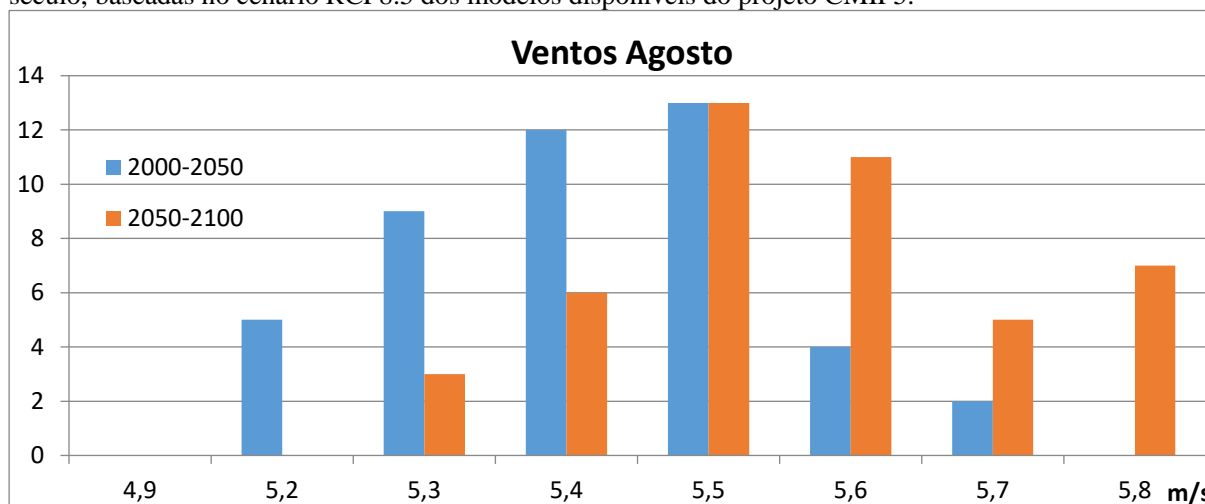
Fonte: IPCC, 2014.

Figura 27 – Projeções para precipitação média mensal (mm) do mês de agosto, para as duas metades do século XXI, baseadas nos cenários (RCP8.5) dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



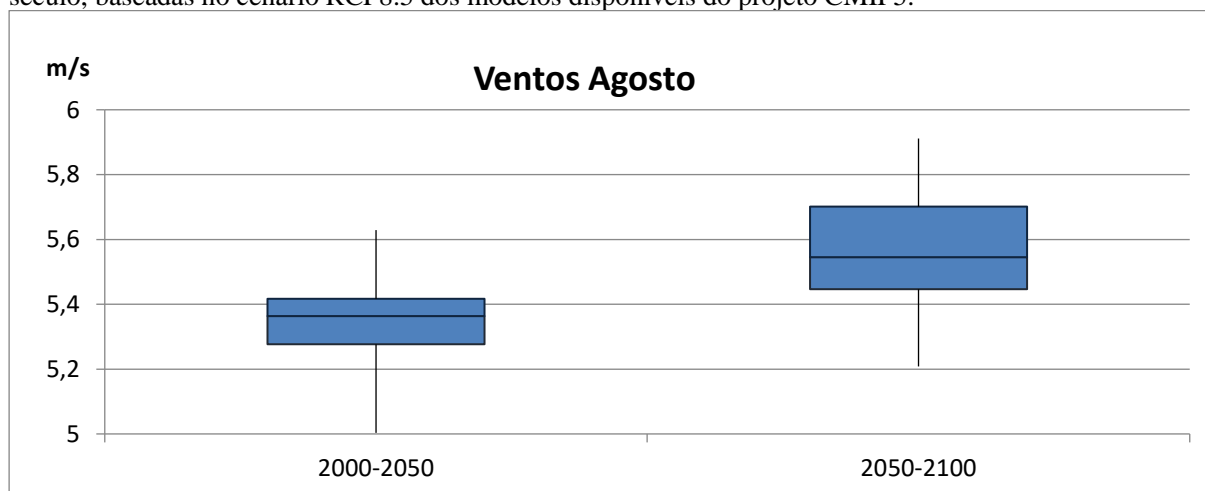
Fonte: IPCC, 2014.

Figura 28 – Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de agosto, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



Fonte: IPCC, 2014.

Figura 29 – Projeção para intensidade média mensal dos ventos (m/s) para mês de agosto, para as duas metades do século, baseadas no cenário RCP8.5 dos modelos disponíveis do projeto CMIP5.



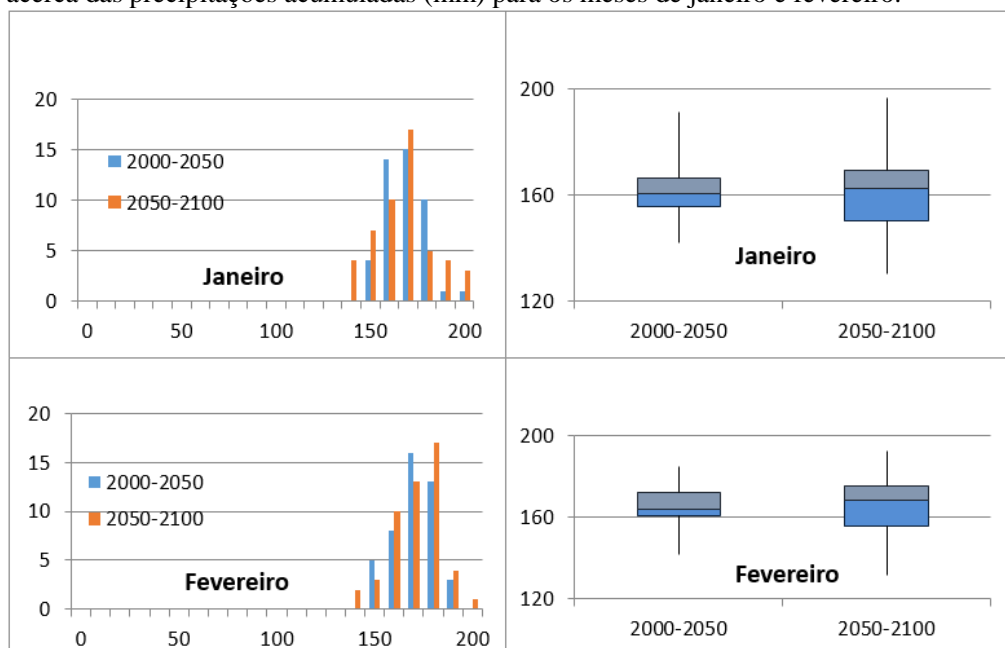
Fonte: IPCC, 2014.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA ANUAL DOS CENÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA

De forma a evidenciar e apresentar toda a análise desenvolvida e explicada no item 4.3, segue abaixo a análise referentes às precipitações no local de estudo, durante todos os meses do ano. Os valores apresentados são em mm acumulados por mês.

Através da análise dos dados é possível perceber que nos meses de janeiro e fevereiro os valores médios de precipitações da segunda metade do século são relativamente superiores aos referentes à primeira metade conforme Figura 30. Nestes meses também é possível perceber, através do histograma, um aumento dos eventos de maior magnitude. Estes já são meses tradicionalmente com altos volumes de precipitações, que tendem a ficar com valores ainda maiores e com aumento de eventos extremos.

Figura 30 – Histograma e *Box Plot* comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca das precipitações acumuladas (mm) para os meses de janeiro e fevereiro.

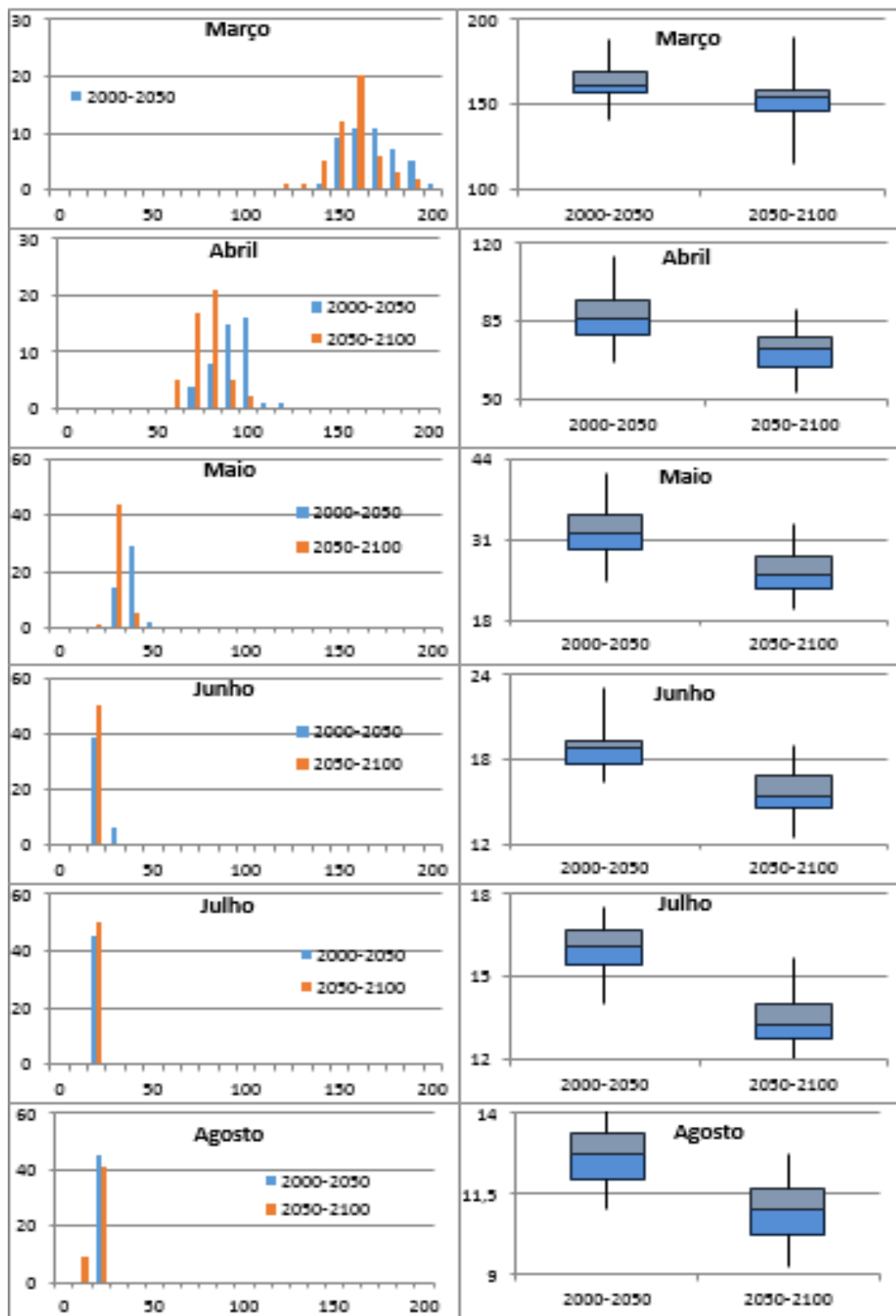


Fonte: IPCC, 2014.

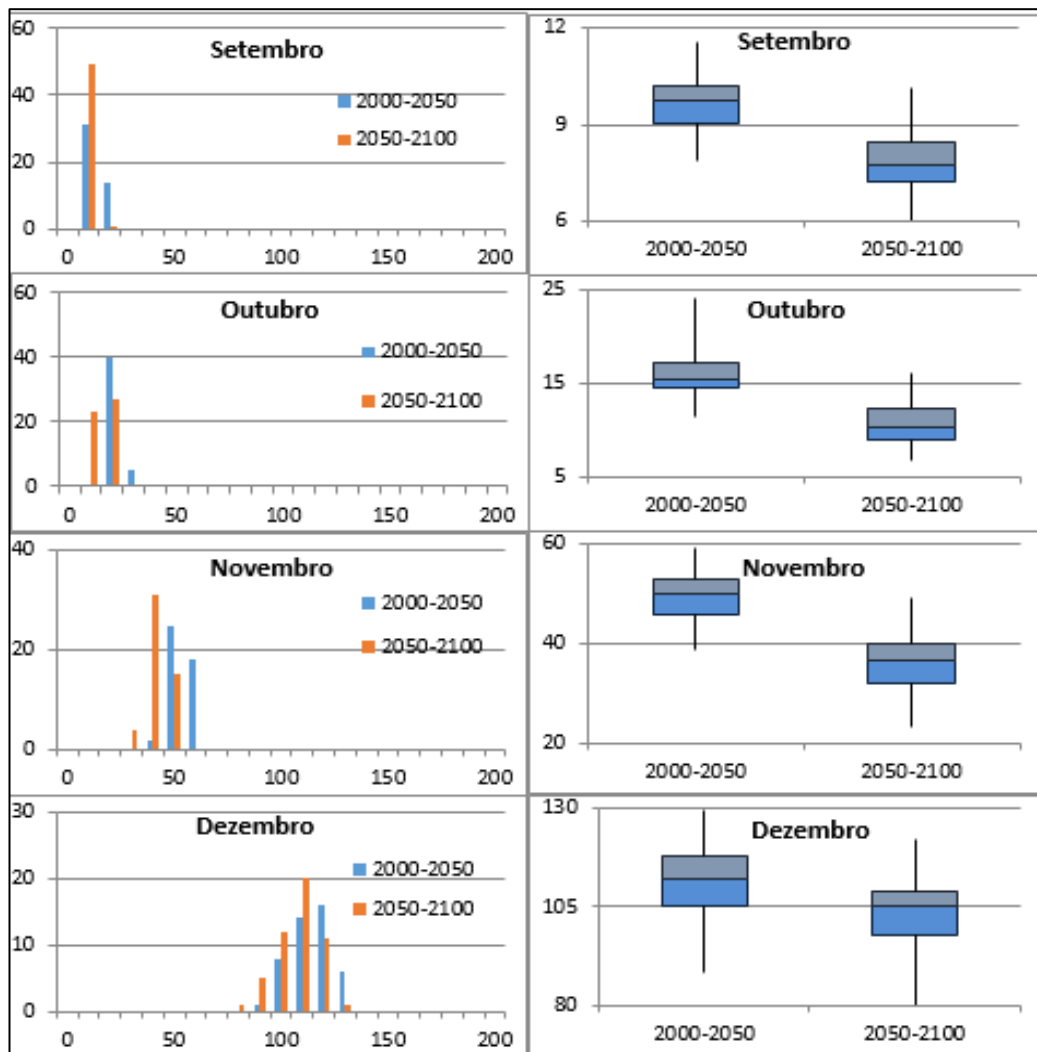
Para os demais meses do ano, o comportamento das precipitações acumuladas ao longo dos períodos se mantém de acordo com a análise feita no Item 4.3 conforme pode ser percebido na Figura 31. Na segunda metade do século é verificada uma diminuição dos valores médios em relação à primeira metade, conforme pode ser percebido através da comparação das medianas entre as séries nos gráficos de *box plot* da Figura 31. E através dos Histogramas é possível perceber uma diminuição da ocorrência de eventos de maior magnitude em cada mês. Esta tendência fica mais evidenciada nos meses de março a maio, e de outubro a dezembro, pois são meses com volumes acumulados maiores.

Conforme já apresentado na Figura 12, os meses de maio à setembro são períodos com poucas chuvas, esta característica pode ser verificada através dos Histogramas, Figura 31, onde é possível perceber volumes baixos de precipitações e poucas variações.

Figura 31 – Histograma e *Box Plot* comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca das precipitações acumuladas (mm) para os meses de março a dezembro.



*Continua*

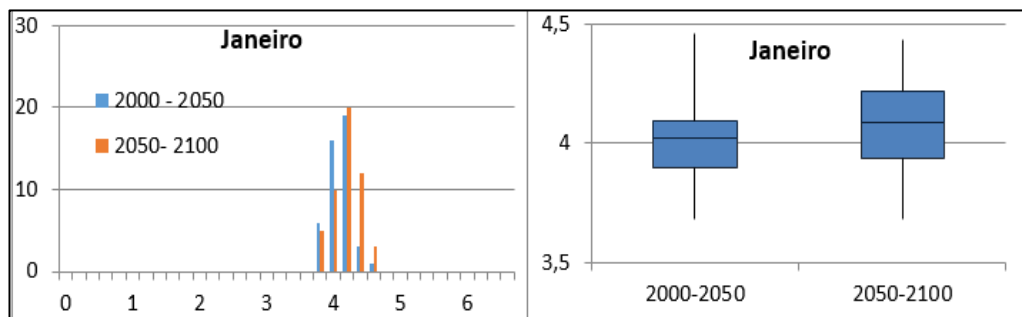


Fonte: IPCC, 2014.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA ANUAL DE DADOS FUTUROS DE VENTOS MÉDIOS

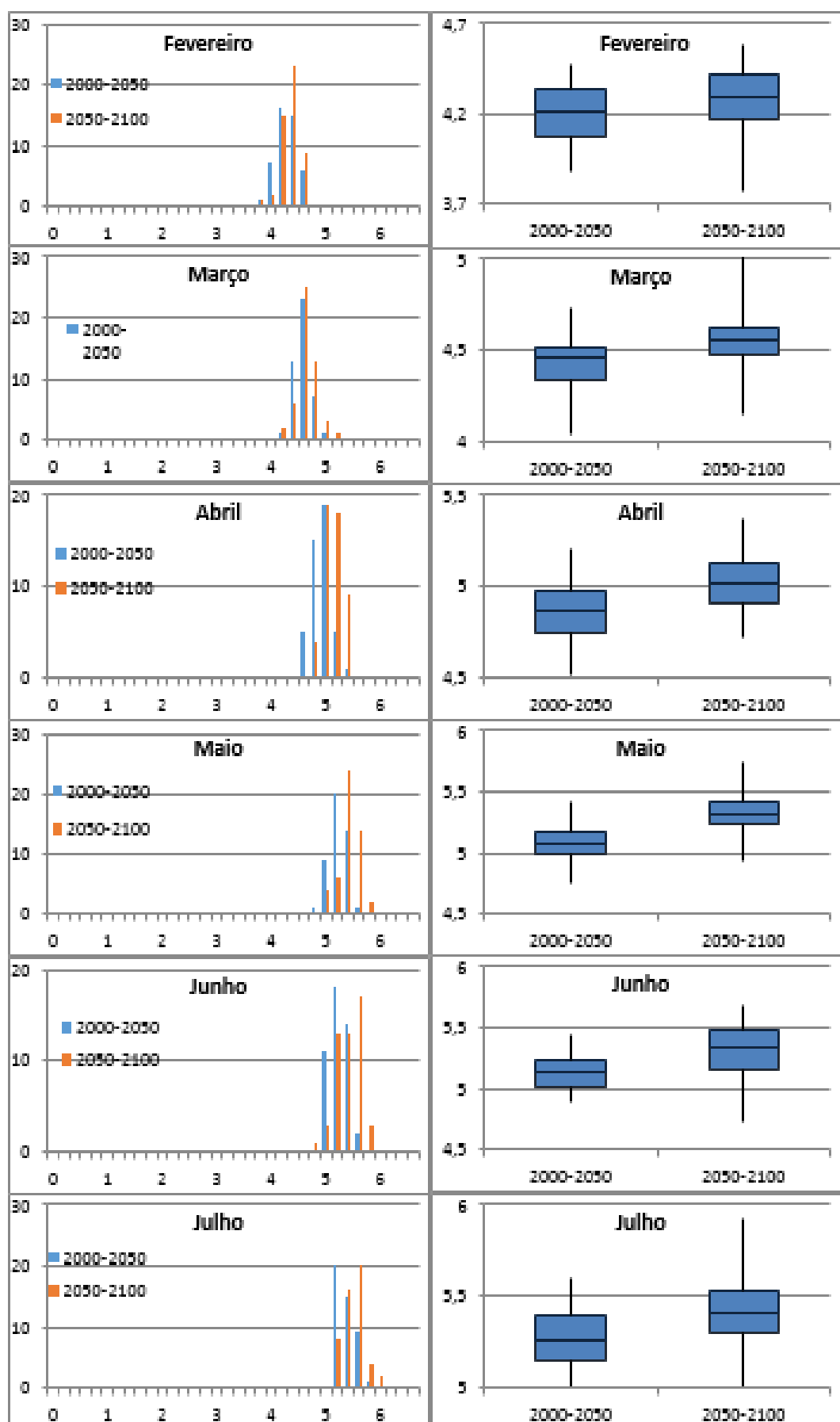
De forma a evidenciar e apresentar toda a análise desenvolvida, segue abaixo a sequência dos resultados, referentes à intensidade média dos ventos no local de estudo, durante todos os meses do ano. Conforme apresentado na Figura 32, verifica-se um comportamento padrão nos valores para a intensidade do vento quando comparada à primeira e à segunda metade do século. Os valores referentes ao período 2050-2100 apresentam medianas superiores em relação ao período de 2000-2050. Os resultados mostram, também, que deverá ocorrer um aumento na frequência de eventos de maior magnitude. Diferente do verificado no caso da precipitação, este comportamento verificado na intensidade do vento, se manteve padrão para todos os meses do ano, Figura 32, e mostram que os aumentos da intensidade na segunda metade do século, são verificadas durante todo o período analisado.

Figura 32 – Histograma e Box Plot comparando às duas metades do século em análise, com relação às tendências acerca da intensidade média dos ventos (m/s) durante o período anual.

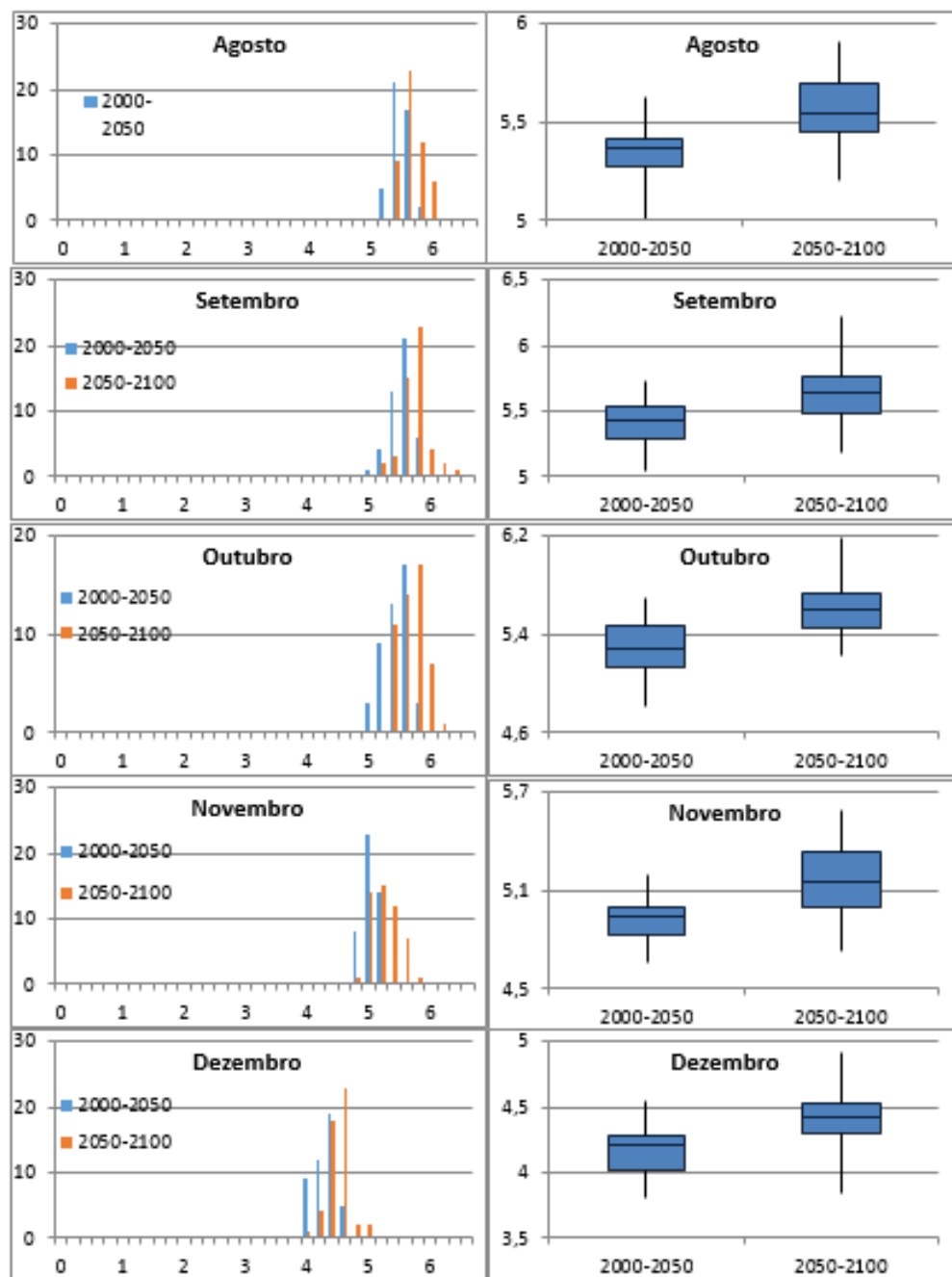




Continuação



Continua



Fonte: IPCC, 2014.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por este estudo, para a região dos municípios de Umburanas e Sento Sé, no norte do estado da Bahia, mostram que existe um grande potencial eólico para a exploração de energia elétrica e um grave problema social oriundo da estiagem causada pelas baixíssimas precipitações verificadas na região. As previsões climáticas para o próximo século mostram que estas características da região ficarão cada vez mais intensas, tanto no aumento médio na velocidade dos ventos, como na diminuição nos valores acumulados de precipitação. Estes resultados estão de acordo com alguns estudos recentes para as mudanças climáticas em escala global (IPCC, 2014; MARENGO et al., 2017; SILVA; HAAS, 2016).

Atualmente o nordeste brasileiro já vem presenciando um período de severa estiagem e grande crise hídrica. No período de 25 anos, compreendido de 1990 à 2016, 16 anos apresentaram médias de chuvas acumuladas abaixo do normal (MARENGO et al., 2017).

A recente exploração do potencial eólico da região, através da implantação de parques de geração de energia elétrica, tem causado uma grande alteração dos aspectos socioeconômicos do local. A população, que anteriormente carecia de recursos e empregos, passou a ter contato com a tecnologia e com uma nova oportunidade de desenvolvimento profissional e pessoal; e ainda que o problema da estiagem persista, a perspectiva de melhora da qualidade de vida para estas pessoas teve um aumento significativo.

As preocupações acerca do aquecimento global têm feito com que diversos países assumam compromissos de longo prazo para reduzir as emissões de GEE no futuro. Com o avanço tecnológico e redução dos custos de implantação de uma matriz energética mais sustentável, a migração para uma matriz energética mais renovável tem sido a forma encontrada por muitos para atingir suas metas de redução de emissões destes gases. Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), o número de postos de trabalho, criados no mundo, em 2017, diretamente relacionados com a implantação de usinas de fontes renováveis (principalmente solar, eólica e biomassa) foi de 10,3 milhões, sendo o Brasil um importante agente desta mudança (IRENA, 2013).

Durante todo o processo de implantação dos parques eólicos, milhares de postos de trabalho são criados, tanto nas empresas diretamente envolvidas na obra, como nas empresas que prestam serviço para as demais. Além dos postos de trabalho no canteiro de obras, muitas indústrias, que fornecem peças para instalação dos aerogeradores, se instalam na região visando atender de forma mais ágil as necessidades e melhorar a logística para entrega do material. Desta forma, a economia do local rapidamente se desenvolve, devido a nova demanda por diversos bens de consumo e o comércio, naturalmente, responde. As pessoas não têm mais necessidade de buscar melhores oportunidades em outras localidades, os processos migratórios passaram a ocorrer no sentido inverso e os trabalhadores de outras regiões se mudam para o local de influência dos projetos em implantação.

Após a implantação dos parques eólicos, os postos de trabalho se reduzem para algumas centenas, porém os *royalties* referentes ao processo de geração de energia passam a ser pagos diretamente para os municípios impactados. Este imposto é cobrado durante todo o período de exploração dos parques (no mínimo 30 anos), e vai permitir que o município tenha condições de continuar investindo no bem-estar da sua população.



## 6 DISCUSSÃO FINAL

As questões relativas à seca na Região Nordeste são de conhecimento geral, e mesmo com as melhorias sociais oriundas da perenização de alguns rios, com a construção de reservatórios com sistema de irrigação, a implantação de cisternas e a abertura de poços artesianos, verifica-se que estas ações, ainda tímidas, não são suficientes para atender a demanda da região, principalmente no setor rural. (FRANCISCA, 2013; MARENGO et al., 2017).

De forma equivocada, o problema da seca ainda é apresentado como justificativa para a falta de desenvolvimento do nordeste brasileiro, o nordestino deve ser preparado para conviver com esse fenômeno e não para combatê-lo. O desenvolvimento da região depende, sobretudo, de significativas transformações sociais, econômicas, institucionais e tecnológicas (SOBRINHO et al., 2016).

A população dos municípios de Umburanas e Sento Sé (BA), que durante muitos séculos foi resiliente, sempre castigada pela seca e pelas dificuldades de acesso às condições mínimas de sobrevivência, agora vê nos grandes projetos de exploração eólica uma alternativa para uma vida mais digna. Conforme apresentado neste trabalho, o potencial eólico da região, que já é extraordinário, deverá aumentar ainda mais no decorrer do século, garantindo que a implantação e exploração desta fonte energética se mantenha por um longo prazo. Mesmo após o período de implantação dos projetos, a demanda por recursos humanos se mantém durante todo o período de operação dos parques, assim como o pagamento de impostos para os municípios impactados. Mantendo assim os postos de trabalho e a qualidade de vida na região de influência dos empreendimentos.



## REFERÊNCIAS

- ADLER, R. et al.. The Version-2 global precipitation climatology project monthly precipitation analysis (1979 – Present). **American Meteorological Society**. p. 1147–1167. 2003. Disponível em [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2)
- AMPLA, & QUIFEL. **Relatório de Impacto Ambiental Campo Largo - Climatologia** (2011).
- AMPLA, & QUIFEL. **Relatório de Impacto Ambiental Campo Largo - Flora** (2011).
- ANDRADE, M. C. de. **A Seca: realidade e mito**. Recife: Editora ASA, 1985.
- ANJOS, D. M. Temporal analysis of water volume at Capoeira Reservoir Mãe d'Água, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. 2017. v. 12. n° 1. p. 138–142.
- BI, D. et al.. ACCESS-OM: the ocean and sea-ice core of the ACCESS coupled model. **Australian Meteorological and Oceanographic Journal**. 2013. 63(1), p. 213–232. Disponível em <https://doi.org/10.22499/2.6301.014>.
- BRASIL. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. SILVA, W. L.; CEPEL, E.; BARRETO, R. 2016. 590 p.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Fazenda. **Cenários integrados de mitigação de emissões de gases de efeito estufa para o Brasil até 2050**. SCHAEFFER, R. 2017. Disponível em <http://www.fazenda.gov.br/orgaos/spe/pmr-brasil/oficinas-tecnicas/2o-workshop-tecnico/apresentacoes-2o-workshop/07-sessao-energia-6-pedro-rochedo-mop-coppe.pdf>.
- \_\_\_\_\_. Ministério das Minas e Energias. AMARANTE, O.; ZACK, J.; BROWER, M.. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. v. 1. 2001. Disponível em [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas do Potencial Eolico Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas do Potencial Eolico Brasileiro.pdf)
- \_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Plano de Decenal de Expansão de Energia 2024**. 2014. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>.
- BRETT, M. R. Energy, society and the future. **International Journal of Environmental Studies**. 2008. Disponível em <https://doi.org/10.1080/00207230802144356>.
- COLLINS, W. J. et al.. Development and evaluation of an Earth-system model – HadGEM2. **Geoscientific Model Development Discussions**, (2011). v. 4. n° 2. p. 997–1062. Disponível em <https://doi.org/10.5194/gmdd-4-997-2011>
- CORDEIRO, M.; BEZERRA, K.; MELLO, D. **Estudo da seca em 2012 no estado da Bahia**. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro Campina Grande - PB. 2012.
- DENVIL, S. et al.. **Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model : from CMIP3 to CMIP5**. 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>.
- DONNER, L. J. et al.. The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL global coupled model CM3. **Journal of Climate**. 2011. v. 24. n° 13. p. 3484–3519. Disponível em <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3955.1>
- EAKIN, H. C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, v. 27. 2014. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801400079X>.
- FANT, C.; SCHOLESSER, A.; STRZPECK, K. **The impact on climate change on wind and solar resources in southern Africa**. 2015. Elsevier Ltd.
- FIRJAN. **Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal - IFDM**. 2011.

FRANCISCA, M. **A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens.** Sociedade e Território. 2013. v. 25. Disponível em <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3629>.

GARCIA, F. **A Seca de 1877 - 1879.** 2010. Disponível em <http://www.fortalezaemfotos.com.br/2010/11/seca-de-1877-1879.html>.

GEIGER, R.; KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate.** 1936. Disponível em [http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen\\_1936.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf).

GIORGETTA, M. A. et al.. **Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase.** 2013. v.5. n° 5. p. 572–597. Disponível em <https://doi.org/10.1002/jame.20038>.

GIULIETTI, A. M. et al.. **Biodiversidade Caatinga.** 2004. Disponível em [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade\\_Caatinga\\_parte2.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade_Caatinga_parte2.pdf)

GONÇALVES, G. R. **As secas na Bahia do século XIX - Sociedade e Política.** Dissertação em História. In: Universidade Federal da Bahia. 2000. Disponível em [https://ppgh.ufba.br/sites/ppgh.ufba.br/files/2000.\\_goncalves\\_graciela\\_rodrigues.\\_as\\_secas\\_na\\_bahia\\_do\\_seculo\\_xix.\\_sociedade\\_e\\_politica.pdf](https://ppgh.ufba.br/sites/ppgh.ufba.br/files/2000._goncalves_graciela_rodrigues._as_secas_na_bahia_do_seculo_xix._sociedade_e_politica.pdf)

GUIMARÃES, S. et al.. Projeções de precipitação dos modelos do CMIP5 para o cenário RCP8.5 sobre o nordeste brasileiro. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM.** Edição Esp. Dez. 2013, p. 573 - 576. Disponível em <https://doi.org/10.5902/2179460X11712>.

HAZELEGER, W. et al.. EC-Earth V2.2: Description and validation of a new seamless earth system prediction model. **Climate Dynamics**, (2012). v. 39. n° 11. p. 2611–2629. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1228-5>.

HINTON, T. et al.. Evaluation of HadGEM2 model. **Geoscientific Model Development.** 2011. v. 4. n° 4. Disponível em <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>.

HURRELL, J. W. et al.. The community earth system model: A framework for collaborative research. **Bulletin of the American Meteorological Society.** 2013. v. 94. n° 9. p. 1339–1360. Disponível em <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00121.1>.

IEA. **I. E. A. Wind Energy Technology Roadmap.** 2013. Disponível em [https://www.iea.org/media/freepublications/technologyroadmaps/wind\\_roadmap\\_foldout.pdf](https://www.iea.org/media/freepublications/technologyroadmaps/wind_roadmap_foldout.pdf).

IPCC. **Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis.** 2014. Disponível em <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

\_\_\_\_\_. **Renewable energy sources and climate change mitigation.** 2011. Disponível em [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)

IRENA, **Renewable Energy and Jobs.** December. 2013. Disponível em [file:///C:/Users/ADM/Downloads/IRENA\\_RE\\_Jobs\\_Annual\\_Review\\_2018.pdf](file:///C:/Users/ADM/Downloads/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf)

IVERSEN, T. et al.. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 2: Climate response and scenario projections. **Geoscientific Model Development Discussions.** 2012. v. 5. n° 3. p. 2933–2998. Disponível em <https://doi.org/10.5194/gmdd-5-2933-2012>

KALNAY, E. et al.. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society.** 1996. v. 77. n° 3. p. 437–471. Disponível em [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)



KARNAUSKAS, K. B.; LUNDQUIST, J. K.; ZHANG, L. Southward shift of the global wind energy resource under high carbon dioxide emissions. **Nature Geoscience**. 2017. Disponível em <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0029-9>

KHAN, A. S. Efeitos da Seca sobre a Produção, a renda e o emprego agrícola na microrregião geográfica de brejo santo e no Estado do Ceará. **Revista Econômica Do Nordeste**. 2005. v. 36. n.º 2. p. 242–262.

LI, L. et al.. **The Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model, Grid-Point Version 2: FGOALS-g2**. In Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model: A Modeling Tool for the Climate Change Research Community. 2014. p. 39–43. Disponível em [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41801-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41801-3_6).

MA, Z. et al.. **Co-benefits analysis on climate change and environmental effects of wind-power: a case study from Xinjiang, China**. *Renewable Energy*. 2013. v. 57, p. 35–42. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.018>.

MARENGO, J. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. **Biodiversidade** 26. 2007. Disponível em [www.mma.gov.br/.../biodiversidade/.../142-serie-biodiversidade?...biodiversidade-bio...](http://www.mma.gov.br/.../biodiversidade/.../142-serie-biodiversidade?...biodiversidade-bio...)

MARENGO, J.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Academia Brasileira de Ciências**. 2017. p. 1–13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

MARENGO, J.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**. 2017. v. 129 (3–4). p. 1189–1200. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

MATOS, H.; CELINA, M.; SALES, L. **A seca no nordeste no ano de 2012: relato sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o semiárido no distrito de iguaçu/canindé-CE**. 2012. p. 819–830.

MCMICHAEL; C., BARNETT, J.; MCMICHAEL, A. J. An Ill Wind? Climate Change, Migration, and Health. **Environmental Health Perspectives**. 2012. v. 5. p. 646–655. Disponível em <https://doi.org/10.1289/ehp.1104375>.

MEEHL, G.; WASHINGTON, W.; ARBLASTER, J. **Climate Change Projections in CESM1 (CAM5) Compared to CCSM4**. 2012. v. 1. p. 6287–6308. Disponível em <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00572.1>.

MEIRA, J. O. **Secas do nordeste, suas causas e remédios**. Fundação Guimarães Duque. Coleção Mossoroense: 1982. 110p.

MOLOD, A. et al.. **The GEOS-5 Atmospheric General Circulation Model: Mean Climate and Development from MERRA to Fortuna**. 2012. Disponível em <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120011790>.

MULUGETTA, Y. et al.. **Climate Change 2014: Mitigation of climate change**. IPCC Fifth Assessment Report. 2014. p. 527–532. Disponível em <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>.

NASCIMENTO, L. **Brasil é o oitavo país do mundo em produção de energia eólica**. 2018. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-02/brasil-e-o-oitavo-pais-do-mundo-em-producao-de-energia-eolica>.

NKEMDIRIM, L. Palmer Drought Severity Index. **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**. 2015. 2nd Edition v. 3. Disponível em <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00299-1>.

OTTO, I. M. et al.. Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence. **Regional Environmental Change**. 2017. v. 17. n.º 6. p. 1651–1662. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-017-1105-9>

PAPYRUS CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA – Roteiro de Caracterização do Empreendimento. CLWP EÓLICA PARQUE I – Sento Sé – Bahia. Resp. LUZ, C. N.; RIOS R. H. da C. Bahia, 2016.

PAULO, A. M. A. **Metodologias de caracterização e previsão das secas** - Modelação espacial e temporal. Doutorado em Engenharia Agrônoma. Dissertação apresentada no Instituto Superior de Agronomia para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrônoma. 254 p. 2004.

PEREIRA, E. B. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable Energy**. 2013. n° 49. p. 107–110. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.053>.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL **Migração nordestina no Brasil varguista**: diferentes olhares sobre a trajetória dos retirantes. COELHO, T. 2012. Disponível em <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/2425>.

PRYOR, S. C.; BARTHELMIE, R. J. Climate change impacts on wind energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2010. v. 14 Edição 1. p. 430–437. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.028>.

RAFTERY, A. E. et al.. Less than 2 °C warming by 2100 unlikely. **Nature Climate Change**. n° 7. 2017. p. 637–641.

RIAH, K. et al.. **RCP 8.5 — A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions**. 2011. p. 33–57. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>.

ROTSTAYN, L. D. et al.. Simulated enhancement of ENSO-related rainfall variability due to Australian dust. **Atmospheric Chemistry and Physics**. 2011. v. 11. Edição 13. p. 6575–6592. Disponível em <https://doi.org/10.5194/acp-11-6575-2011>.

SAILOR, D.; SMITH, M.; HART, M. **Climate change implications for wind power resources in the Northwest United States**. 2008. v. 33. p. 2393–2406. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.007>.

SAKAMOTO, T. T.; KOMURO, Y.; NISHIMURA, T. **MIROC4h — A New High-Resolution Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Model**. 2012. . 90. Edição 3. p. 325–359. Disponível em <https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-301>

SANTOS, A. S. **Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semiárido da Bahia**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. 2008. Disponível em [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3666/1/2008\\_AndreaSouzaSantos.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3666/1/2008_AndreaSouzaSantos.pdf).

SCOCCIOMARRO, E. et al.. Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High-Resolution Coupled General Circulation Model. **American Meteorological Society**. 2011. p. 4368–4384. Disponível em <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4104.1>

SILVA, R. R. da; HAAS, R. Ocean Global Warming Impacts on the South America Climate. **Frontiers in Earth Science**. 2016. p. 1–8. Disponível em <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00030>.

SILVEIRA, C. et al.. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2013. p. 317–330.

SOBRINHO, A. I.; JÂNIO, A.; SOUSA, J. de. A seca no sertão paraibano: causas e consequências. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**. 2016. p. 26–30. Disponível em <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/4356/4014>.

STADLER, S.; DRYDEN, J. M.; GREENE, J. S. **Climate Change Impacts on Oklahoma Wind Resources: Potential Energy Output Changes**. 2015. p. 203–226. Disponível em <https://doi.org/10.3390/resources4020203>.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**. 2012. Disponível em <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**. 2007. v. 38. n° 1. p. 55–94. Disponível em <https://doi.org/10.2307/210739>.

TOBIN, I. et al.. Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections. **Climatic Change**. 2014. v. 128. Edição 1–2. p. 99–112. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1291-0>.

UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas. Dourado, C. **Áreas de risco de desertificação: cenários atuais e futuros frente às mudanças climáticas**. 2018. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/330998>.

VERHEYE, W. **Dry Lands and Deserfication**. 2006. Disponível em <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C19/E1-05-06.pdf>.

VOLDOIRE, A. et al.. The CNRM-CM5.1 global climate model: Description and basic evaluation. **Climate Dynamics**. 2013. v. 40. Edição 9–10. p. 2091–2121. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1259-y>.

VOLODIN, E. M.; DIANSKII, N. A.; GUSEV, A. V. Simulating present-day climate with the INMCM4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations. *Izvestiya*, **Atmospheric and Oceanic Physics**. 2010. v. 46. Edição 4. p. 414–431. Disponível em <https://doi.org/10.1134/S000143381004002X>.

VON SALZEN, K. et al.. The Canadian fourth generation atmospheric global climate model (CanAM4). Part I: Representation of physical processes. **Atmosphere – Ocean**. 2013. v. 51. Edição 1. p. 104–125. Disponível em <https://doi.org/10.1080/07055900.2012.755610>.

WACHSMUTH, J. et al.. How will renewable power generation be affected by climate change? The case of a metropolitan region in Northwest Germany. **Energy**. 2013. v. 58. p. 192–201. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.035>.

XIN, X. et al.. How Well does BCC\_CSM1.1 Reproduce the 20th Century Climate Change over China? **Atmospheric and Oceanic Science Letters**. 2012. v. 6. Edição 1. p. 21–26. Disponível em <https://doi.org/10.1080/16742834.2013.11447053>.

YUKIMOTO, S. et al.. **A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute : MRI-CGCM3 — Model Description and Basic Performance**. v. 90A. 2012. Disponível em <https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-A02>.